

PRINSIP TEKNIK PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN

**PONTEN M. NAIBAHO
HOTMAN MANURUNG
BENIKA NAIBAHO
BONAR SM NAIBAHO**



GETPRESS INDONESIA

PRINSIP TEKNIK PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN

Penulis :

Ponten M. Naibaho
Hotman Manurung
Benika Naibaho
Bonar SM Naibaho

ISBN :

Editor : Nommensen Hana Tampubolon, S.Kom.

Penyunting: Yuliatr Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

Penerbit : GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN MEDAN

Universitas HKBP Nommensen Medan berdiri 7 Oktober 1954 memiliki motto *Prodeo et Patria* yang berarti bagi Tuhan dan Ibu Pertiwi. Universitas HKBP Nommensen merupakan suatu lembaga pendidikan tinggi yang bertugas mendidik mahasiswa menjadi manusia yang memiliki iman kristiani yang kuat dan mempunyai ilmu yang mumpuni dibidangnya untuk membantu masyarakat. Lulusannya diharapkan mampu mengatasi permasalahan-permasalahan yang ada di tengah-tengah masyarakat, sebagai perwujudan tugas panggilan kristiani menjadi garam dan terang.

Buku ajar ini merupakan salah satu media yang digunakan untuk mentransfer pengetahuan dari dosen kepada mahasiswa. Dapat disadari bahwa proses transfer pengetahuan pada saat perkuliahan tatap muka tidaklah cukup, karena keterbatasan waktu dan keterbatasan mahasiswa untuk memahami materi yang disampaikan dosen baik karena keterbatasan media, sarana dan prasarana lain yang kurang mendukung.

Sebagai Rektor Universitas HKBP Nommensen Medan, saya menyambut baik atas penerbitan buku Prinsip Teknik Pengolahan Hasil Pertanian yang ditulis Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen Medan, Prof. Dr. Ponten Naibaho, Dr. Ir. Hotman Manurung, M. S, Ir. Benika Naibaho, M. Si dan Bonar S. M. Naibaho, ST., MT. Saya mengharap buku ini dapat membantu para dosen dan mahasiswa pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian bermanfaat dan berdampak pada proses transfer ilmu pengetahuan. Saya selaku Rektor Universitas HKBP Nommensen Medan menyampaikan selamat atas karya ini, dan semoga buku ini dapat menambah pustaka dan referensi rujukan bagi kalangan perguruan tinggi, termasuk industri yang bergerak dibidang pengolahan hasil pertanian.

Kebutuhan buku ajar seperti buku Prinsip Teknik Pengolahan Hasil Pertanian ini sebenarnya bukan hanya untuk kebutuhan mahasiswa, namun juga untuk kebutuhan dosen dalam rangka meningkatkan jabatan fungsional akademik dan kebutuhan akreditasi bagi Program Studi Teknologi Hasil Pertanian. Akhir kata kiranya Universitas HKBP Nommensen Medan semakin maju, sehingga motto *Prodeo et Patria* semakin nyata dalam kehidupan masyarakat. Tuhan memberkati kita semua.

Medan, 18 Juli 2023

Rektor



Dr. Richard A. M Napitupulu ST., MT

KATA SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN MEDAN

Pertama sekali kita menyampaikan Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, atas berkat dan rahmatNya yang senantiasa menyertai kita. Saya selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen Medan, menyampaikan selamat kepada seluruh penulis Prof. Dr. Ponten Naibaho, Dr. Ir. Hotman Manurung, M.S, Ir. Benika Naibaho, M.Si selaku dosen Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen Medan dan Bonar S.M. Naibaho, ST., MT, yang telah bekerjasama dengan baik, sehingga buku ajar dengan judul Prinsip Teknik Pengolahan Hasil Pertanian ini selesai dengan baik. Menurut saya pendekatan yang disajikan dalam buku ini sangat baik, karena mampu menyajikan dan memberikan perspektif yang lengkap terhadap prinsip teknik pengolahan hasil pertanian

Buku ajar ini akan menjadi sumber bacaan dan pembelajaran yang dinanti-nantikan dunia pendidikan khususnya perguruan tinggi. Mahasiswa dan dosen akan menggunakannya sebagai penunjang untuk mempelajari dan mendalami materi yang terkait dengan prinsip teknik pengolahan hasil pertanian. Buku ajar ini akan berpengaruh signifikan bagi mahasiswa dalam menyerap informasi dan pengetahuan terkait bidang ilmu pengolahan hasil pertanian.

Sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen Medan, saya menyambut baik atas penerbitan buku Prinsip Teknik Pengolahan Hasil Pertanian ini, dan berharap buku ini akan membantu para dosen dan mahasiswa khususnya di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Universitas HKBP Nommensen Medan. Tentu yang menjadi keinginan besar kita, bahwa buku ini dapat menjadi buku ajar diberbagai perguruan tinggi di Sumatera Utara bahkan Indonesia, dan menjadi sumber rujukan dan pembelajaran bahkan referensi terpercaya bagi berbagai kalangan dalam memahami prinsip teknik pengolahan hasil pertanian secara utuh.

Selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen Medan, saya menyampaikan selamat atas karya ini, dan semoga buku ajar ini dapat menambah referensi dan sumber rujukan bagi kalangan mahasiswa, masyarakat, praktisi dan dunia industri yang bergerak dibidang pengolahan hasil pertanian. Akhir kata saya mengucapkan terimakasih atas karya ini, selamat berkarya dan selamat mengabdikan untuk Tuhan dan Ibu Pertiwi. Salam *Prodeo et Patria*.

Medan, 17 Juli 2023 Dekan



Dr. Hotden L. Nainggolan, SP., M.Si

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah memberikan Kesehatan kepada penulis sehingga buku Prinsip Teknik Pengolahan Hasil Pertanian ini dapat diselesaikan tepat waktu. Buku Prinsip Teknik Pengolahan Hasil Pertanian ini disusun sebagai buku pegangan pada mata kuliah satuan operasi pada semester III dan mata kuliah Prinsip Teknik Pangan pada semester IV Program Studi Teknologi Hasil Pertanian.

Salah satu kesulitan yang dialami oleh mahasiswa Program Studi Teknologi Hasil Pertanian adalah minimnya buku yang membahas prinsip teknik pengolahan komoditi hasil pertanian Indonesia. Penerbitan buku edisi pertama ini diharapkan dapat mengurangi kesulitan yang dialami mahasiswa saat mengikuti kuliah yang berhubungan dengan dasar mekanika dan fisika Teknik proses pengolahan hasil pertanian. Buku ini membahas mekanika teknik pengolahan dan prinsip penanganan hasil pertanian mulai dari pasca panen seperti sanitasi dan pembersihan, preparasi bahan baku, operasi pemipilan dan perontokan, teknologi pengolahan seperti pengecilan, pengulitan, pengupasan, penggilingan, pengeringan, ekstraksi kempa, ekstraksi pelarut, pengeringan, pendinginan dan pembekuan, penyulingan, kristalisasi, dan proses termal lainnya. Buku ini terdiri dari 19 (sembilan belas) bab dengan jumlah halaman 365 lembar.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Rektor Universitas HKBP Nommensen dan Dekan Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen atas kesediaan beliau memberikan kata sambutan pada buku yang saat ini berada dihadapan pembaca sekalian.

Penulis telah berusaha untuk menyajikan isi buku secara sederhana agar mudah dipahami, namun penulis tidak dapat menghindari adanya rumus matematika yang membuat pembaca harus membaca buku lain agar rumus matematika tersebut dapat dipahami. Penulis mengharapkan masukan atau kritik yang dapat meningkatkan mutu buku ini dipenerbitan edisi selanjutnya.

Kiranya buku Prinsip Teknik Pengolahan Hasil Pertanian ini dapat menambah pengetahuan para peneliti dan praktisi khususnya para mahasiswa di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian. Amin.

Medan, 12 Juni 2023

Penulis
Prof. Dr. Ir. Ponten M. Naibaho
Dr. Ir. Hotman Manurung, M.S
Ir. Benika Naibaho, M.Si
Bonar S.M. Naibaho, ST., MT,

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN MEDAN	i
KATA SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN MEDAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1 SIFAT FISIKA BAHAN HASIL PERTANIAN	1
1. Pendahuluan	1
2. Sifat Mekanik	1
2.2 Model Reologi	2
2.3 Properti Termal	3
2.4 Properti Listrik	4
2.5 Struktur	4
2.6 Aktivitas Air	5
2.7. Fenomena Transisi Fase dalam Makanan	11
DAFTAR PUSTAKA	15
BAB II SANITASI DAN PEMISAHAN KONTAMINAN	16
1. Pendahuluan	16
2. Penerapan Pada Hasil Pertanian Untuk Konsumsi Langsung	16
3. Kontaminasi Pada Hasil Pertanian	17
4. Pembersihan	17
4.1 Prosedur Pembersihan	17
4.2. Prosedur Pembersihan Fisika	18
5. Sanitasi	19
5.1 Sanitasi termal	20
5.2 Sanitasi Kimia	21
5.3 Bahan Kimia Deterjen - Surfaktan	22
6. Pertimbangan Regulasi Masalah	26
DAFTAR PUSTAKA	28
BAB III PEMIPILAN DAN PERONTOKAN	29
1. Pendahuluan	29
2. Prinsip Pemipilan dan Perontokan	30

2.1 Dampak Pengirikan	30
2.2 Perontokan Gerus	31
2.3 Penebahan Sisir Pra-potong	31
2.4. <i>Grinding Threshing</i>	32
3. Teknologi dan Peralatan Pengirikan Butiran	33
3.1 Teknologi Pengirikan Butir	33
3.2 Peralatan Pengirik Gandum.....	35
3.3 <i>Thresher</i> pada buah kompak	39
DAFTAR PUSTAKA.....	41
BAB IV PERUBAHAN BENTUK DAN UKURAN	42
1. Pendahuluan	42
2. Pengurangan Ukuran Bahan Padat.....	43
2.1. Teori	43
2.2. Peralatan.....	45
2.3. Mesin Proses.....	49
2.4 Efek Ketahanan Daya Simpan	57
2.5 Karakteristik Sensorik	57
2.6. Nilai gizi	57
3. Emulsifikasi dan Homogenisasi.....	57
3.1. Teori Emulsifikasi	58
3.2. Jenis Peralatan.....	59
3.3. Efek Pada Bahan.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	64
BAB V PENGUPASAN DAN PENGULITAN	65
1. Pendahuluan	65
2. Dehuller	65
3. Depericarper.....	65
4. Depulping.....	66
4.1 Pemecahan Manual	66
4.2 Pemotongan Buah Dengan <i>Cutter</i>	66
4.3. Pemecahan Pulp Dengan Roller.....	66
4.4 Pengupasan Daging Buah Dengan Drum	67
4.5 Pengupas Sabut Kelapa	69
4.6 Cincang Aduk.....	69

4.7 Pemisahan Tempurung dan Kernel	70
5. Debarking Kayu	72
5.1 Rotary drum	73
5.2 Debarker Log Panjang	73
5.3 Pembuatan Lembaran Tipis (<i>Plywood</i>)	73
DAFTAR PUSTAKA	75
BAB VI TRANSPORTASI	76
1. Pengantar.....	76
2. Pemindahan Padatan	76
2.1 Screw Conveyor	76
2.2 Scraper Chain Conveyor	77
2.3 Belt Conveyor	78
3. Alat Angkat Bahan	79
4. Transmisi Aliran Fluida	80
4.1. Pompa.....	80
4.2 Control Valve	81
4.3 Pipa transmisi fluid	81
4.4 Reservoir Liquid	82
4.5 Hidraulik dan Piston	82
5. Transportasi Aliran Udara	82
BAB VII GRADING DAN PENGAYAKAN	88
1. Pendahuluan	88
2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Ayakan	91
2.1 Faktor Material.....	91
2.2 Faktor Mesin.....	92
3. Karakteristik Pengayakan.....	94
3.1 Neraca Massa Ayakan.....	96
3.2 Bentuk Ayakan.....	98
DAFTAR PUSTAKA	103
BAB VIII SIKLON PEMISAH	104
1. Pengantar.....	104
2. Pemisah Siklon Udara.....	104
2.1 Jenis Siklon Udara	105
2.2 Desain Siklon Klasik.....	107

3. Pemisah Dengan Air (Hidrosiklon)	114
3.1 Deskripsi Siklus dan Operasi Dasar	114
3.2 Parameter Dasar untuk Standar <i>Cyclone</i>	114
3.3 Kinerja	115
3.4 Klasifikasi	115
3.5 Tingkat Aliran	118
3.6 Seleksi Ukuran Puncak.....	118
4. Separator Siklon Gas - Abu	121
4.1 <i>Single Dust Collector</i>	121
4.2 <i>Multi dust collector</i>	122
5. Scrubber	123
5.1. Orifice Scrubber	124
5.2. Venturi Scrubber	124
DAFTAR PUSTAKA.....	125
BAB IX SEDIMENTASI.....	126
1. Pendahuluan	126
2. Gaya oleh Gravitasi	126
3. Gaya Apung.....	127
4. Gaya Tarik ke Atas.....	127
5. Sedimentasi Butiran Halus Dalam Air.....	127
6. Perhitungan Waktu Pengendapan Partikel Halus	128
7. Sedimentasi Pemisahan Makromolekul	128
8. Instalasi Sedimentasi	129
8.1 Instalasi Rotary Clarifier	129
8.2 Bak Sedimentasi	129
8.3 Tangki clarifier	130
8.4 Settling Tank	130
DAFTAR PUSTAKA.....	132
BAB X DEKANTASI DAN SETRIFUGASI.....	133
1. Pendahuluan	133
2. Prinsip Dasar	134
2.1 Tangki Pengendapan Kontinu.....	134
2.2 Teori Dasar Sentrifuse.....	135

3. Operasi Sentrifuse.....	137
3.1 Gaya Sentrifugal Relatif	137
3.2 Sentrifugasi Sampel Padat	138
3.3 Contoh Perhitungan Waktu Sentrifugasi Untuk Partikel Halus	140
4. Mesin Sentrifuse Industri	141
4.1 Sludge Separator	141
4.2 Oil Separator	142
4.3 Mesin Decanter	143
4.4 Methyl Ester Separator	144
DAFTAR PUSTAKA	146
BAB XI FILTRASI	147
1. Pendahuluan	147
2. Pembersihan Bahan Utama dari Partikel Halus	148
2.1 Penyaringan Air	148
2.2 Filter Hamparan Tebal	148
2.3 Klarifikasi Zat Cair	149
3. Pembersihan Gas	149
4. Filter Press	150
4.1 <i>Filter Cloth Press</i>	150
4.2 Niagara Filter	151
5. Membran.....	151
5.1 Tipe Filtrasi Membran	151
5.2 Bahan Membran.....	156
5.3 Pembersihan Memberan	160
6. Pengujian Integritas Membran	161
DAFTAR PUSTAKA	163
BAB XII EKSTRAKSI PRESS DAN EKSTRUSI	164
1. Pendahuluan.....	164
2. Alat dan Mesin Ekstraksi	164
2.1 Roller	164
2.2 Kempa Hidraulik.....	165
3. Ekstrusi	167
3.1 Ekstruder Sekrup Tunggal.....	168
3.2 Pengekstrusi sekrup kembar	173

4. Kempa Press.....	175
4.1 Kempa Press Tunggal.....	175
5. <i>Expeller</i>	176
DAFTAR PUSTAKA.....	177
BAB XIII EKSTRAKSI PELARUT	178
1. Pendahuluan	178
2. Ekstraksi Padat Cair	179
2.1 Persiapan Bahan	179
2.2 Ekstraksi Perendaman	180
2.3 Ekstraktor Tertutup	181
2.4 Solid Bed Berjalan (Vertikal dan Horizontal)	181
2.5 Persinggungan Dispers	182
2.6 Proses Ekstraksi Terintegrasi.....	182
2.7 Mekanisme Ekstraksi Pelarut.....	182
3. Ekstraksi Cair-Cair	186
3.1 Peralatan Ekstraksi.....	187
3.2 Pencampur dan Pengendap	187
3.3 Menara Ekstraksi Semprot dan Menara Ekstraksi Isian Curah	188
3.4 Menara Plat Perforasi (<i>Perforated Plate</i>)	188
3.5 Menara Sekat.....	189
3.6 Ekstraktor Menara Aduk	189
4. Keseimbangan dan Komposisi Fase	189
5. Ekstraksi Lawan Arah Sistem Tipe II Menggunakan Sistem Refluks	193
DAFTAR PUSTAKA.....	194
BAB XIV DEHIDRASI DAN PENGERINGAN	195
1. Pendahuluan	195
1.1 Faktor Eksternal.....	196
1.2. Faktor Internal.....	197
2. Mekanisme Pengeringan.....	201
2.1 Pengeringan dalam Grafik Psikometrik.....	202
2.2 Laju Pengeringan	203
3. Tipe Pengeringan.....	204
3.1. Pengeringan Matahari.....	204
3.2. Batch Proses.....	205

3.3. Silo Penengring.....	205
3.4. Proses Kontinu	206
3.6. <i>Pneumatic Drying</i>	207
3.7. Spray Dryer	207
3.8. Pengeringan Subatmosferik Pengeringan Vacum dan Beku	208
3.9. Alat Pengering <i>Microwave</i>	212
3.10. Cavity Magnetron	214
3.11. Efek dari Medan Magnet	214
DAFTAR PUSTAKA.....	218
BAB XV PENDINGINAN DAN PEMBEKUAN	219
1. Pendahuluan	219
2. Pembekuan	219
2.1. Suhu Beku	219
2.2. Air Tidak Beku	220
2.3 Sifat Termal Makanan Beku	220
3. Pendinginan	225
3.1 Sistem Mekanik Pendinginan.....	228
3.2 Bahan Refrigeran	230
4. Komponen Sistem Refrigerasi	231
4.1 Evaporator.....	232
4.2 Kompresor	232
4.3. Kondensor	234
4.4. Katup Ekspansi	234
DAFTAR PUSTAKA.....	236
BAB XVI DISTILASI	237
1. Pendahuluan	237
2. Keseimbangan Cairan-Uap.....	237
2.1. Tekanan Partial : Hukum Dalton, Raoult, dan Henry	239
2.2. Volatilitas Relatif	240
2.3 Diagram Entalpi Komposisi	241
3. Destilasi Campuran Binary	241
3.1. Penyulingan Sederhana	241
3.2. Distilasi Flash	243

4. Kontinuitas Rektifikasi Larutan Binary.....	243
4.1. Perhitungan Jumlah Plat.....	244
4.2. Rasio refluks.....	247
4.3. Saluran Umpan dan Ekstraksi Lateral.....	247
4.4. Efisiensi Lempeng	248
5. Rektifikasi Batch	249
5.1. Operasi dengan Komposisi Distilasi Konstan.....	250
5.2. Operasi Berdasarkan Rasio Refluks <i>Konstan</i>	251
6. Distilasi Uap.....	252
DAFTAR PUSTAKA.....	254
BAB XVII KRISTALISASI	255
1. Pendahuluan	255
2. Prinsip Kristalisasi	256
2.1. Proses kristalisasi	256
2.2 Neraca Entalpi	258
2.3 Keadaan Supersaturasi	258
3. Nukleasi	259
3.1 Nukleasi Primer.....	261
3.2 Nukleasi Sekunder.....	263
3.3 Pertumbuhan Kristal.....	264
3.4 Jenis kristalisator	267
4. Kristalisasi Es krim	268
4.1 Mekanisme Kristalisasi.....	268
4.2 Proses Pembentukan Kristal.....	269
4.3 Nukleasi	269
4.4 Pertumbuhan.....	270
4.5 Rekristalisasi.....	271
DAFTAR PUSTAKA.....	272
BAB XVIII PROSES TERMAL PANGAN	273
1. Pendahuluan	273
2. Pemanasan Makanan	273
2.2 Alasan Pemanasan	273
2.2 Masalah Keamanan Pangan	273
2.3 Karakteristik Produk	274

3. Kinetika Reaksi	275
3.1. Inaktivasi Mikroba	275
3.2. Tahan Panas pada Suhu Konstan	275
3.3 Ketergantungan temperatur.....	277
3.4 Batch dan Kontinu Proses	279
3.5. Penukar Panas Berlanjut.....	281
4. Metode Pemrosesan Panas	284
4.1. Thermisation.....	284
4.2. <i>Pasteurisasi</i>	284
4.3. Sterilisasi	287
5. Prosedur Pengisian	295
6. Penyimpanan.....	296
DAFTAR PUSTAKA.....	297
BAB XIX ALAT PENUKAR PANAS.....	298
1. Pendahuluan	298
2. Alat Penukar Panas	298
3. Perhitungan Penurunan Tekanan	302
4. Penukar Panas di Aspen Plus	303
DAFTAR PUSTAKA.....	307
BIODATA PENULIS.....	308

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Bentuk stress	2
Gambar 1.2. Tiga bentuk reologi	3
Gambar 1.3. Skematik struktur minyak dalam air (O/W) dan air dalam minyak (W/O).....	5
Gambar 1.4. Bentuk umum serapan	8
Gambar 1.5. Linearisasi persamaan BET dengan 3 titik eksperimental	10
Gambar 1.6. Tingkat relatif dari mekanisme kerusakan yang dipengaruhi oleh aktivitas air.....	11
Gambar 1.7. Sebutkan diagram solusi karbohidrat	12
Gambar 1.8. Pengaruh temperatur Tg pada larutan gula	14
Gambar 1.9. Transisi Suhu kaca dari plot DSC (<i>differential scanningCalorimetry</i>).....	14
Gambar 2.1. Pembersihan biji-bijian dengan air	19
Gambar 2.2. Senyawa ammonium quarter (QAC)	24
Gambar 3.1. Peralatan alat pengirik	30
Gambar 3.2. Model kontak dari perontokan	31
Gambar 3.3. Model kontak dari alat pemipil	32
Gambar 3.4. Bentuk kontak dari <i>thresher grinding</i>	32
Gambar 3.5. <i>Cross tangensial threshing cylinder</i>	34
Gambar 3.6. <i>Cross tangensial thresher cylinder</i>	34
Gambar 3.7. <i>Threshing cylinder vertical aksial</i>	35
Gambar 3.8. Pra-potong <i>thresher</i> pemanen	35
Gambar 3.9. APS hybrid system CLAAS	36
Gambar 3.10. <i>Threshing system</i> Agco	37
Gambar 3.11. <i>Threshing system</i> John Deere	38
Gambar 3.12. <i>System</i> Pemipilan New Holland	39
Gambar 3.13. <i>Thresher</i>	40
Gambar 4.1. Diagram regangan-regangan untuk berbagai bahan	43
Gambar 4.2. Alat pemotong	48
Gambar 4.3. Chopper mangkuk	49
Gambar 4.4. Pin-piring cakram	50
Gambar 4.5. <i>Hammer mill</i>	50
Gambar 4.6. Mesin roller	51
Gambar 4.7. <i>Hammer mill</i> pembuatan tepung	51
Gambar 4.8. <i>Double disc grinding</i> (plat gerinda)	51
Gambar 4.9. Mesin penggulung teh	52
Gambar 4.10. Mesin flaker (pembuatan lembaran tipis)	53
Gambar 4.11. Mesin pembuat mie	54
Gambar 4.12. Pelletizer	56
Gambar 4.13. Grafik hubungan kelembaban dengan penyusutan	56
Gambar 4.14. Katup homogenising tekana dua tahap hidrolik	60
Gambar 4.15. Ultrasonik homogeniser	61
Gambar 5.1. Gilingan padi	65
Gambar 5.2. Polishing drum kernel plant kelapa sawit	65
Gambar 5.3. Pemecahan cacao dengan roller	67
Gambar 5.4. Pemecahan kemiri dengan double roller	67
Gambar 5.5. Buah kopi	68
Gambar 5.6. Mesin kupas buah kopi	68

Gambar 5.7. Buah kakao	68
Gambar 5.8. Mesin pengupas sabut kelapa	69
Gambar 5.9. <i>Digister</i> (alat pencincang aduk) <i>mesocarp</i> buah sawit	70
Gambar 5.10. Alat pemukul biji kemiri dengan gagang rotan	71
Gambar 5.11. Pemecahan biji sawit dengan lempengan horizontal	72
Gambar 5.12. Pemecah biji <i>ripple mill</i>	72
Gambar 5.13. <i>Rotary debarking drum</i>	73
Gambar 5.14. Pengupasan kulit kayu	74
Gambar 5.15. Pembuatan lembaran lapisan tipis	74
Gambar 6.1. Screw conveyor	76
Gambar 6.2. Auger flight	77
Gambar 6.3. Rantai dengan sproket	78
Gambar 6.4. Scraper conveyor	78
Gambar 6.5. Belt conveyor dan plate conveyor	79
Gambar 6.6. Elevator	79
Gambar 6.7. Hoisting crane	80
Gambar 6.8. Fluida transmisi-pipa hidrolik	80
Gambar 6.9. <i>Hydraulic static transmission</i> untuk memutar kemudi	81
Gambar 6.10. Pompa hidrolik	82
Gambar 6.11. Pengiriman bahan dalam prosesing dengan hembuan udara	85
Gambar 6.12. Blower dan sudu-sudu	86
Gambar 7.1. Ayakan dalam satuan mesh	89
Gambar 7.2. Ayakan	92
Gambar 7.3. Hubungan vibrasi permenit dengan efisiensi relatif	94
Gambar 7.4. Pemisahan pasir silika	95
Gambar 7.5. Hubungan laju aliran umpan, limpahan atas danLimpahan bawah	97
Gambar 7.6. Arah gerakan ayakan	98
Gambar 7.7. Ayakan bergoyang dengan 3 tingkat dan menghasilkan3 fraksi ukuran	99
Gambar 7.8. Revolving screen kapasitas besar	99
Gambar 7.9. Bentuk screen	99
Gambar 7.10. Ayak girasi	99
Gambar 7.11. Ayakan bergetar mobil yang dapat dipindah-pindah	100
Gambar 7.12. Ayakan berputar	101
Gambar 7.13. Screening	101
Gambar 7.14. Skematik diagram pemisahan berdasarkan warna	102
Gambar 8.1. Siklon tangensial dan aksial	104
Gambar 8.2. Siklon	105
Gambar 8.3. Konfigurasi sikon 1D3D dan 2D2D	106
Gambar 8.4. Lintasan umpan	107
Gambar 8.5. Pemisahan kernel dan cangkang 5 tahap	107
Gambar 8.6. Hubungan densitas dengan efisiensi	108
Gambar 8.7. Ukuran siklon dan hubungan diameter partikel denganefisiensi	110
Gambar 8.8. Mekanisme dan konstruksi hidrosiklon	114
Gambar 8.9. Skematik diagram dari percobaan	121
Gambar 8.10. Siklon separator gas-abu	122
Gambar 8.11. Hubungan antara efisiensi pengutipan debu dengan ukuran partikel	123
Gambar 8.12. <i>Multi dust collector</i>	123
Gambar 8.13. <i>Scrubber</i> pemisah partikel halus dalam gas buang	124
Gambar 9.1. Posisi partikel dalam proses sedimentasi (diam)	126

Gambar 9.2. Pengendapan dengan alat <i>rotary</i> untuk memisahkan sedimen	129
Gambar 9.3. Mekanisme aliran berdasarkan gravitasi	130
Gambar 9.4. Pengendapan lumpur halus dengan sistem <i>clarifier</i>	130
Gambar 9.5. Bak pengendapan (<i>settling tank</i>)	131
Gambar 10.1. <i>Continuous settling tank</i>	134
Gambar 10.2. Putaran sentrifuse	136
Gambar 10.3. Perhitungan ayunan sentrifuse	139
Gambar 10.4. Hubungan relatif centrifugal force (RCF) dan RPM	141
Gambar 10.5. Tahapan sentrifuse	141
Gambar 10.6. Sludge sentrifuse type vertical	142
Gambar 10.7. Oil separator	143
Gambar 10.8. Sentrifuse dekanter	144
Gambar 10.9. <i>Flow chart</i> operasi dekanter dan sludge separator	144
Gambar 10.10. Pemisahan biodiesel dengan sentrifuse	145
Gambar 11.1. Saringan	149
Gambar 11.2. Mekanisme filtrasi	149
Gambar 11.3. <i>Catridge filter</i> bekerja dengan bantuan tekanan	149
Gambar 11.4. <i>Filter press</i>	150
Gambar 11.5. Niagara filter	151
Gambar 11.6. Skema unit pemisahan membran crossflow	152
Gambar 11.7. Perkiraan ukuran partikel dan proses pemisahan gas	153
Gambar 11.8. Alur proses <i>reverse osmosis</i>	155
Gambar 11.9. <i>Reverse osmosis</i>	156
Gambar 11.10. Pipa osmosis dan mekanisme	156
Gambar 11.11. <i>Tube reverse osmosis</i>	156
Gambar 11.12. Photomicrograph bagian lintas serat berongga	157
Gambar 11.13. Mode operasi dalam-luar dan luar-dalam	158
Gambar 11.14. Filtrasi membran 7 modul membran spiral-luka	158
Gambar 11.15. Bahan kimia dan fungsi membran	159
Gambar 11.16. Skema sistem yang beroperasi dalam mode <i>deposisi</i>	159
Gambar 11.17. Mode pengendapan	159
Gambar 11.18. Mode penangguhan	160
Gambar 11.19. Instalasi <i>reverse osmosis</i> membran	162
Gambar 12.1. Craper penggiling karet	164
Gambar 12.2. Mesin giling tebu 4 set roller	164
Gambar 12.3. Gilingan tebu type australian six roller	165
Gambar 12.4. Tipe roller	165
Gambar 12.5. Kempa hidrolik	166
Gambar 12.6. Ekstruder <i>single screw</i>	168
Gambar 12.7. Tekanan profil dengan ventilasi	170
Gambar 12.8. Aliran balik sebagai fungsi dari tekanan balik	170
Gambar 12.9. <i>Flow channel model</i> (Model alur aliran)	170
Gambar 12.10. Ekstruder	173
Gambar 12.11. Screw press	175
Gambar 12.12. Screw press buah sawit	176
Gambar 12.13. Hubungan tekanan kerja screw press terhadap kandungan minyak dan oil losses	176
Gambar 12.14. Expeller	176
Gambar 13.1. Preparasi bahan sebelum diproses di ekstraktor	179

Gambar 13.2. Letak <i>leaching</i>	180
Gambar 13.3. Sliding cell ekstraktor (Lurgi)	180
Gambar 13.4. Ekstraksi minyak dengan <i>super critical carbon dioksida</i>	181
Gambar 13.5. Ekstraktor solid bed bergerak	181
Gambar 13.6. Proses ekstraksi	182
Gambar 13.7. Diagram <i>continous counter-current</i> dengan kontak ganda	183
Gambar 13.8. Diagram neraca bahan	184
Gambar 13.9. Diagram maccabe-thiele	184
Gambar 13.10. Ekstraksi dengan menggunakan CO ₂	187
Gambar 13.11. Instalasi pengurusan lawan arah	188
Gambar 13.12. Pencampur pengendap sistem ekstraksi	188
Gambar 13.13. Ekstrak plat perforasi	189
Gambar 13.14. Momen ekstraksi agitator	190
Gambar 13.15. Sistem aseton MİK-air pada suhu 25 °C	190
Gambar 13.16. Ekstraksi	191
Gambar 13.17. Ekstraksi lawan arah dengan refluks	193
Gambar 14.1. Grafik kelembaban relatif terhadap kadar air	198
Gambar 14.2. <i>Psychrometric chart</i> dalam penetapan <i>dew point</i> dan <i>humidity ratio</i> (HR)	201
Gambar 14.3. Proses pengeringan dalam grafik <i>psychrometric</i>	202
Gambar 14.4. Grafik laju pengeringan terhadap kadar air	203
Gambar 14.5. Alat pengeringan kabinet	205
Gambar 14.6 Silo pengeringan	205
Gambar 14.7. <i>Open system fluid bed</i>	206
Gambar 14.8. Instalasi pengeringan dengan udara panas <i>countcurrent</i> dengan pemindahan <i>scraper</i> (scraper-conveyor dryer)	206
Gambar 14.9. <i>Rotary dryer</i>	207
Gambar 14.10. <i>Pneumatic drying</i>	208
Gambar 14.11. Pengeringan semprot	208
Gambar 14.12. Pengeringan vacuum	209
Gambar 14.13. Rak pengeringan vacuum	210
Gambar 14.14. Mekanisme proses pengeringan beku	210
Gambar 14.15. Fase air	211
Gambar 14.16. Pengeringan beku bentuk silinder bentuk batch	212
Gambar 14.17. Medan magnet dan medan elektrik sebuah gelombang elektromagnetik.....	213
Gambar 14.18. Medan magnet dan medan elektronik	214
Gambar 14.19. <i>Cavity magnetron</i>	214
Gambar 14.20. Pergerakan elektron dalam magnetron	215
Gambar 14.21. Efek <i>seebeck</i>	217
Gambar 14.22. Perbedaan tegangan antara kedua kawat karena perbedaan temperatur	217
Gambar 15.1. Pembekuan slab	223
Gambar 15.2. <i>Flowchart</i> siklus pendinginan	229
Gambar 15.3. Siklus kompresi uap	229
Gambar 15.4. Sistem pendinginan kompresi uap mekanis lemari es	231
Gambar 15.5. Berbagai jenis kumparan evaporator	232
Gambar 15.6. Evaporator ekspansi langsung dan evaporator tipe banjir	233
Gambar 15.7. <i>Compressor refrigerator</i>	233
Gambar 15.8. Kondensor <i>shell and tube</i> terbuka dan kondensor pipa Ganda	234
Gambar 15.9. Katup ekspansi yang dioperasikan secara manual	235

Gambar 16.1. Diagram temperatur setiap komponen	238
Gambar 16.2. Diagram T-X untuk binary azeotropik	238
Gambar 16.3. Diagram keseimbangan $y - x$	239
Gambar 16.4. Diagram komposisi entalpi	241
Gambar 16.5. Distilasi sederhana	242
Gambar 16.6. Flash distilasi	243
Gambar 16.7. Kolom rektifikasi	245
Gambar 16.8. Evolusi berbagai fase konsentrasi pada plat n	245
Gambar 16.9. Minimum refluks rasio pada sistem tertentu.....	247
Gambar 16.10. Rektifikasi beberapa umpan	248
Gambar 16.11. Rektifikasi dengan lateral ekstraksi	249
Gambar 16.12. Distilasi uap	253
Gambar 17.1. Bentuk kristal	256
Gambar 17.2. Kurva kelarutan	257
Gambar 17.3. Diagram fase sistem $MgSO_4 \cdot H_2O$	257
Gambar 17.4. Diagram entalpi sistem $MgSO_4 \cdot H_2O$ atas dasar air cair pada suhu $32^\circ F$ ($0^\circ C$) ...	258
Gambar 17.5. Hubungan konsentrasi dan temperatur	259
Gambar 17.6. Kristalisasi	260
Gambar 17.7. Perbedaan larutan NaCl dengan kristal NaCl	260
Gambar 17.8. Pembentukan, pertumbuhan nukleasi $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	261
Gambar 17.9. Hubungan temperatur dan konsentrasi dalam proses kristalisasi kecepatan pertumbuhan nukleasi	265
Gambar 17.10. Pertumbuhan kristal	265
Gambar 17.11. Keseimbangan energi dan proses kristalisasi	266
Gambar 17.12. Tipe kristalizer kontinu	268
Gambar 18.1. Hubungan populasi mikroorganisme dan waktu dan suhu	276
Gambar 18.2. Bagian penukar panas untuk pasteurisasi waktu singkat temperatur tinggi (HTST)	281
Gambar 18.3. Aliran melalui penukar panas plat	282
Gambar 18.4. Jenis penukar panas tabung konsentris	283
Gambar 18.5. Proses pengalengan	291
Gambar 18.6. Retort batch vertical yang dilengkapi untuk pendinginan Dibawah tekanan udara.....	293
Gambar 18.7. Profil temperatur / waktu untuk berbagai instalasi UHT	296
Gambar 19.1. Berbagai jenis penukar panas	299
Gambar 19.2. Perpindahan panas melalui pipa (tabung)	300
Gambar 19.3. Pola aliran penukar panas yang berbeda	301
Gambar 19.4. Distribusi temperatur didalam counter dan co-counter(paralel) <i>flow exchanger</i>	302
Gambar 19.5. Grafik faktor koreksi untuk penukar satu shell dan beberapa tabung	302
Gambar 19.6. Grafik faktor koreksi untuk penukar satu shell dan beberapa tabung	303
Gambar 19.7. Alat penukar kalor dengan <i>buffle</i> antar tabung	303
Gambar 19.8. Bentuk TEMA penukar panas shell dan tabung	304
Gambar 19.9. Penukar panas	304
Gambar 19.10. Penukar panas bentuk coil	305
Gambar 19.11. Cara Penukaran panas	305
Gambar 19.12. Formula penetapan perpindahan panas pada satu arah dan berlawanan.....	305
Gambar 19.13. Penukar panas dalam kolom mendatar	305
Gambar 19.14. Grafik temperatur penukar panas pada tabung	306

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Kadar air pada beberapa makanan	6
Tabel 1.2. Bentuk a_w dari berbagai jenis bahan makanan	8
Tabel 1.3. Larutam garam jenuh yang biasa digunakan dalam penentuan isoterm sorpsi	9
Tabel 1.4. Status transisi suhu gekas dari gula	13
Tabel 4.1. Aplikasi peralatan reduksi ukuran	46
Tabel 4.2. Properti dan aplikasi peralatan reduksi ukuran yang dipilih	47
Tabel 4.3. Agen pengemulsi terpilih yang digunakan dalam Pengolahan bahan	59
Tabel 4.4. Pengaruh emulsifikasi pada nilai gizi	63
Tabel 5.1. Rasio antara cangkang/kulit keras dengan kernel	70
Tabel 7.1. Konversi mesh dan milimeter	89
Tabel 7.2. Hubungan diameter dengan fraksi limpahan	97
Tabel 8.1. Standar diameter siklon	108
Tabel 8.2. Jumlah belokan yang efektif	109
Tabel 8.3. Standar dimensi siklon lappe	113
Tabel 8.4. Hubungan D50C dengan distribusi ukuran overflow	116
Tabel 11.1. Bahan kimia <i>cleaning</i>	161
Tabel 13.1. Hubungan kosentrasi minyak dalam larutan dengan larutan terbawa zat padat	185
Tabel 14.1. Perbandingan pengeringan biasa dan pengeringan beku	216
Tabel 14.2. Frekuensi gelombang mikro dan kedalaman penetrasi	222
Tabel 15.1. Suhu pembekuan awal beberapa makanan	221
Tabel 15.2. Parameter P dan R sesuai dengan Persamaan (13)	224
Tabel 15.3. Kerusakan buah dan sayuran dalam kondisi penyimpanan produk	227
Tabel 15.4. Suhu penyimpanan dalam temperatur normal	227
Tabel 15.5. Rekomendasi kelembaban relatif	228
Tabel 15.6. Beberapa jenis refrigeran	230
Tabel 17.1. Hubungan laju s dengan nilai B^0	263
Tabel 18.1. Nilai D dan z untuk inaktivasi mikroba, inaktivasi enzim dan beberapa reaksi kimia	278
Tabel 18.2. Nilai kesetaraan menggunakan temperatur referensi 121,1 °C, z = 10 C	289
Tabel 18.3. Nilai F_0 yang telah berhasil digunakan untuk produk di pasar Inggris	290

BAB 1

SIFAT FISIKA BAHAN HASIL PERTANIAN

1. Pendahuluan

Hasil pertanian adalah produk berbentuk organik yang dihasilkan oleh tanaman, dan banyak digunakan sebagai bahan pangan yang dikonsumsi langsung atau setelah melalui pengolahan pada industri pangan dan non pangan. Teknik pengolahan didasarkan pada sifat fisik hasil pertanian dengan "sifat-sifat yang cocok untuk deskripsi dan kuantifikasi dengan cara fisik dari pada sarana kimia". Perbedaan yang tampak jelas antara sifat fisik dan kimia ini mengungkapkan fakta sejarah yang menarik terutama dalam pangan. Memang, sampai tahun 1960-an, kimia dan biokimia makanan sejauh ini merupakan bidang penelitian makanan yang paling aktif. Studi sistematis tentang sifat fisik makanan (sering dianggap sebagai disiplin ilmu yang berbeda yang disebut 'fisika makanan' atau 'kimia fisik makanan') berasal dari yang relatif baru.

Sifat fisik makanan sangat menarik bagi pakar makanan, terutama karena dua alasan:

- Umumnya karakteristik yang mendefinisikan kualitas (mis. tekstur, struktur, penampilan) dan stabilitas (mis. aktivitas air) dari produk makanan terkait dengan sifat fisiknya
- Pengetahuan kuantitatif dari banyak sifat fisik, seperti konduktivitas termal, kepadatan, viskositas, panas spesifik, entalpi dan banyak lainnya, sangat penting untuk desain operasional dan operasi proses makanan dan untuk prediksi respon makanan terhadap pemrosesan, distribusi dan kondisi penyimpanan. Ini kadang-kadang disebut sebagai 'properti rekayasa', meskipun sebagian besar properti fisik signifikan baik dari sudut pandang kualitas maupun teknik.

Dalam beberapa tahun terakhir, minat yang meningkat pada sifat fisik dari makanan nyata terwujud. Sejumlah buku dan ulasan yang secara khusus membahas masalah sifat fisika dan kimia. Jumlah pertemuan ilmiah tentang topik-topik terkait yang diadakan setiap tahun cukup besar. Kursus khusus tentang masalah fisika dan kimia kebanyakan masuk kurikulum sains, teknik, dan teknologi pangan. Beberapa properti 'rekayasa' akan diperlakukan sehubungan dengan operasi unit di mana properti tersebut sangat relevan (mis. Aliran fluida viskositas, ukuran partikel dalam pengurangan ukuran, sifat termal dalam perpindahan panas, difusi dalam perpindahan massa dll.). Sifat-sifat signifikansi yang lebih umum dan aplikasi yang lebih luas dibahas dalam bab ini.

2. Sifat Mekanik

2.1 Definisi

Dengan sifat mekanik, yang kami maksud adalah sifat-sifat yang menentukan perilaku bahan makanan saat mengalami kekuatan eksternal. Dengan demikian, sifat-sifat mekanik relevan baik untuk pemrosesan (mis. pengangkutan, pengurangan ukuran) dan konsumsi (tekstur, rasa mulut). Gaya yang bekerja pada material biasanya dinyatakan sebagai tegangan, yaitu intensitas gaya per satuan luas, dimensi dan satuan stres seperti tekanan. Respons bahan terhadap stres adalah deformasi, dinyatakan sebagai tekanan. Strain biasanya dinyatakan sebagai rasio tanpa dimensi, seperti perpanjangan sebagai persentase dari panjang aslinya. Hubungan antara stres dan ketegangan adalah subjek dari ilmu yang dikenal sebagai reologi (Steffe, 1996). Kami mendefinisikan tiga tipe deformasi ideal (Szczeniak, 1983):

- Deformasi elastis: deformasi muncul seketika dengan aplikasi tekanan dan menghilang secara instan dengan menghilangkan stres. Untuk banyak bahan, regangan sebanding dengan

tegangan, setidaknya untuk nilai deformasi sedang. Kondisi linearitas, yang disebut hukum Hooke (Robert Hooke, 1635-1703, ilmuwan Inggris) dirumuskan dalam Persamaan. (1):

$$E = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} \text{-----(1)}$$

dimana

E = Modulus Young, Pa

F= force diterapkan, N

A0 = luas penampang asli

ΔL =perpanjangan, m

L0 = panjang asli, m

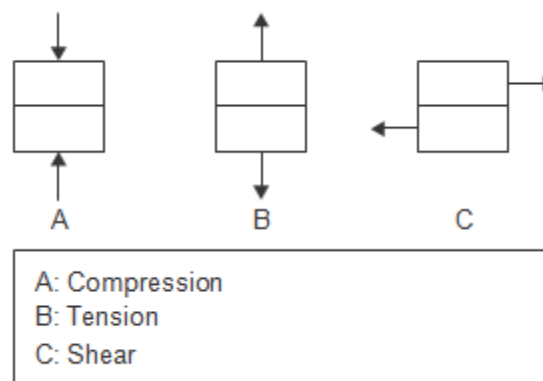
- Deformasi plastis: deformasi tidak terjadi selama tegangan di bawah nilai batas yang dikenal sebagai tegangan luluh. Deformasi bersifat permanen, mis. Tubuh tidak kembali ke ukuran dan bentuk aslinya ketika stres dihilangkan.
- Deformasi kental: deformasi (aliran) terjadi secara instan dengan aplikasistres dan bersifat permanen. Tingkat regangan sebanding dengan stres.

Jenis-jenis tegangan diklasifikasikan menurut arah gaya dalam kaitannya dengan material. Tegangan normal adalah tegangan yang bertindak dalam arah yang tegak lurus terhadap permukaan material. Tegangan normal bersifat tekan jika mereka bertindak ke arah material dan tarik jika mereka menjauh darinya. Tegangan geser bekerja dalam arah paralel (tangenial) dengan permukaan material (Gambar 1.1). Peningkatan deformasi tubuh di bawah tekanan konstan disebut creep. Pembusukan stres dengan waktu, di bawah tekanan konstan, disebut relaksasi.

2.2 Model Reologi

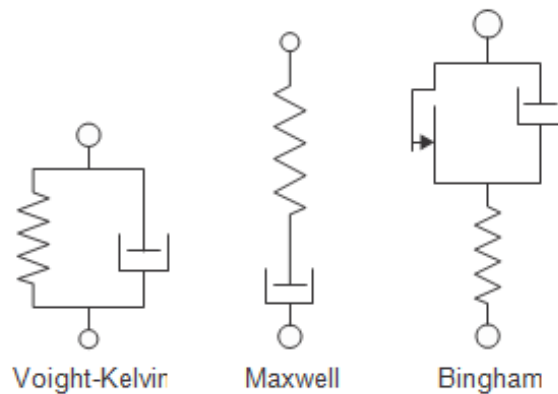
Faktor-faktor yang mempengaruhi deformasi dan rayapan pada suatu bahan pertanian dinamakan sifat rheologis. Kajian tentang rheologi adalah tentang deformasi dan rayapan bahan dengan efek waktu. Kelakuan bahan ditentukan berdasarkan tiga variabel yaitu: tegangan, deformasi atau regangan dan waktu.

Hubungan stres-regangan dalam hasil pertanian biasanya kompleks. Oleh karena itu berguna untuk menggambarkan perilaku reologis nyata seperti pada makanan dengan bantuan model perkiraan yang disederhanakan. Model-model tersebut dibangun dengan menghubungkan elemen-elemen ideal (elastis, kental, gesekan, pecah dll) secara seri, paralel atau dalam kombinasi keduanya. Beberapa model ini ditunjukkan pada Gambar 1.1. Model fisik berguna dalam pengembangan model matematika (persamaan) untuk deskripsi dan prediksi perilaku reologi makanan yang kompleks. Karakteristik reologi fluida dibahas secara rinci dalam bagian selanjutnya.



Gambar 1.1. Bentuk Stress

Peristiwa reologi banyak ditemukan pada aliran dari koloidal, seperti gel, pasta, cream dan kolloid lainnya. Terdapat tiga bentuk dari reolog seperti Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Tiga Bentuk Reologi

2.3 Properti Termal

Hampir setiap proses dalam industri makanan melibatkan efek termal seperti pemanasan, pendinginan atau transisi fase. Sifat termal dari makanan karena itu sangat relevan dalam rekayasa proses makanan. Properti berikut ini sangat penting: konduktivitas termal, difusivitas termal, panas spesifik, panas laten dari transisi fase dan emisivitas. Volume informasi yang terus meningkat tentang nilai-nilai eksperimental dari properti yang tersedia dalam berbagai teks (mis. Mohsenin, 1980; Choi dan Okos, 1986; Rahman, 1995) dan database elektronik. Selain itu, metode teoritis atau empiris telah dikembangkan untuk prediksi sifat-sifat ini mengingat komposisi kimia dan struktur fisik bahan makanan. C_p panas spesifik ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) adalah salah satu yang paling mendasar dari suhu termal. Ini didefinisikan sebagai jumlah panas (kJ) yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu satu unit massa (kg) material dengan satu derajat ($^{\circ}\text{K}$) pada tekanan konstan. Spesifikasi 'pada tekanan konstan' relevan dengan gas di mana input panas yang diperlukan untuk menyebabkan peningkatan suhu tertentu tergantung pada proses. Praktis tidak relevan dalam hal cairan dan padatan. Survei singkat tentang metode prediksi panas spesifik termasuk di bawah ini. Definisi panas spesifik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \text{ -----(2)}$$

Panas spesifik suatu material dapat ditentukan secara eksperimental dengan statis (adi abatic) kalorimetri atau kalorimetri pemindaian diferensial atau dihitung dari pengukuran yang melibatkan sifat termal lainnya. Hal ini juga dapat diprediksi dengan cukup akurat dengan bantuan sejumlah persamaan empiris. Model paling sederhana untuk larutan dan campuran cair mengasumsikan bahwa panas spesifik campuran sama dengan jumlah kontribusi yang direnungkan dari masing-masing komponen. Komponen dikelompokkan dalam kelas: air, garam, karbohidrat, protein, lipid. Panas spesifik, relatif terhadap air, seperti; garam 0,2; karbohidrat 0,34; protein 0,37; lemak 0,4; air 1. Panas spesifik air adalah $4.18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{oK}$. Panas spesifik larutan atau campuran cairan adalah:

$$C_p = 4.18(0.2 \times \text{garam} + 0.34 \times \text{kh} + 0.37 \times \text{prot} + 0.4 \times \text{lem} + 1 \times \text{air}) \text{ -----(3)}$$

X adalah massa setiap fraksi, di mana X mewakili fraksi massa masing-masing kelompok komponen (Rahman, 1995). Untuk campuran yang mendekati larutan gula dalam air (mis. Jus buah), Persamaan. (3) menjadi:

$$c_p = 4.18 [0.34X_{\text{sugar}} + 1(1 + X_{\text{sugar}})] = 4.18(1 + 0.66X_{\text{sugar}}) \text{ -----(4)}$$

Model lain yang sering digunakan memberikan pada bahan kering total dari campuran nilai spesifik relatif tunggal 0,837. Perkiraan ekspresi empiris untuk suhu di atas dan di bawah titik beku diberikan dalam Persamaan (5):

$$C_p = 0,837 + 3,348X_{\text{water}} \text{ untuk suhu di atas titik beku}$$

$$C_p = 0,837 + 1,256X_{\text{water}} \text{ untuk suhu di bawah titik beku} \quad \text{-----}(5)$$

2.4 Properti Listrik

Sifat listrik dari makanan sangat relevan dengan microwave dan pemanasan ohmik dari makanan dan efek dari gaya elektrostatis pada perilaku serbuk. Sifat paling penting adalah konduktivitas listrik dan kelengkapan dielektrik, yang berhubungan dengan pemanasan dgn kelistirikan (*ohmic*) dan pemanasan gelombang mikro.

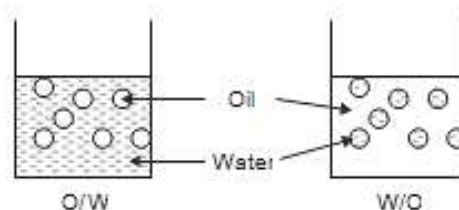
2.5 Struktur

Sangat sedikit makanan yang merupakan sistem yang benar-benar homogen. Sebagian besar makanan terdiri dari campuran fase fisik yang berbeda, dalam keadaan kontak dekat satu sama lain. Sifat makanan yang heterogen dapat terlihat dengan mata telanjang atau dirasakan hanya ketika diperiksa di bawah mikroskop atau mikroskop elektron. Dalam makanan, fase yang berbeda jarang dalam keseimbangan lengkap satu sama lain dan banyak sifat yang diinginkan dari makanan 'segar' adalah karena kurangnya keseimbangan antara fase. Struktur seperti struktur mikro dan struktur nano makanan adalah bidang penelitian yang sangat aktif (mis. Morris, 2004; Garti et al., 2005; Chen et al., 2006; Graveland-Bikker dan de Kruif, 2006). Banyak buku dan jurnal khusus membahas bidang ini.

Berikut ini adalah beberapa elemen struktural yang berbeda dalam makanan;

1. Struktur seluler: sayuran, buah-buahan dan makanan otot sebagian besar terdiri dari jaringan seluler. Karakteristik sel dan, lebih khusus, dari dinding sel menentukan sifat reologi dan transportasi makanan seluler. Salah satu karakteristik khusus makanan seluler adalah *turgiditas* atau tekanan turgor. Turgor adalah tekanan intraseluler yang dihasilkan dari perbedaan osmotik antara konten sel dan cairan ekstraseluler. Ini adalah faktor yang bertanggung jawab atas tekstur renyah buah-buahan dan sayur-sayuran dan untuk penampilan daging dan ikan segar yang 'licik'. Struktur makanan seluler juga dapat dibuat secara buatan. Roti gandum terdiri dari sel-sel yang diisi gas dengan dinding sel yang berbeda. Banyak makanan ringan kembung dan sereal sarapan yang dihasilkan oleh ekstrusi berutang kerenyahan khusus mereka pada struktur seluler mereka dengan dinding sel yang rapuh.
2. Struktur berserat: dalam konteks ini kita mengacu pada serat fisik, yaitu elemen struktur padat dengan satu dimensi yang jauh lebih besar daripada dua lainnya dan tidak untuk 'Serat makanan'. Makanan fibrus yang paling jelas adalah daging. Memang protein serat bertanggung jawab atas kenyal makanan otot. Penciptaan struktur serat buatan manusia adalah tantangan utama pengembang analog daging.
3. Gel: gel adalah sistem koloidal yang homogen secara makroskopik, di mana partikel terdispersi (umumnya konstituen polimer seperti polisakarida atau protein) telah dikombinasikan dengan pelarut (umumnya air) untuk membuat struktur padat semi-kaku. Gel biasanya diproduksi dengan terlebih dahulu melarutkan polimer dalam pelarut, kemudian mengubah kondisinya (pendinginan, konsentrasi, ikatan silang) sehingga kelarutannya berkurang. Gelasi sangat penting dalam produksi set yogurt, produk susu, custard, tahu, selai dan gula-gula. Stabilitas struktural gel makanan yang mengalami geser dan jenis pemrosesan tertentu (mis. Pembekuan-pencairan) merupakan pertimbangan penting dalam formulasi produk dan desain proses.

4. Emulsi (Dickinson, 1987): emulsi adalah campuran intim dari dua cairan yang tidak dapat bercampur, di mana salah satu cairan didispersikan sebagai gumpalan halus di yang lain (Gambar 1.3). Dalam hal makanan, dua media cair dalam banyak kasus adalah lemak dan air. Ada dua kemungkinan untuk emulsi yang terdiri dari minyak dan air:
 - a. Fase terdispersi adalah minyak (emulsi o-w dalam minyak). Ini adalah susu, krim, saus dan saus salad.
 - b. Fase terdispersi adalah air (air dalam minyak, tanpa emulsi). Mentega dan garam adalah tanpa emulsi. Emulsi bukan sistem yang stabil secara termodinamik. Mereka tidak terbentuk secara spontan. Emulsifikasi memerlukan input energi (pencampuran, homogenisasi) untuk menggeser salah satu fase menjadi butiran kecil dan membubarkannya dalam fase kontinu. Emulsi cenderung pecah sebagai hasil dari koalesensi (fusi tetesan dispersi menjadi yang lebih besar) dan krim (pemisahan emulsi asli menjadi emulsi atau krim yang lebih pekat, dan beberapa fase kontinyu bebas). Emulsi distabilkan dengan bantuan zat aktif permukaan yang dikenal sebagai emulsi.
5. Busa: busa adalah struktur seluler yang terdiri dari sel yang diisi gas (udara) dan dinding sel cair. Karena kekuatan permukaan, busa berperilaku seperti padatan. Es krim pada dasarnya adalah busa beku, karena hampir separuh volumenya adalah udara. Busa dengan karakteristik tertentu (distribusi ukuran gelembung, kepadatan, kekakuan, stabilitas) penting dalam minuman dan bir yang mengandung susu. Di sisi lain, busa berlebihan yang spontan dari beberapa produk cair (mis. susu skim) selama pengangkutan dan pemrosesan dapat menimbulkan masalah teknis yang serius. Berbusa yang tidak diinginkan dikendalikan oleh desain peralatan yang tepat, pemecah busa mekanis atau melalui penggunaan antifoaming kimia tingkat makanan (pencegahan) dan penghilang agen busa (pengurangan busa) seperti minyak dan senyawa berbasis silikon tertentu.
6. Bubuk: partikel padat, berukuran 10 hingga 1000 mikrometer, didefinisikan sebagai bubuk. Partikel yang lebih kecil secara konvensional disebut 'debu' dan partikel yang lebih besar adalah 'granul'. Beberapa produk makanan dan banyak bahan baku industri makanan adalah bubuk. Bubuk diproduksi oleh pengurangan ukuran, curah hujan, kristalisasi atau pengeringan semprot. Salah satu masalah utama yang terkait dengan bubuk dalam rekayasa makanan adalah aliran dan transportasi bahan partikel.



Gambar 1.3. Skematik struktur minyak dalam air (O/W) dan air dalam minyak (W/O)

2.6 Aktivitas Air

a. Pentingnya air dalam makanan

Air adalah unsur yang paling melimpah di sebagian besar makanan. Nilai-nilai indikatif dari kandungan air di sejumlah produk makanan ditunjukkan pada Tabel 1.1. Klasifikasi makanan menjadi tiga kelompok sesuai dengan kadar airnya (makanan tinggi, menengah dan rendah kelembaban) telah disarankan (Franks, 1991). Buah-buahan, sayuran, jus, daging mentah, ikan dan susu termasuk dalam kategori kelembaban tinggi. Roti, keju keras, dan sosis adalah contoh makanan kelembaban menengah, sedangkan kelompok dengan kelembaban rendah meliputi sayuran kering, biji-bijian, susu bubuk dan campuran sup kering. Pentingnya fungsional air dalam makanan jauh melampaui kehadiran kuantitatifnya saja dalam komposisi

bahan. Di satu sisi, air sangat penting untuk tekstur dan penampilan buah dan sayuran yang baik. Dalam produk semacam itu, hilangnya air biasanya menghasilkan kualitas lebih rendah. Di sisi lain, air, menjadi syarat penting untuk terjadinya reaksi kimia dan pertumbuhan mikroba, sering bertanggung jawab untuk kerusakan mikroba, enzimatis dan kimia makanan. Sekarang telah diketahui bahwa pengaruh air pada stabilitas makanan tidak dapat dikaitkan hanya dengan kadar air kuantitatif. Sebagai contoh, madu yang mengandung 23% air benar-benar stabil sementara kentang dehidrasi akan mengalami pembusukan cepat dengan kadar air tinggi. Untuk menjelaskan pengaruh air, diperlukan parameter yang mencerminkan kuantitas dan 'efektivitas' air. Parameter ini adalah aktivitas air.

b. Definisi, dan penentuan aktivitas air

Aktivitas air, a_w , didefinisikan sebagai rasio tekanan uap air dari makanan terhadap tekanan uap air murni pada suhu yang sama.

$$a_w = \frac{p}{p_o} \text{-----(6)}$$

dimana:

p = tekanan parsial uap air bahan pada suhu T ,

p_o = kesetimbangan tekanan uap air murni pada suhu T

Rasio yang sama juga menentukan kelembaban relatif udara (RH) biasanya dinyatakan sebagai persen):

$$R_H = \frac{p'}{p_o} \times 100 \text{-----(7)}$$

dimana:

p' = tekanan parsial uap air di udara

Tabel 1.1. Kadar air pada beberapa makanan

Food	Water (%)
Cucumbers	95-96
Tomatoes	93-95
Cabbage	90-92
Orange juice	86-88
Apples	85-87
Cow milk	86-87
Eggs, whole	74
Chicken, broiled	68-72
Hard cheese	30-50
White bread	34
Jams, preserves	30-35
Honey	15-23
Wheat	10-13
Nuts	4-7
Dehydrated onion	4-5
Milk powder	3-4

Jika makanan berada dalam keseimbangan dengan udara, maka aktivitas air makanan sama dengan kelembaban relatif atmosfer. Untuk alasan ini, aktivitas air kadang-kadang dinyatakan sebagai, equilibrium relativity humiditi (kesetimbangan kelembaban relatif = ERH)

$$a_w = \frac{ERH}{100} \text{-----(8)}$$

Banyak metode dan instrumen untuk penentuan aktivitas air berdasarkan Persamaan (8). Sampel makanan diseimbangkan dengan ruang kepala kecil udara di ruang dekat dan kemudian kelembaban relatif ruang kepala diukur dengan metode hygrometric yang sesuai seperti teknik 'cermin dingin'. Nilai aktivitas air tertentu dari beberapa produk makanan diberikan pada Tabel 1.2.

c. Prediksi aktivitas air

Mekanisme utama yang bertanggung jawab untuk depresi tekanan uap air dalam makanan adalah interaksi pelarut - zat terlarut, pengikatan molekul air ke lokasi kutubkonstituen polimer (mis. polisakarida dan protein), adsorpsi air pada permukaan matriks padat dan kekuatan kapiler (Le Maguer, 1987). Pada makanan suhu tinggi, seperti jus buah, depresi dapat dikaitkan sepenuhnya dengan interaksi yang larut dalam air. Jika makanan tersebut dianggap berperilaku sebagai 'solusi ideal', maka tekanan uap airnya mematuhi hukum Raoult seperti dalam Persamaan. (9):

$$p = x_w p_o \text{-----(9)}$$

Dimana x_w adalah kadar air (dalam fraksi molar) dari makanan. Ini mengikuti aktivitas larutan encer yang ideal sama dengan konsentrasi molar air x_w . Aktivitas air dari makanan dengan kelembaban tinggi (dengan a_w 0,9 atau lebih tinggi) dapat dihitung cukup akurat dengan metode ini.

Latihan 1

Perkirakan aktivitas air madu. Pertimbangkan madu sebagai larutan gula 80% b/b (90% heksosa, 10% disakarida).

Solusi:

Komposisi 100g madu adalah:

Air 20g = $20/18 = 1.11$ gmol

Heksosa 72g = $72/180 = 0.40$ gmol

Disakarida 8g = $8/342 = 0.02$ gmol

Dengan asumsi hukum Raoult, aktivitas air madu sama dengan fraksi molar air

$$a_w = x_w = \frac{1.11}{1.11+0.40+0.02} = 0.725$$

Karena kadar air berkurang, air mengikat oleh matriks padat dan kapilerkekuatan menjadi faktor yang semakin signifikan dan menaungi interaksi yang larut dalam air. Selain itu, asumsi perilaku solusi ideal tidak dapat lagi diterapkan karena peningkatan konsentrasi fase cair. Hubungan antara kadar air dan aktivitas air, $a_w = f(X)$ menjadi lebih kompleks. Ini dibahas di bagian selanjutnya. Aktivitas air bergantung pada suhu.

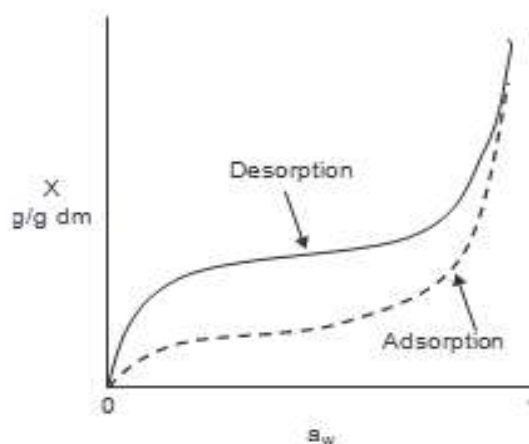
Tabel 1.2. Bentuk a_w dari berbagai jenis bahan makanan

a_w range	Product examples
0.95 and above	Fresh fruits and vegetables, milk, meat, fish
0.90–0.95	Semi-hard cheeses, salted fish, bread
0.85–0.90	Hard cheese, sausage, butter
0.80–0.85	Concentrated fruit juices, jelly, moist pet food
0.70–0.80	Jams and preserves, prunes, dry cheeses, legumes
0.50–0.70	Raisins, honey, grains
0.40–0.50	Almonds
0.20–0.40	Nonfat milk powder
0.2	Crackers, roasted ground coffee, sugar

Mempertimbangkan definisi aktivitas air, seperti yang diberikan dalam Persamaan. (6), seseorang akan tergoda untuk menyimpulkan yang sebaliknya. Suhu memengaruhi p dan p_0 dengan cara yang sama (Hukum Clausius-Clapeyron), oleh karena itu rasio tidak boleh dipengaruhi oleh suhu. Hal ini berlaku untuk fase cair dan, tentu saja, aktivitas air dari makanan dengan kelembaban tinggi dipengaruhi oleh suhu yang sangat rendah, jika tidak ada sama sekali. Situasinya berbeda pada tingkat kadar air yang lebih rendah. Suhu tidak hanya mempengaruhi molekul air tetapi juga matriks padat yang berinteraksi dengan air. Oleh karena itu, suhu mempengaruhi aktivitas air pada tingkat kelembaban rendah di mana efek adsorpsi dan kapiler kuat. Arah dan intensitas efek suhu tidak dapat diprediksi.

d. Isoterm sorpsi uap air

Fungsi yang mewakili hubungan antara kadar air (mis. Gram air per gram bahan kering) dan aktivitas air pada suhu konstan disebut 'Isoterm sorpsi uap air' atau 'isoterm serapan uap air' dari suatu makanan. Bentuk umum dari isoterm sorpsi hipotetis ditunjukkan pada Gambar 1.4. Isoterm sorpsi dari sejumlah besar makanan telah dikompilasi oleh Iglesias dan Chirife (1982). Isoterm sorpsi ditentukan secara eksperimental. Pada dasarnya, sampel makanan diseimbangkan pada suhu konstan dengan atmosfer pada kerabat yang diketahui berbeda kelembaban. Setelah kesetimbangan, sampel dianalisis untuk kadar air (uap air).

**Gambar 1.4.** Bentuk umum serapan

Setiap data memberikan satu nilai pada isoterm. Metode eksperimental untuk penentuan isoterm sorpsi terbagi dalam dua kelompok, yaitu prosedur statis dan dinamis. Dalam metode statis, sampel makanan yang ditimbang ditempatkan dalam toples, larutan encer berlebih dari garam yang berbeda dan dibiarkan seimbang pada suhu konstan. Pada suhu konstan, konsentrasi larutan jenuh konstan dan demikian pula tekanan uap airnya. Kelembaban relatif atmosfer dalam kesetimbangan dengan larutan jenuh dari beberapa garam diberikan pada Tabel 1.3. Dalam metode dinamis, sampel diseimbangkan dengan aliran gas, kelembaban relatif yang terus berubah. Kuantitas kelembaban yang diadsorpsi atau desorbed ditentukan dengan mencatat perubahan berat sampel.

Dua kurva pada Gambar 1.4 menunjukkan fenomena 'histeresis', sering dijumpai. Salah satu kurva terdiri dari titik data eksperimental di mana sampel makanan mencapai kesetimbangan dengan kehilangan lembab (desorpsi). Kurva lainnya mewakili titik yang diperoleh dengan jalur yang berlawanan, yaitu dengan mendapatkan kelembaban (adsorpsi). Penjelasan fisik histeresis sorpsi telah menjadi subjek banyak penelitian. Secara umum, histeresis dikaitkan dengan kondensasi dari beberapa air di kapiler (Labuza, 1968; Kapsalis, 1987; deMann 1990). Pengamatan bahwa, tergantung pada jalur penyerapan, makanan dapat memiliki dua nilai aktivitas air yang berbeda pada kadar air yang sama menimbulkan keraguan pada validitas termodinamika konsep keseimbangan penyerapan (Franks, 1991).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengembangkan model matematika untuk prediksi isoterm sorpsi (Chirife dan Iglesias, 1978). Beberapa model yang dikembangkan didasarkan pada teori fisik adsorpsi. Lainnya adalah ekspresi semi-empiris yang dikembangkan oleh teknik melengkung. Salah satu model yang paling dikenal adalah persamaan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Asumsi dasar yang menjadi dasar model BET. Diterapkan untuk penyerapan uap air, persamaan BET ditulis sebagai berikut:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{Ca_w}{(1-a_w)[1+a_w(C-1)]} \text{-----(10)}$$

dimana:

X = Kadar air, gram air per gram bahan kering

X_m = parameter persamaan, ditafsirkan sebagai nilai X untuk saturasi satu lapisan monomolekul air pada permukaan yang menyerap (BET monolayer)

C = konstanta terkait dengan panas adsorpsi.

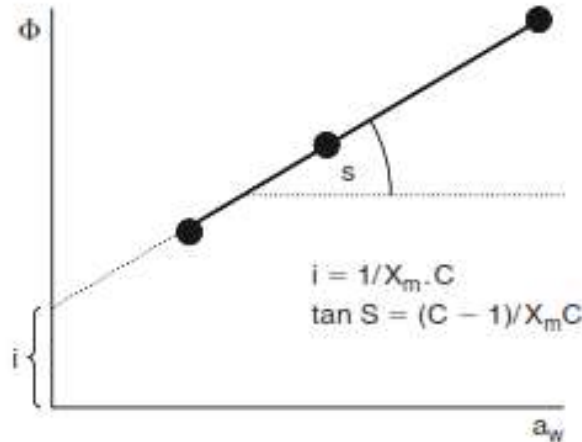
Tabel 1.3. Larutan garam jenuh yang biasa digunakan dalam penentuan isoterm sorpsi

Salt	a _w at 25°C
Lithium chloride	0.11
Potassium acetate	0.22
Magnesium chloride	0.33
Potassium carbonate	0.44
Sodium chloride	0.75
Potassium sulfate	0.97

Untuk menemukan X_m dan C dari data sorpsi eksperimental, persamaan BET ditulis sebagai berikut:

$$\frac{a_w}{(1-a_w)} = \Phi = \frac{1}{X_m C} \frac{C+1}{x_m C} a_w \text{-----(11)}$$

Jika grup Φ diplot terhadap a_w , diperoleh garis lurus (Gambar 1.5). X_m dan C dihitung dari intersep dan kemiringan. Model BET telah terbukti sesuai dengan isoterm sorpsi sumur, hingga nilai aktivitas air sekitar 0,45.



Gambar 1.5. Linearisasi persamaan BET dengan 3 titik eksperimental

Latihan 2

Berikut ini adalah 3 poin dari isoterm sorpsi kentang pada 20 ° C:

a_w	X (gr air per berat kering)
0.12	0.05
0.47	0.11
0.69	0.18

Perkirakan nilai monolayer kentang, berdasarkan data.

Penyelesaian

Dihitung grup Φ dalam Persamaan. (11), sebagai fungsi a_w . Maka diperoleh :

a_w	Φ
0.12	2.73
0.47	8.16
0.69	12.4

Plot linier Φ versus a_w ditemukan menjadi: $\Phi = 16,8 a_w + 0,57$

$$\frac{C-1}{X_m C} = 16,8 \frac{1}{X_m C} = 0,57$$

Hasil perhitungan diperoleh nilai $C = 30,47$ dan $X_m = 0,058$

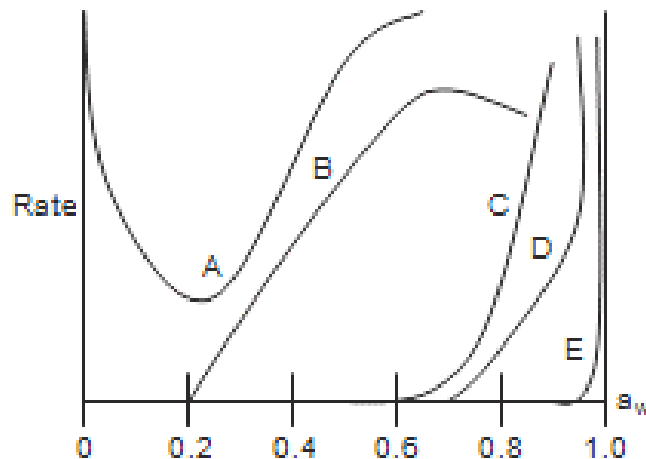
Persamaan lain yang sering digunakan untuk memprediksi isoterm sorpsi adalah Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) model yang ditunjukkan di bawah ini:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{CKa_w}{(1-Ka_w)[1-Ka_w + CKa_w]} \text{-----(12)}$$

Di mana C dan K adalah konstanta, keduanya terkait dengan suhu dan panas adsorpsi. Kisaran penerapan persamaan GAB lebih luas dari pada model BET.

e. Aktivitas air

Berpengaruh pada kualitas dan stabilitas makanan. Pertumbuhan bakteri tidak terjadi pada tingkat aktivitas air di bawah 0,9. Dengan pengecualian spesies osmofilik, batas aktivitas air untuk pertumbuhan jamur dan ragi adalah di antaranya 0,8 dan 0,9. Sebagian besar reaksi enzimatik membutuhkan tingkat aktivitas air 0,85 atau lebih tinggi. Hubungan antara aktivitas air dan reaksi kimia (Maillard browning, oksidasi lipid) menunjukkan perilaku yang lebih kompleks dengan maksimal dan minimal (Gambar 1.6).



Gambar 1.6. Tingkat relatif dari mekanisme kerusakan yang dipengaruhi oleh aktivitas air. A: Oksidasi lipid; B: Kecokelatan Maillard; C: Aktivitas enzimatik; D: Pertumbuhan jamur; E: Pertumbuhan bakteri.

2.7. Fenomena Transisi Fase dalam Makanan

a. Keadaan kaca dalam makanan

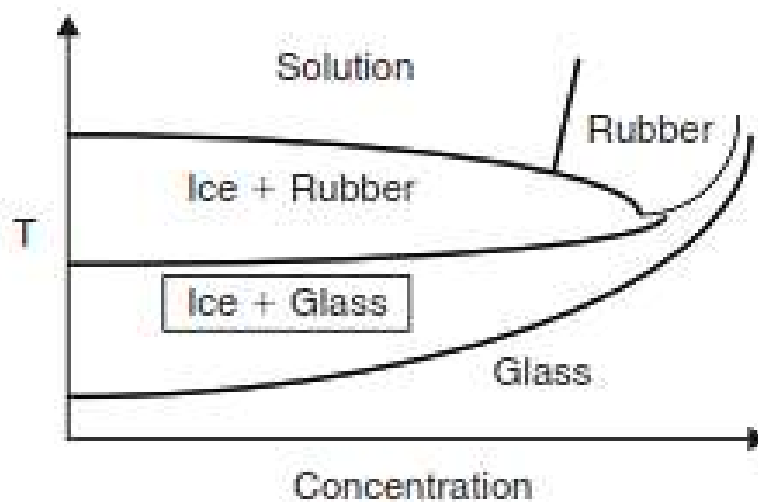
Dengan sedikit pengecualian, makanan harus dianggap sebagai sistem mentastabil yang mampu mengalami perubahan. Stabilitas adalah konsekuensi dari laju perubahan. Pada gilirannya, laju perubahan tergantung pada mobilitas molekul. Dalam beberapa tahun terakhir, mobilitas molekuler telah menjadi subjek minat yang kuat di antara para ilmuwan pangan.

Subjek sangat penting dalam makanan padat dan semi-padat dengan kadar air rendah hingga menengah. Pada sebagian besar makanan yang termasuk dalam kategori ini, interaksi antara polimer konstituen, air dan zat terlarut adalah masalah utama sehubungan dengan mobilitas molekuler. Tingkat reaksi, difusi dan reaksi. Dengan demikian, konsep dan prinsip yang dikembangkan oleh para ilmuwan polimer sekarang sedang diterapkan pada makanan (Slade dan Levine, 1991, 1995). Pertimbangan produk makanan cair, seperti madu, yang terdiri dari larutan gula pekat. Sifat fisik dan stabilitas larutan semacam itu bergantung pada dua variabel: konsentrasi dan suhu. Jika konsentrasi meningkat dengan perlahan-lahan menghilangkan sebagian air dan suhu diturunkan secara bertahap, kristal padat gula akan terbentuk. Jika proses konsentrasi dan pendinginan dilakukan di bawah kondisi yang berbeda, kristalisasi tidak akan terjadi, tetapi viskositas larutan akan meningkat sampai diperoleh bahan yang keras, transparan, seperti kaca. Permen keras transparan yang sudah dikenal adalah contoh dari makanan kaca (kaca). Keadaan kaca tidak terbatas pada sistem air-gula. Makanan menengah dan rendah kelembaban sering mengandung daerah kaca yang terdiri dari bahan polimer (mis pati gelatin) dan air. Fenomena perpindahan dari semi-cair yang sangat kental dan kenyal ke kaca yang kaku disebut 'transisi kaca' dan suhu yang terjadi adalah 'suhu transisi kaca, T_g . Secara fisik, gelas adalah padatan amorf. Kadang-kadang juga digambarkan sebagai cairan dingin dengan kekentalan yang sangat tinggi. Secara konvensional, viskositas yang ditetapkan pada gelas adalah dalam urutan 10^{11} sampai 10^{13} Pa., walaupun secara praktis tidak mungkin untuk

memverifikasi konvensi ini secara eksperimental. Molekul-molekul gelas tidak memiliki susunan yang teratur seperti pada kristal padat, tetapi mereka cukup dekat dan tidak dapat bergerak untuk memiliki kekakuan karakteristik padatan. Karena mobilitas molekuler yang dapat diabaikan, laju reaksi kimia dan biologis dalam bahan kaca sangat rendah. Kekakuan daerah kaca mempengaruhi tekstur makanan. Staling roti disebabkan oleh transisi sistem air-pati dari keadaan kenyal ke kaca. Kerenyahan dari banyak produk makanan ringan adalah karena strukturnya yang seperti kaca.

b. Suhu Transisi Gelas

Suhu transisi gelas adalah suhu suatu polimer mengalami perubahan dari bentuk cair menjadi bentuk solid. Keadaan fisik yang berbeda dari sistem pelarut-pelarut berair yang mampu membentuk padatan amorf dan proses peralihan dari satu keadaan ke keadaan lain telah dijelaskan oleh Roos dan Karel (1991a) dalam diagram yang sering dikutip (Gambar 1.7).



Gambar 1.7. Sebutkan diagram solusi karbohidrat. (Diadaptasi dari Roos dan Karel, 1991a.

Perebusan cairan atau peleburan kristal adalah transisi fase 'termodinamika', juga dikenal sebagai 'transisi urutan pertama'. Mereka terjadi pada serangkaian kondisi tertentu (suhu, tekanan), tidak bergantung pada kecepatan. Fase-fase dalam transisi saling berada dalam keseimbangan. Sebaliknya, transisi kaca bersifat kinetik. Itu tidak melibatkan perubahan langkah besar dalam properti dan tidak memerlukan panas laten yang cukup lama transisi. Suhu transisi gelas dari bahan karet tertentu bukan merupakan titik yang tetap. Ini agak bervariasi dengan laju dan arah perubahan (mis. Laju pemanasan atau pendinginan), oleh karena itu prosedur penentuannya harus ditentukan secara tepat.

Suhu transisi gelas (T_g) dari gula kering murni diberikan pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4. Status Transisi Suhu Gekas dari Gula

Substance	T_g (°C)
Sorbitol	-2
Xylose	9.5
Glucose	31
Fructose	100
Maltose	43
Sucrose	52

From Belitz et al., 2004

Transisi suhu gelas sangat tergantung pada konsentrasi. Larutan encer memiliki T_g lebih rendah. Hal ini membuat Roos dan Karel (1991b) menyimpulkan bahwa air bertindak pada makanan amorf sebagai pemelastis dalam sistem polimer. Efek konsentrasi pada T_g ditunjukkan pada Gambar 1.8 untuk larutan sukrosa. Disarankan bahwa suhu transisi gelas dari campuran dapat didiktekan, menggunakan persamaan Gordon-Taylor, dipinjam dari ilmu polimer dan ditunjukkan dalam Persamaan. (13):

$$T_g = \frac{w_1 T_{g1} + k w_2 T_{g2}}{w_1 + k w_2} \text{-----} (13)$$

dimana:

T_g gelas transisi suhu campuran T_{g1} , T_{g2} suhu transisi gelas absolut (°K) dari komponen 1 dan 2, masing-masing.

Subskrip 2 mengacu pada komponen dengan T_g lebih tinggi. w_1 , w_2 = fraksi berat masing-masing komponen 1 dan 2, k adalah sebuah konstanta. Ekspresi perkiraan yang lebih sederhana adalah persamaan Fox (Schneider, 1997):

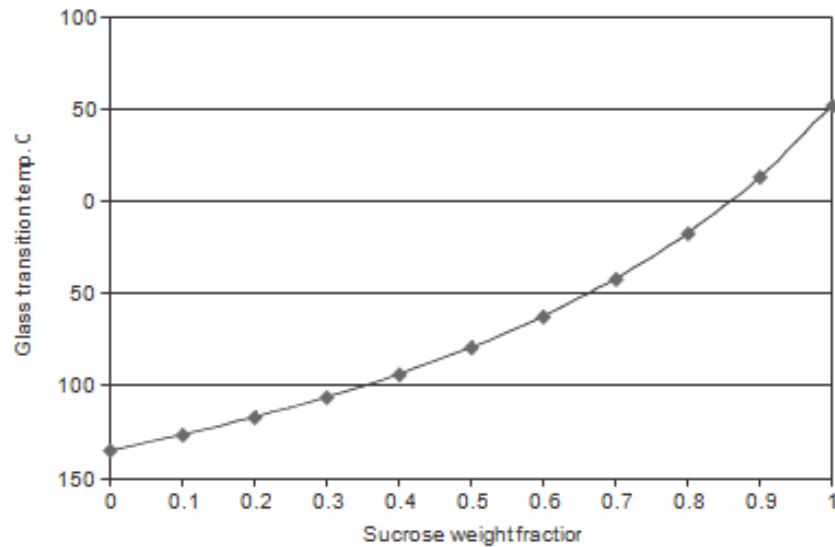
$$\frac{1}{T_g} = \frac{w_1}{T_{g1}} + \frac{w_2}{T_{g2}} \text{-----} (14)$$

Menurut Johari et al. (1987), T_g air adalah 138 ° K atau 135 ° C. Transisi kacasu beberapa karbohidrat ditunjukkan pada Tabel 4. Viskositas larutan meningkat tajam ketika T_g didekati. Dekat T_g , efek suhu pada viskositas tidak sesuai dengan hukum Arrhenius tetapi mengikuti hubungan Williams-Landel-Ferry (WLF) (Roos dan Karel, 1991c), ditunjukkan dalam Persamaan. (15):

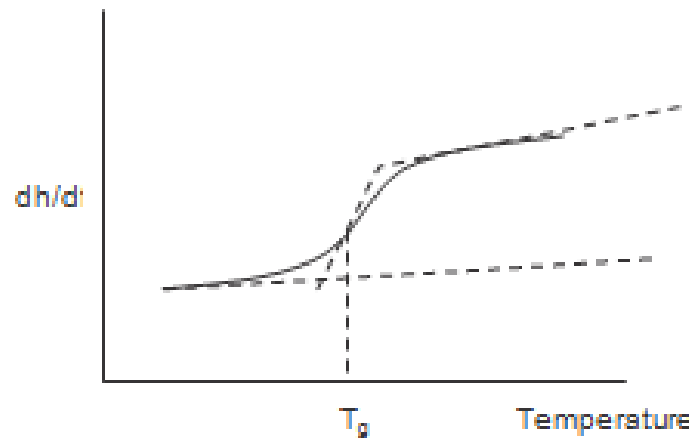
$$\log \frac{\mu}{\mu_g} = \frac{-17,44(T - T_g)}{51,6 + (T - T_g)} \text{-----} (15)$$

di mana μ dan μ_g berdiri untuk viskositas pada suhu T dan T_g masing-masing.

Sama seperti aktivitas air, suhu transisi gelas telah menjadi konsep kunci di teknologi makanan, dengan aplikasi dalam penilaian kualitas dan pengembangan produk. Karena keadaan kaca dianggap sebagai keadaan di mana mobilitas molekul pada suatu mini, telah menjadi kebiasaan untuk mempelajari sifat dan stabilitas makanan, bukan sebagai fungsi dari suhu T , tetapi sebagai fungsi dari perbedaan $T - T_g$ (Simatos et al., 1995).



Gambar 1.8. Pengaruh temperatur Tg pada larutan gula



Gambar 1.9. Transisi suhu kaca dari plot DSC (differential scanning calorimetry)

Ada beberapa metode untuk penentuan Tg. Hasilnya mungkin agak berbeda, tergantung pada metode yang digunakan. Metode yang paling umum diterapkan adalah diferensial pemindaian kalorimetri (DSC). DSC mengukur dan mencatat kapasitas panas (misalnya jumlah panas yang diperlukan untuk meningkatkan suhu sebesar 1 derajat Celsius) dari suatu sampel dan referensi sebagai fungsi suhu. Peningkatan tajam atau penurunan kapasitas panas menunjukkan transisi fase endoterm atau eksoterm pada suhu di mana ini terjadi. Dalam kasus transisi orde pertama, seperti peleburan, amplitudo perubahan cukup besar. Sebaliknya, transisi kaca dideteksi sebagai refleksi halus dalam kurva kapasitas panas (Gambar 1.9). Karena perubahan terjadi pada rentang suhu dan tidak tajam pada satu suhu, keputusan untuk membaca Tg tergantung pada interpretasi. Dua konvensi yang paling umum adalah titik tengah dari langkah dan titik yang mewakili permulaan transisi (Simatos et al. 1995).

DAFTAR PUSTAKA

- Balint, A. (2001). Prediction of physical properties of foods for unit operations. *Periodica Polytechnica Ser Chem Eng* 45(1), 35–40.
- Belitz, H.D., Grosch, W. and Schieberle, P. (2004). *Food Chemistry*, 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin.
- Figura, L.O. and Teixeira, A.A. (2007). *Food Physics*. Springer-Verlag, Berlin.
- Franks, F. (1991). Hydration phenomena: an update and implications for the food processing industry. In *Water Relationships in Foods* (Levine, H. and Slade, L., eds). Plenum Press, New York.
- Berg Zeki (2009) *Food Process Engineering and Technology*. First Edition Amsterdam. Pp:622
- Fellows P. (2000) *Raw Materials Preparation In Food Processing Technology Principles and Practice* Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p:83-96
- Garti, N., Spernath, A., Aserin, A. and Lutz, R. (2005). Nano-sized self-assemblies of nonionic surfactants as solubilization reservoirs and microreactors for food systems. *Soft Matter* 1, 206–218.
- Graveland-Bikker, J.F. and de Kruif, C.G. (2006). Unique milk protein based nanotubes. *Trends in Food Sci Techn* 17, 196–203.
- Iglesias, H.A. and Chirife, J. (1982). *Handbook of Food Isotherms*. Academic Press, New York.
- Johari, G.P., Hallbrucker, A. and Mayer, E. (1987). The glass transition of hyperquenched glassy water. *Nature* 330, 552–553.
- Jowitt, R. (ed.) (1983). *Physical Properties of Foods*. Elsevier, Amsterdam.
- Kapsalis, J.G. (1987). Influences of hysteresis and suhue on moisture sorption isotherms. In *Water Activity: Theory and Application to Food* (Rockland, L.B. and Beuchat, L.R., eds). Marcel Dekker, New York.
- Lewis, M.J. (1990). *Physical Properties of Foods and Food Processing Systems*. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge.
- Mohsenin, N.N. (1980). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon & Breach Science Publishers, New York.
- Morris, V. (2004). Probing molecular interactions in foods. *Trends Food Sci Technol* 15, 291–297.
- Peleg, M. and Bagley, E.B. (eds) (1983). *Physical Properties of Foods*. Avi Publishing Company, Westport.
- Rahman, M.S. (ed.) (1995). *Food Properties Handbook*. CRC Press, New York.
- Sahin, S. and Sumnu, S.G. (2006). *Physical Properties of Foods*. Springer, New York.
- Scanlon, M.G. (2001). Physical properties of foods, special issue. *Food Res Int* 34(10), 839.
- Slade, L. and Levine, H. (1995). Polymer science approach to water relationships in foods. In *Food Preservation by Moisture Control* (Barbosa-Canovas, G.V. and Welti-Chanes, J., eds). Technomic Publishing Co, Lancaster.
- Toledo Romeo T (2007) *Fundamentals of Food Process Engineering Third Edition*. Univ Georgia GA 30602 USA pp: 585.

BAB II

SANITASI DAN PEMISAHAN KONTAMINAN

1. Pendahuluan

Pembersihan adalah penghilangan bahan kontaminan pada hasil pertanian baik pemisahan secara mekanis maupun dengan menggunakan bahan kimia deterjen yang disesuaikan dengan rekomendasi Lembaga yang berwewenang. Personel yang terlibat pada proses pembersihan dan personalia memiliki pemahaman kerja sifat berbagai jenis bahan kontaminan yang terdapat dalam hasil pertanian.

Metode pembersihan peralatan dapat dikategorikan sebagai berikut:

- Pembersihan Mekanis. Sering disebut sebagai clean-in-place (CIP). Tidak membutuhkan pembongkaran atau pembongkaran sebagian.
- Clean-out-of-Place (COP). Dapat sebagian dibongkar dan dibersihkan dalam COP khusus tangki tekanan.
- Pembersihan manual. Membutuhkan pembongkaran total untuk pembersihan dan inspeksi.

Sanitasi penting untuk membedakan dan mendefinisikan terminologi tertentu:

- Steril mengacu pada penghancuran dan penghapusan semua organisme hidup.
- Disinfeksi mengacu pada benda mati dan penghancuran semua sel vegetatif (bukan spora).
- Sanitasi mengacu pada pengurangan mikroorganisme ke tingkat yang dianggap aman dari sudut pandang kesehatan masyarakat.

2. Penerapan Pada Hasil Pertanian Untuk Konsumsi Langsung

Mayoritas buah dan sayuran segar dikonsumsi di Amerika Serikat bebas dari mikroba patogen penyebab penyakit konsumen. Selain itu, banyak buah utuh dan sayuran memiliki bahan penghambat alami yang mencegah patogen memasuki bagian hasil pertanian. Namun, buah-buahan dan sayuran mungkin bersentuhan dengan patogen berbahaya di titik-titik di sepanjang rantai pasokan. Konsumsi buah dan sayuran segar telah meningkat selama beberapa tahun terakhir, memiliki banyak penyakit yang dikaitkan dengan patogen bawaan makanan. Keragaman lingkungan yang terlibat dalam proses produksi hingga konsumsi membuatnya cukup sulit menentukan sumber penyakit bawaan makanan meskipun wabah baru-baru ini telah dikaitkan sumber kontaminasi yang terjadi pada tanah pertanian. Karena total eliminasi patogen tidak mungkin menghilangkan potensi sumber kontaminasi, maka yang paling efektif cara untuk meminimalkan risiko kontaminasi on-farm.

Membangun dan mengikuti syarat keamanan pangan, seperti praktik pertanian yang baik (Good Agricultural Practises) mengurangi sumber potensial dari kontaminasi dan mungkin merupakan langkah pertama memastikan pasokan makanan kita bebas dari bahaya bakteri. Tujuan dari dokumen ini adalah untuk menyediakan informasi umum tentang GAP juga untuk memberikan produsen dengan solusi yang mungkin diimplementasikan untuk meminimalkan risiko kontaminasi. Dokumen ini harus digunakan bersama dengan pihak lain untuk membantu petani mempertahankan keamanan buah segar dan sayuran dimaksudkan untuk langsung ke konsumen penjualan. Sebuah daftar dari tambahan sumber daya bisa ditemukan di akhir dokumen. GAP

dikembangkan sebagai tanggapan terhadap semakin banyak penyakit bawaan makanan wabah yang terkait dengan produk segar. GAP adalah seperangkat rekomendasi yang membantu produsen mengidentifikasi sumber kontaminasi potensial di lahan dan mengusulkan solusi. GAP bisa disesuaikan agar sesuai dengan segala ukuran operasi pertanian dan mencakup semua aspek produksi pangan tetapi terfokus pada meminimalkan sumber kontaminasi berikut; pekerja kesehatan dan kebersihan, air, tanah, dan permukaan kontaminasi.

3. Kontaminasi Pada Hasil Pertanian

Kontaminasi hasil pertanian adalah akibat kontak langsung dalam proses pra panen dan pasca panen yang berasal dari alat, mesin, instalasi panen dan transportasi serta dari pekerja sebagai perantara bakteri, jamur dan virus, yang sangat berpengaruh pada kualitas hasil pertanian segar. Banyak wabah penyakit bawaan makanan diidentifikasi dalam tinja sebagai sumber kontaminasi. Cara paling efektif untuk mengurangi kontaminasi yang dibawa oleh materi tinja dengan mencegahnya memasuki area pertanian. Karena hasil panen sering dipanen dan dikemas dengan tangan, sangat penting bagi para pekerjanya produsen tidak hanya mengerti tetapi mempraktikkan kebersihan yang benar selama fase produksi, panen dan pengepakan. Kontaminasi yang tidak disengaja dapat terjadi jika prinsip-prinsip kebersihan tidak dipahami dan diikuti.

4. Pembersihan

4.1 Prosedur Pembersihan

Kembangkan dan ikuti rutinitas prosedur pembersihan untuk semua permukaan yang mungkin bersentuhan dengan makanan.

- Bersihkan semua wadah panen sebelumnya menggunakan.
- Waspada dan hilangkan sumber-sumber dari kontaminasi silang.
- Hindari mencampur produk.
- Simpan wadah dengan cara itu meminimalkan paparan terhadap hewan dan tikus. GAP dimaksudkan untuk meminimalkan risiko kontaminasi di lahan selama pertumbuhan, memanen pengepakan dan pemrosesan produk dapat terkontaminasi selama transportasi ke pasar atau saat di pasar.

Vendor dapat meminimalkan risiko buah dan sayuran menjadi terkontaminasi saat di pasar dengan teknik penanganan yang masuk akal dan pasti dapat mengurangi risiko produk terkontaminasi di pasar.

Vendor Harus mempertimbangkan praktik berikut:

- Berpartisipasi dalam keamanan pangan dan menangani program pelatihan seperti GAP.
- Pastikan wadah transportasi dan kendaraan bersih dan bebas dari kontaminan.
- Pastikan siapa yang menangani produk menerima dan mengerti makanan pelatihan sanitasi.
- Bersihkan tampilan peralatan secara teratur sebelumnya untuk setiap penggunaan. Bersihkan setelah digunakan
- Hindari menggunakan kembali wadah sekali pakai.
- Jika wadah digunakan kembali, pastikan mereka benar dibersihkan antara penggunaan.
- Gunakan wadah plastik atau bahan tidak berpori lainnya yang lebih mudah dibersihkan.
- Pergunakan wadah kayu berbaris atau anyaman dengan foil atau plastik.
- Gunakan stasiun pencuci tangan yang dapat dipindah dengan tujuan agar mempercepat proses pencucian tangan dengan tempat kerja. Gunakan pembersih tangan bersamaan dengan mencuci tangan yang benar, tidak pernah seperti pengganti.
- Batasi pelanggan yang menyentuh dan membolak-balik produk.

- Mendidik pelanggan tentang pentingnya mencuci produk sebelumnya untuk konsumsi.
- Berpartisipasi dalam keamanan pangan & menangani program pelatihan seperti GAP.
- Pastikan wadah transportasi dan kendaraan bersih dan bebas dari kontaminan, terutama bahan beracun.
- Pastikan siapa pun yang menangani produk menerima & mengerti tentang makanan dan telah pernah mengikuti pelatihan sanitasi, mengembangkan dan menerapkan keamanan pangan. Program sanitasi adalah cara paling efektif untuk meminimalkan risiko buah dan sayuran menjadi terkontaminasi. Ini sangat penting bagi produsen untuk mengembangkan keamanan pangan secara tertulis, merencanakan dan memelihara catatan yang memadai serta merinci langkah-langkah dan prosedur untuk mengurangi identitas risiko kontaminasi. Produsen harus hubungi layanan ekstensi lokal untuk persyaratan dan peluang pelatihan

4.2. Prosedur Pembersihan Fisika

4.2.1. Pencuciandengan Air

Air adalah komponen penting dalam pembersihan produksi buah dan sayuran tetapi mungkin juga menjadi pembawa mikroorganisme menyebabkan penyakit. Produsen harus mengelola secara efektif kualitas air yang digunakan di seluruh proses produksi dan pasca panen. Menggunakan air dari sumber air minum untuk semua operasi pertanian adalah cara terbaik untuk meminimalkan risiko; namun ini tidak selalu praktis. Seringkali, air harus bersumber dari sungai, stream, atau sumber lain yang belum diuji dapat memungkinkan sebagai asal patogen yang berpotensi bersentuhan dengan buah-buahan dan sayuran. Produsen dapat meminimalkan risiko kontaminasi dengan mengidentifikasi sumber air, menentukan penggunaannya, dan menerapkan tindakan yang membatasi kontaminasi. Itu pasokan air harus berkualitas memadai sehubungan dengan tujuan penggunaannya. Sebagai contoh, air irigasi dapat digunakan pencucian awal hal ini diperkenankan walaupun memiliki kualitas lebih rendah dari pada air yang digunakan untuk pencucian akhir.

a. *Penggunaan Air Pra-Panen*

Air irigasi dari sumber yang belum diuji sebaiknya hanya digunakan dalam kombinasi dengan sistem irigasi tetes. Air yang belum diuji digunakan untuk irigasi, pestisida atau pupuk aplikasi tidak boleh disemprotkan ke daun atau hasil lainnya. Sebaiknya semprotan air yang bersumber dari air kota atau sumber air olahan. Operasi memanfaatkan sumber air dari air permukaan seperti danau, sungai, kolam, sumur yang tidak diolah, harus menerapkan protokol pengujian kualitas yang ketat. Air harus sering diuji sepanjang musim tetapi bahkan rutin pengujian mungkin gagal mengidentifikasi kontaminasi jika patogen tidak ada pada contoh akibat kesalahan pengambilan sampel.

b. *Pemakaian Air Pada Pasca Panen*

Pemahaman tentang artinya pemakaian air setelah panen tiba di pabrik pengolah atau sebelum di pasarkan:

- Pendinginan, pencucian dan pembilasan pada proses pasca panen berperan penting dalam membantu produsen untuk menyediakan produk yang berkualitas. Seharusnya air pascapanen dikelola dengan cara yang efektif untuk mencegah kontaminasi. Kemungkinan air yang dikelola dengan tidak benar digunakan selama pemrosesan pasca panen merupakan sumber kontaminasi.
- Air yang digunakan selama langkah-langkah proses pembersihan harus bersumber dari pasokan air minum atau sumber lain yang memadai dan telah diolah. Selain itu, es digunakan untuk mendinginkan, menyimpan atau mengangkut produk harus bersumber hanya dari air minum. Menggunakan desinfektan dalam pendinginan dan air pembilas

membantu meminimalkan risiko kontaminasi dan mungkin efektif dalam menghilangkan kontaminasi yang terjadi selama produksi atau panen.



Gambar 2.1. Pembersihan biji-bijian dengan air

c. *Pengendalian kualitas air*

Air yang akan digunakan dalam proses pembersihan adalah air bersih yang sesuai dengan persyaratan kebutuhan industri pangan, tidak mengandung bahan kimia yang mempengaruhi mutu produksi, artinya pengguna dapat menerima. Oleh sebab itu produsen harus melakukan beberapa hal antara lain:

- Produsen harus terlebih dahulu mengidentifikasi sumber air dan menilai potensi timbulnya kontaminasi sebelum menentukan penggunaannya.
- Secara rutin memonitor level sedimen yang terdapat dalam tangki (reservoir)
- Hindarkan penggunaan air keruh, yaitu dengan mempersiapkan jumlah persediaan air pencuci untuk menjamin kualitas air.
- Menjaga sumur, memastikannya saat pembangunan memiliki sumber air cukup, tertutup dan diuji secara teratur.
- Lindungi semua sumber air dari akses hewan ternak dan satwa liar.
- Menerapkan praktik konservasi tanah dan air seperti rumput, saluran air, kontrol luapan, dan zona penyangga. Konsultasikan dengan pakar kualitas air dan personel layanan ekstensi untuk menentukan pengelolaan air dalam praktik yang sesuai dengan area dan operasi spesifik.
- Memonitor dan simpan catatan air yang akurat kualitas dan pengujian / perawatan pengelolaan air.
- Melakukan penggantian air sering dalam bak, wastafel, atau wadah lain yang digunakan untuk produk mencuci.
- Jika pembersih ditambahkan ke air cuci, pantau kekuatan pembersih harian.

4.2.2 Mekanika

Kotoran dan pasir yang melekat pada hasil pertanian dapat dipisahkan dengan cara melewatkannya pada ayakan bergetar sehingga pasir dan tanah yang melekat jatuh melalui ayakan. Kotoran yang terpisah dikumpulkan untuk digunakan sebagai landfill. Cara ini banyak dikembangkan pada hasil panen bersifat gelondong.

5. Sanitasi

Sanitasi adalah proses merawat permukaan kontak makanan dengan larutan sanitasi yang akan membunuh sebagian besar mikroorganisme atau mengurangi hingga ke tingkat tidak berbahaya. Untuk pembersihan yang efektif, permukaan harus pertama dibersihkan, karena tanah dan sabun residu dapat membuat solusi sanitasi kurang efektif.

Sanitizer adalah senyawa kimia dirancang untuk membunuh mikroorganisme. Klorin pemutih (konsentrasi natrium hipoklorit 5,25 hingga 6,5% dalam bentuk cair) dan senyawa amonium kuaterner (quats) adalah pembersih yang umum digunakan untuk permukaan kontak makanan. Klorin dan hidrogen peroksida, pada konsentrasi yang tepat dapat digunakan untuk produk makanan. Namun, konsentrasi yang berlebihan dapat terjadi merusak jaringan produk dan / atau menyebabkan tingkat racun. Produsen harus memeriksa dengan regulator di bidangnya mengenai agen yang disetujui. Disarankan hanya formula yang terdaftar yang dapat digunakan. Solusi sanitasi adalah campuran dari jumlah tertentu pembersih dengan air minum, sesuai petunjuk diberikan oleh pabrikan untuk membuat konsentrasi yang tepat. Solusi sanitasi secara bertahap hilang efektivitas dari waktu ke waktu. Sebagai solusinya terus terpapar ke udara atau bereaksi dengan bahan organik, menyebabkan beberapa bahan kimia untuk menghilang. Cara terbaik untuk memeriksa apakah ada solusi sanitasi efektif adalah dengan menggunakan strip tes. Sanitasi solusi harus dibuat dan diperiksa paling tidak setiap hari, yang harus direkam.

Alat uji klorin tips membersihkan:

- Memiliki alat, persediaan, dan limbah wadah tersedia dan mudah penggunaannya.
- Pastikan wadah limbah adalah secara teratur dikosongkan dan dibersihkan.
- Memiliki tempat untuk menyimpan semua peralatan pada akhir hari.
- Dorong karyawan untuk berbagi terkait dengan pembersihan dan sanitasi.
- Cari masalah yang berpotensi saat berjalan melalui operasi.
- Evaluasi semua pelaksanaan pembersihan dan pemrosesan peralatan serta peralatan sehari-hari.
- Melakukan inspeksi visual untuk memastikan permukaan dalam kondisi baik dan dibersihkan dan disanitasi secara teratur.
- Membangun pembersihan dan sanitasi jadwal untuk peralatan dan makanan permukaan kontak. Cara menggunakan strip tes
- Pastikan strip uji benar sesuai untuk jenis pembersih.
- Persiapkan solusi sanitasi.
- Celupkan strip ke dalam larutan.
- Bandingkan warna strip berubah untuk dengan panduan di luar paket untuk menentukan kekuatan solusi.
- Merekam pembersih konsentrasi.

5.1 Sanitasi termal

Seperti halnya perlakuan panas, efektivitas sanitasi termal tergantung pada sejumlah faktor termasuk: beban kontaminasi awal, kelembaban, pH, suhu, dan waktu.

a. Uap

Penggunaan uap sebagai proses sanitasi telah diaplikasikan secara terbatas, pada umumnya mahal dibandingkan dengan alternatif lain dan sulit memonitor suhu dan waktu kontak. Lebih lanjut, produk sampingan operasi dalam bentuk kondensasi uap menimbulkan pembersihan yang rumit.

b. Air panas

Sanitasi air panas - melalui perendaman (kecil bagian, pisau, dll.), semprot (mesin pencuci piring), atau sistem sirkulasi - umumnya digunakan. Waktu yang diperlukan sesuai dengan suhu air. Persyaratan peraturan umum (Kode Makanan 1995) untuk penggunaan air panas dalam pencuci piring dan perkakas aplikasi sanitasi menentukan: setidaknya untuk perendaman 30 detik pada 77 °C (170 °F) untuk operasi manual; Suhu pembilasan akhir 74 °C (165 °F) dalam satu tangki, mesin suhu tunggal dan 82 °C (180 °F) untuk mesin lain.

Banyak peraturan negara membutuhkan permukaan perkakas suhu 71 °C (160 °F) yang diukur dengan ireversibel mendaftarkan indikator suhu mesin. Rekomendasi dan persyaratan untuk sanitasi air panas dalam makanan pemrosesan dapat bervariasi.

Susu Pasteurisasi Grade A, Ordonansi menentukan minimum 77 °C (170 °F) selama 5 menit. Rekomendasi lain untuk diproses operasi adalah: 85 °C (185 °F) selama 15 menit, atau 80 °C (176 °F) selama 20 menit. Keuntungan utama dari sanitasi air panas adalah: relatif murah, mudah diterapkan dan tersedia, umumnya efektif pada rentang luas mikroorganisme, relatif tidak korosif, dan menembus celah-celah. Sanitasi dengan air panas merupakan proses yang lambat yang membutuhkan perbaikan dan waktu pendinginan; dapat memiliki biaya energi yang tinggi; dan memiliki masalah keamanan tertentu untuk karyawan. Proses tersebut juga memiliki kelemahan dalam pembentukan atau berkontribusi pada formasi film, dan memperpendek masa pakai peralatan tertentu atau bagiannya (gasket, dll.)

Mencuci bahan akan membantu melonggarkan tanah dan bahan organik lainnya dari permukaan. Deterjen dan penggosok juga membantu memecah adhesi mikroorganisme dengan permukaan. Membilas akan menghilangkan tanah yang longgar dan deterjen dari permukaan. Langkah ini penting karena bahan organik dan deterjen dapat mengikat pembersih membuatnya kurang efektif.

Menerapkan pembersih untuk membersihkan permukaan sebenarnya menyediakan langkah "bunuh" untuk mengurangi jumlah mikroorganisme. Permukaan tidak sepenuhnya bebas dari mikroorganisme, tetapi jumlahnya sangat berkurang, dan jika dilakukan dengan benar, akan menghasilkan yang lebih aman produk tanpa kerusakan kualitas.

5.2 Sanitasi Kimia

Produsen harus memilih pembersih berbasis pada: keselamatan bagi pekerja dan lingkungan, stabilitas, air kualitas dan pH, dan bersifat tidak korosif. Beberapa jenis pembersih tersedia untuk produk dan atau permukaan kontak makanan antara: klorin (50 - 200 ppm), amonium kuaterner atau quat (lihat label untuk konsentrasi yang disarankan), hidrogen peroksida, dan baru mencuci sayuran dengan sanitizer food grade. Bahan baru food grade pencuci sayuran, seperti PRO-SAN®LC, membersihkan produk segar dan kontak produk permukaan dan biodegradable. Klorin dan hidrogen peroksida umumnya tersedia digunakan untuk produk dan hemat biaya. Untuk daftar lengkap pembersih yang disetujui untuk produk dan permukaan kontak makanan melalui pemeriksaan oleh badan pengatur atas nama negara bagian dan federal. Sanitizers mungkin memiliki banyak kegunaan. Contohnya, klorin bisa digunakan pada hasil pertanian segar atau pada permukaan kontak makanan, tergantung konsentrasi. Suhu air harus digunakan meminimalkan hilangnya klorin dalam larutan. Proporsi pembersih untuk air harus akurat untuk memastikan solusinya menjadi efektif dan menghindari kerusakan pada produk dan konsumen. Resep umum untuk larutan sanitasi berbasis klorin adalah 1 sendok makan pemutih rumah tangga (tidak beraroma) per 1 galon air suhu kamar. Ini akan menghasilkan solusi 100 ppm. Sebuah kisaran 50 - 100 ppm direkomendasikan untuk permukaan kontak makanan. Solusi ini diaplikasikan sebagai semprotan halus pada langkah terakhir proses pembersihan dan seharusnya tidak dihapus atau dibilas. Permukaan seharusnya dibiarkan kering udara.

Direkomendasikan 100 - 200 ppm larutan klorin untuk produk. Campurkan hingga 2 sendok makan per galon air (larutan 200 ppm) dapat digunakan karena bahan organik, seperti tanah, akan segera memecah efektivitas klorin. Menghilangkan tanah sebanyak mungkin dari produk sebelum dicuci, dan sering mengganti air cuci yang diklorinasi. Terakhir dengan bilas dengan air minum. Pemutih klorin dapat dibeli dengan konsentrasi bahan aktif yang bervariasi seperti, natrium hipoklorit dengan konsentrasi adalah 6% (periksa label karena konsentrasi pemutih yang super diperkenalkan di pasar). Diingat bahwa kualitas air (seperti pH dan jumlah mineral) secara signifikan dapat mempengaruhi efektivitas kedua deterjen dan pembersih. Klorin paling efektif dalam membunuh mikroorganisme pada pH antara 6.0 dan 7.5. Periksa pH dan konsentrasi dengan strip uji secara teratur dan catat pada formulir pemantauan. Hidrogen peroksida adalah bahan yang umum digunakan sebagai pembersih produk pangan. Produsen dapat menyiapkan solusi dengan menggunakan 1% hingga 5% hidrogen peroksida; umumnya solusi 3% digunakan. Pengawasan

pemakaian bahan kimia harus dilakukan selama proses untuk melindungi pekerja dari bahaya. Penelitian telah menunjukkan dengan menambahkan 1/2 gelas asam seperti asetat, sitrat, atau asam laktat hingga 1 galon larutan hidrogen peroksida secara signifikan dapat meningkatkan efektivitas larutan.

5.3 Bahan Kimia Deterjen - Surfaktan

Bahan kimia deterjen atau surfaktan sebagai pencuci sangat populer penggunaannya pada pembersihan hasil pertanian yang bersifat food grade.

- Surfaktan ionik yang negatif larutan dalam air disebut anioniksurfaktan. Sebaliknya, ionik bermuatan positif surfaktan disebut surfaktan kationik. Bagian yang larut dalam air tergantung pada pH larutan disebut suatu surfaktan amfoter. Surfaktan ini berperilaku sebagai surfaktan kationik dalam kondisi asam, dan sebagai surfaktan anionik di bawah basa kondisi. Surfaktan ionik umumnya ditandai dengan kemampuan berbusa yang tinggi.
- Surfaktan nonionik, senyawa yang tidak berdisosiasi ketika dilarutkan dalam air, memiliki jangkauan terluas properti tergantung pada rasio keseimbangan hidrofilik / hidrofobik.

Deterjen dan senyawa pembersih biasanya terdiri dari campuran bahan yang berinteraksi dengan tanah dalam beberapa cara:

- Bahan aktif fisik mengubah fisik karakteristik seperti kelarutan atau koloidstabilitas.
- Bahan aktif secara kimia mengubah tanah yang melekat lebih mudah larut dan, dengan demikian, lebih mudah untuk dihapus.

Dalam beberapa deterjen, enzim spesifik ditambahkan bereaksi secara katalitik dengan, dan menurunkan, makanan tertentu komponen tanah.

Bahan Aktif Fisik

Bahan aktif fisik utama adalah senyawa aktif permukaan disebut surfaktan. Molekul organik umumnya memiliki struktur karakteristik sebagian hidrofilik (suka air) dan sebagian adalah hidrofobik (tidak suka air). Deterjen molekul berfungsi mempromosikan tindakan pembersihan fisik melalui: emulsifikasi, penetrasi, menyebar, berbusa, dan basah. Zat kimia ini biasanya merupakan zat pengasing (pemisah) atau agen chelating. Formula agen pengikat kompleks larut kalsium dan magnesium. Seperti natrium tripolifosfat, tetra-kalium pirofosfat, organo-fosfat, dan polyelectrolytes. Agen chelating termasuk natrium glukonat dan etilen diamina tetrasetik asam (EDTA).

Agen Pengoksidasi

Zat pengoksidasi digunakan dalam aplikasi deterjen adalah hipoklorit (juga pembersih) dan untuk yang lebih rendah tingkat *perborate*. Kebanyakan diklorinasi deterjen sering digunakan untuk membersihkan residu protein.

Bahan Enzim

Deterjen berbasis enzim, yang disepakati seperti enzim amilase dan enzim pendegradasi karbohidrat, protease, dan lipase, umumnya ditemukan dalam aplikasi khusus industri makanan. Keuntungan utama deterjen enzim adalah bahwa mereka lebih ramah lingkungan dan sering membutuhkan input energi lebih sedikit (lebih sedikit air panas di pembersihan). Penggunaan sebagian besar pembersih enzim biasanya terbatas pada permukaan yang tidak dipanaskan (mis, susu dingin permukaan). Namun, pembersih enzim generasi baru (saat ini sedang dalam evaluasi) diharapkan memiliki aplikasi yang lebih luas.

Pengisi

Pengisi menambah massa yang encer berpengaruh dan berbahaya pada formulasi deterjen yang sulit untuk ditangani. Alkali yang kuat sering diencerkan dengan pengisi untuk memudahkan dan keamanan penanganan. Air digunakan dalam cairan formulasi sebagai pengisi. Natrium klorida atau natrium sulfat sering diisi dengan deterjen bubuk formasi. Bahan yang ditambahkan ke deterjen termasuk: inhibitor korosi, eter glikol, dan *butylcellosolve* (meningkatkan minyak, minyak, dan karbon pemindahan).

Jenis Pembersih Kimia Khusus

Bahan kimia yang dijelaskan diatas yang telah disetujui oleh FDA untuk digunakan sebagai pembersih permukaan tanpa kontak makanan. Dalam operasi penanganan makanan, ini digunakan sebagai bilasan, disemprotkan ke permukaan, atau diedarkan peralatan dalam operasi CIP. Dalam aplikasi tertentu bahan-bahan kimia tersebut berbusa di permukaan atau dikaburkan udara untuk mengurangi kontaminasi udara.

Saniters Dasar Klorin

Senyawa Klorin.

Senyawa klorin dalam berbagai bentuk, merupakan pembersih yang paling umum digunakan dalam memproses makanan dan menangani aplikasi. Umumnya senyawa klor yang digunakan meliputi: klorin cair, hipoklorit, kloram anorganik, dan organik kloramin. Bentuk pembersih berbasis klorin asam hipoklorit (HOCl, bentuk paling aktif) dalam larutan. Tersedia klorin (jumlah HOCl hadir) adalah fungsi dari pH. Pada pH 5, hampir semua mengandung bentuk HOCl. Pada pH 7,0, sekitar 75% adalah HOCl. Level maksimum yang diperbolehkan untuk tanpa aplikasi bilas adalah klorin 200ppm tersedia, tetapi tingkat penggunaan yang disarankan bervariasi. Untuk hipoklorit, waktu paparan minimal 1 menit konsentrasi 50 ppm dan suhu 24 ° C (75 ° F) direkomendasikan. Untuk setiap 10 ° C (18 ° F) penurunan suhu, dua kali lipat waktu bukaan adalah direkomendasikan. Untuk kloramin, 200 ppm untuk 1 menit adalah direkomendasikan. Senyawa klorin adalah spektrum luas kuman yang bekerja pada membran mikroba, yang menghambat enzim seluler yang terlibat dalam metabolisme glukosa, memiliki efek mematikan pada DNA, dan protein seluler teroksidasi. Klorin memiliki aktivitas pada suhu rendah, relatif murah, dan minimal residu atau film pada permukaan daun. Aktivitas klorin dipengaruhi secara dramatis oleh faktor-faktor seperti pH, suhu, dan beban organik.

Namun, klorin kurang terpengaruh oleh kesadahan air bila dibandingkan dengan pembersih lainnya (terutama yang senyawa amonium kuaterner). Kerugian utama dari senyawa klorin adalah korosif terhadap banyak permukaan logam (terutama disuhu yang lebih tinggi). Masalah kesehatan dan keselamatan bisa terjadi karena iritasi kulit dan kerusakan selaput lendir di area terbatas. Pada pH rendah (di bawah 4.0), Cl₂ (gas mustard) yang mematikan dapat terbentuk. Dalam beberapa tahun terakhir, keprihatinan juga telah diajukan tentang penggunaan klorin sebagai disinfektan air minum dan sebagai antimikroba dengan kontak makanan langsung (daging, unggas dan kerang). Kekhawatiran ini didasarkan pada keterlibatan klorin dalam pembentukan trihalomethanes berpotensi karsinogenik (THM) dalam kondisi yang sesuai. Sedangkan kaporit manfaat sebagai pembersih jauh lebih besar daripada risiko ini, itu di bawah pengawasan.

Klorin dioksida.

Klorin dioksida (ClO₂) saat ini sedang dipertimbangkan sebagai pengganti klorin, karena tampaknya lebih ramah lingkungan. Stabilized ClO₂ memiliki persetujuan FDA untuk sebagian besar aplikasi dalam peralatan sanitasi atau untuk digunakan sebagai busa untuk kontak lingkungan dan non-makanan permukaan. Persetujuan juga telah diberikan untuk digunakan dalam perairan di operasi buah dan sayuran dan di perairan proses unggas. ClO₂ memiliki 2,5 kali lipat kekuatan pengoksidasi klorin dan, dengan demikian, lebih sedikit bahan kimia dibutuhkan. Konsentrasi penggunaan tipikal berkisar dari 1 hingga 10 ppm. Kerugian utama ClO₂ adalah

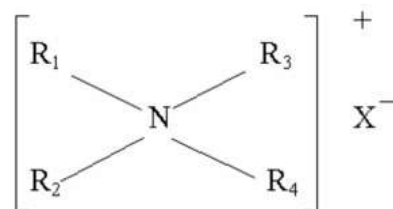
toksisitas bagi pekerja keamanan. Gas-gasnya yang sangat terkonsentrasi dapat menjadi eksplosif dan paparan risiko pada pekerja lebih tinggi itu untuk klorin. Dekomposisi yang cepat di kehadiran cahaya, atau pada suhu lebih besar dari 50°C (122°F) membuat pembangkitan di tempat a latihan yang direkomendasikan.

Yodium

Penggunaan yodium sebagai obat antimikroba berasal kembali ke tahun 1800-an. Pembersih ini ada dalam berbagai bentuk dan biasanya dengan surfaktan sebagai pembawa. Ini campuran disebut iodofor. Agen paling aktif adalah yodium yang bebas terdisosiasi (juga kurang stabil). Ini bentuk paling lazim pada pH rendah. Jumlah pemisahan dari surfaktan tergantung pada jenis surfaktan. Kelarutan yodium sangat terbatas pada air. Penggunaan yang umum direkomendasikan untuk iodofor adalah 12,5 hingga 25 ppm selama 1 menit. Secara umum bahan ini dianggap termasuk bakterisida. Aktivitas yodium adalah melalui halogenasi protein langsung. Teori yang lebih baru telah berpusat pada sel kerusakan dinding dan penghancuran enzim mikroba aktivitas. Iodofor, seperti senyawa klorin, dengan sangat spektrum luas: aktif melawan bakteri, virus, ragi, jamur, jamur, dan protozoa. Kemampuan yodium sangat tinggi tergantung suhu dan menguap pada 120 °F. Dengan demikian, terbatas pada aplikasi suhu yang lebih rendah. Sejauh mana iodofor dipengaruhi oleh faktor lingkungan tergantung pada sifat surfaktan yang digunakan dalam formulasi. Iodofor umumnya kurang terpengaruh oleh organik materi dan kekerasan air dari klorin. Namun, kehilangan aktivitas diucapkan pada pH tinggi.

Senyawa Amonium Kuarter(QAC).

Senyawa amonium kuarter (QAC) adalah kelas senyawa yang memiliki umum struktur sebagai berikut. Sifat-sifat senyawa ini bergantung pada gugus alkil yang terikat secara kovalen (gugus R), yang bisa sangat beragam Gambar 2.2. Karena QAC positif kation yang dibebankan, mode aksi mereka terkait dengan daya tarik untuk bahan bermuatan negatif tersebut sebagai protein bakteri. Secara umum diterima bahwa mode aksi ada di fungsi membran. Panjang rantai karbon samping R-grup pada umumnya terkait langsung dengan kegiatan sanitasi di QAC. Namun, karena kelarutannya lebih rendah pada QAC terdiri dari rantai karbon besar, pembersih ini mungkin memiliki aktivitas lebih rendah daripada struktur rantai pendek.



Gambar 2.2. Senyawa Ammonium Quarter (QAC)

QAC pada umumnya memiliki aktivitas lebih tinggi pada pH basa. Sementara kekurangan toleransi terhadap air dinyatakan sebagai mayor. Kerugian QAC bila dibandingkan dengan klorin, beberapa QAC cukup toleran terhadap air sadah. Aktivitas dapat ditingkatkan dengan menggunakan EDTA sebagai chelator. QACs efektif melawan bakteri, ragi, jamur, dan virus. Keuntungan dari QAC di beberapa aplikasi adalah bahwa mereka meninggalkan film antimikroba residual. Di bawah penggunaan yang disarankan dan tindakan pencegahan, QAC menimbulkan sedikit risiko toksisitas atau keamanan. Jadi, ini digunakan secara umum sebagai kabut lingkungan dan pewangi ruangan.

Pembersih Asam-Anionik.

Pembersih asam-anionik adalah pembersih permukaan yang aktif. Formulasi ini termasuk asam anorganik ditambah surfaktan, dan sering digunakan untuk fungsi ganda pembilas asam dan sanitasi. Sedangkan QAC bermuatan positif, sanitizers ini bermuatan negatif. Aktivitas bahan tersebut cukup dipengaruhi oleh kesadahan air. Penggunaan pH rendah, detergensi, stabilitas, potensi bau rendah, dan tidak korosif membuat bahan ini sangat diinginkan beberapa aplikasi. Kerugian meliputi: biaya yang relatif tinggi, kisaran aktivitas pH yang didefinisikan dengan cermat (pH 2 hingga 3), aktivitas rendah pada ragi, berbisa berlebihan di Sistem CIP (clean in place = pembersihan di tempat), dan ketidakcocokan dengan kationik deterjen surfaktan.

Sanitizers Asam Lemak

Pembasmi asam lemak atau asam karboksilat dikembangkan pada 1980-an. Formulasi khas meliputi asam lemak ditambah asam lain (asam fosfat, organik asam). Agen ini juga memiliki fungsi ganda pembilasan asam dan sanitasi. Keuntungan utama berakhir asam anionik berpotensi berbisa lebih rendah. Ini pembersih memiliki berbagai kegiatan, sangat stabil dalam bentuk encer, stabil terhadap bahan organik, dan stabil untuk aplikasi suhu tinggi. Pembersih ini memiliki aktivitas rendah di atas pH 3,5 - 4,0, tidak terlalu efektif terhadap ragi dan jamur, dan beberapa formulasi kehilangan aktivitas pada suhu di bawah 10 ° C (50 ° F). Bahan ini juga bisa korosif terhadap logam lunak dan dapat mendegradasi plastik tertentu, atau karet.

Peroksida

Setidaknya peroksida atau senyawa peroksi mengandung sepasang atom oksigen terikat kovalen (-O-O-) dan dibagi menjadi dua kelompok: kelompok anorganik, mengandung hidrogen peroksida (HP) dan senyawa terkait; dan kelompok organik, mengandung asam peroksiasetat (PAA) dan terkait senyawa.

Hidrogen peroksida (HP)

Sementara banyak digunakan di bidang medis, hanya menemukan aplikasi terbatas dalam industri makanan. Persetujuan FDA telah diberikan untuk HP gunakan untuk mensterilkan peralatan dan paket di operasi aseptik. Mode tindakan utama untuk HP adalah melalui menciptakan lingkungan dan generasi oksidasi tunggal atau oksigen superoksida (SO). HP cukup luas spektrum dengan aktivitas yang sedikit lebih tinggi terhadap gram negatif dari pada organisme gram positif. Konsentrasi HP yang tinggi (5% ke atas) dapat menjadi gangguan pada mata dan iritasi kulit. Dengan demikian, konsentrasi tinggi harus ditangani dengan hati-hati.

Asam Peroksiasetat (PAA)

Telah dikenal sifat kuman untuk waktu yang lama, namun demikian baru-baru ini menemukan aplikasi industri makanan tahun dan sedang dipromosikan sebagai klorin potensial penggantian. PAA relatif stabil saat digunakan pada dosis 100 - 200ppm. Properti yang diinginkan lainnya termasuk: tidak adanya busa dan fosfat, korosif rendah, toleransi terhadap air yang keras, dan menguntungkan biodegradabilitas. Solusi PAA telah ditunjukkan berguna dalam menghilangkan biofilm. Sementara mekanisme aksi yang tepat belum ditentukan, umumnya berteori bahwa Reaksi PAA dengan mikroorganisme mirip dengan HP. Namun, PAA sangat aktif terhadap keduanya mikroorganisme gram positif dan gram negatif. Aktivitas kuman PAA secara dramatis dipengaruhi oleh pH. Setiap kenaikan pH di atas 7-8 secara drastis mengurangi aktivitas. PAA memiliki bau yang menyengat dan kepekatan produk (40%) adalah sangat toksik, iritasi kuat, dan pengoksidasi kuat. Dengan demikian, perawatan harus digunakan dalam penggunaannya.

Pemanfaatan Kotoran

Membersihkan berarti menghilangkan bahan kontaminan dan residu. Untuk produk (buah-buahan dan sayuran) langkah-langkah pembersihan bervariasi sesuai caranya produk kotor, dan kelembutan dan sifat makanan yang mudah rusak. Misalnya, sayuran akar sering kali dibutuhkan pembilasan awal, scrubbing, diikuti oleh satu atau dua bilasan tambahan untuk menghilangkan tanah residu, sementara hanya membilasnya bisa aman digunakan pada sayuran hijau berdaun.

Buah-buahan dan sayuran yang tumbuh jauh di atas tanah bisa disikat atau diseka saat tanah dan residu lainnya minimal. Lain halnya dengan produk yang sangat mudah rusak seperti itu seperti stroberi atau raspberry seharusnya tidak dicuci dengan air sampai sesaat sebelum gunakan, seperti semua buah dan sayuran. Ketika air digunakan untuk membersihkan, seharusnya dapat diminum (aman untuk diminum). Penelitian baru menunjukkan bahwa untuk sayuran tertentu, seperti sebagai tomat, bakteri dapat ditarik ke dalamnya bukaan jika suhu air cuci lebih dingin dari item produk. Membersihkan permukaan kontak makanan berarti menghilangkan tanah dan residu. Ini melibatkan proses tiga langkah membilas puing-puing permukaan, mencuci dan menggosok dengan sabun atau deterjen, diikuti dengan pembilasan dengan air minum yang bersih. Membilas permukaan secara menyeluruh adalah penting agar residu deterjen dihilangkan. Dalam kondisi tertentu, mikroorganisme (bakteri, ragi, dan jamur) dapat terbentuk film tak terlihat (biofilm) pada permukaan.

Bila digunakan dengan benar, kotoran yang dirawat adalah pupuk yang efektif dan aman untuk tanaman produksi. Diperlakukan dengan tidak benar atau kotoran yang digunakan secara tidak benar dapat menjadi sumber kontaminasi untuk tanah, air tanah dan menghasilkan. Kontaminasi oleh kotoran adalah paling bermasalah untuk tanaman yang ditanam di atau dekat tanah, meskipun kotoran memiliki potensi untuk mencemari tanaman apa pun melalui irigasi, berat hujan, atau hewan liar dan domestik memasuki area yang tumbuh. Selanjutnya patogen dapat ditransfer ke produksi oleh peralatan dan alat yang digunakan untuk kompos dan pengelolaan pupuk kandang. Risiko kontaminasi dari kotoran ternak bisa jadi sangat diminimalkan dengan menerapkan praktik manajemen yang membatasi kemungkinan kotoran bersentuhan dengan produk segar dan memaksimalkan waktu antara aplikasi dan panen.

- Temukan pupuk kandang dan penyimpanan kompos daerah yang jauh dari daerah tumbuh mungkin.
- Jangan pernah menggunakan pupuk mentah sebagai sumber pupuk. Pastikan pupuk kandang sudah benar kompos.
- Biarkan minimal 120 hari antara aplikasi pupuk kandang dan panen.
- Masukkan pupuk kandang ke tanah.
- Peralatan yang digunakan benar-benar bersih untuk mengembalikan atau memindahkan kompos dan pupuk.
- Pertimbangkan alat penunjuk khusus untuk kompos dan pupuk kandang menggunakan.
- Sanitasi alat dan peralatan yang digunakan untuk manajemen kompos dan produksi. Menerapkan GAP selama produksi sangat meminimalkan risiko kontaminasi terjadi di lapangan, namun, kontaminasi masih dapat terjadi selama mencuci, menyimpan, mengangkut, dan menjual.

6. Pertimbangan Regulasi Masalah

Regulasi terkait dengan bahan kimia pembersih adalah: aktivitas atau kemanjuran antimikroba, keamanan residu pada permukaan kontak makanan, dan keamanan lingkungan. Penting untuk diikuti peraturan yang berlaku untuk setiap penggunaan bahan kimia situasi. Pendaftaran pembersih kimia dan agen antimikroba untuk digunakan pada makanan dan produk makanan permukaan kontak, dan pada permukaan kontak nonproduk, melalui Badan Perlindungan Lingkungan A.S.(EPA). (Sebelum persetujuan dan pendaftaran, Kemanjuran dan keamanan data EPA, dan produk informasi pelabelan. Administrasi Makanan dan Obat-obatan AS (FDA) terutama terlibat dalam mengevaluasi bentuk residu penggunaan pembersih yang bisa masuk ke persediaan makanan. Jadi, agen antimikroba dan tingkat penggunaan maksimumnya untuk penggunaan langsung pada makanan atau kontak produk makanan permukaan harus disetujui oleh FDA.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas Sanitizer

1) Faktor Fisik Karakteristik permukaan.

Sebelum proses sanitasi, semua permukaan harus bersih dan dicuci bersih untuk menghilangkan residu deterjen. Permukaan yang tidak bersih tidak dapat disanitasi. Sejak efektivitas sanitasi memerlukan kontak langsung dengan mikroorganisme, permukaan harus bebas dari celah, lubang, atau celah yang dapat menampung mikroorganisme. Permukaan yang mengandung biofilm tidak dapat disanitasi secara efektif.

2) Waktu Paparan.

Umumnya, semakin lama waktu a sanitizer chemical bersentuhan dengan peralatan permukaan, semakin efektif efek sanitasi; kontak intim sama pentingnya dengan berkepanjangan kontak.

3) Suhu. Suhu positif terkait dengan pembunuhan mikroba oleh pembersih kimia. Hindari suhu tinggi (di atas 55 °C [131 °F]) karena sifat korosif dari sebagian besar bahan kimia pembersih.

4) Konsentrasi

Secara umum, aktivitas pembersih meningkat dengan peningkatan konsentrasi. Namun, leveling off terjadi pada level tinggi.konsentrasi. Kesalahpahaman umum tentang bahan kimia adalah bahwa "jika sedikit baik, lebih banyak lebih baik". Menggunakan konsentrasi pembersih di atas rekomendasi bisa korosif terhadap peralatan dan dalam jangka. Ikuti instruksi label. pabrikan

5) Tanah. Kehadiran bahan organik secara dramatis mengurangi aktivitas sanitasi dan mungkin, pada kenyataannya, benar-benar menonaktifkannya. Pepatahnya adalah "Anda tidak dapat membersihkan permukaan yang tidak bersih".

6) Inaktivator

Organik dan/atau anorganik inaktivator dapat bereaksi secara kimia dengan pembersih menimbulkan produk non-kuman. Beberapa di antaranya inaktivator hadir dalam residu deterjen. Jadi begitulah pentingnya agar permukaan dibilas sebelum sanitasi.

7) Faktor Biologis

Beban mikrobiologis dapat mempengaruhi aktivitas pembersih. Juga, jenis mikroorganisme yang ada adalah penting. Spora lebih tahan daripada vegetatif sel. Sanitasi tertentu lebih aktif melawan gram positif dari mikroorganisme gram negatif, dan sebaliknya. Sanitizer juga bervariasi dalam keefektifannya terhadap ragi, jamur, jamur, dan virus.

8) Bahan Kimia Pembersih

Kimia yang ideal harus:

- disetujui untuk permukaan kontak makanan aplikasi
- menghancurkan mikroorganisme dengan cepat.
- toleran terhadap berbagai lingkungan kondisi.
- mudah dilarutkan dan memiliki beberapa deterjen.
- rendah toksisitas dan korosif.
- murah.

Tidak ada pembersih yang memenuhi semua hal di atas kriteria. Karena itu, penting untuk mengevaluasi properti, keuntungan, dan kerugian dari pembersih tersedia untuk setiap aplikasi spesifik

DAFTAR PUSTAKA

- Arlene Robertson et al(2017).Vegetableand Fruit Washwater Treatment Manual. Queen’s Printer for Ontario,Toronto.Publication 854 p:1-134.
- Bhrun Christine, Amy Li-Cohen, Linda J. Harris and Anne Spitler Kashuba() Save Handling of Fruits and Vegetables. University of California. Publication 8121. p:1-3.
- Kenghe R. N., A.P.Magar and K.R. Kenghe.(2015) Design, Development and Testing of Small Scale Mechanical Fruit Washer. International Journal of Trend in Research and Development,India. Volume 2(4), p.1-4
- Mahovic M., J. Brecht, S. Sargent, M. Ritenour, K. Schneider, A. Simonne, and J. Bartz () Fresh Produce Handling, Sanitation, and Safety Measures: Beans, Cucumbers, Eggplants, Squash, Peppers, Sweetcorn., Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Publication: October 2002 p: 1-7.
- Scharfy Deborah, Norman Boccali and Matthias Stucki (2017) Clean Technologies in Agriculture—How to Prioritise Measures?. MDPI Sustainability 2017, 9, 1303,Switzerland p: 1-22,
- Schmidt Ronald H. (1997).Basic Elements of Equipment Cleaning and Sanitizing in Food Processing and Handling Operations. University Of Florida. Food Science and Human Nutrition Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Original publication date July, 1997. IFAS Extention p:1-14.
- Selma Maria V. Trevor Suslow, Liesbeth Jacxsens, Mieke Uyttendaele, and Ana Allende (2015).Pre And Postharvest Preventive Measures And Intervention Strategies To Control Microbial Food Safety Hazards Of Fresh Leafy Vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition California, 55:453–468

BAB III

PEMIPILAN DAN PERONTOKAN

1. Pendahuluan

Hasil pertanian biji-bijian umumnya terdapat dalam bentuk malai, mayang, tandan, dan lainnya, yang memerlukan proses pemipilan atau perontokan untuk mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Umumnya alat atau mesin yang dikembangkan tergantung dari jenis produksi yang akan diolah serta kuantum panen per satuan waktu. Hasil panen yang memerlukan pemipilan atau perontokan seperti padi, jagung, sorgum, tanaman sereal lainnya, tandan kelapa sawit, dan biji-bijian lainnya. Akibat keragaman produk pertanian yang harus dipipil dan dirontokkan, maka produsen memiliki peluang memilih mesin dan instalasi yang sesuai. Hampir setengah populasi dunia memakan beras. Demikian juga, gandum adalah hasil tertinggi tanaman pangan dan menempati urutan pertama di antara sereal. Akibatnya, pemanenan biji-bijian telah menggunakan mesin pertanian yang efisien dalam penggunaan biaya dan tenaga kerja. Pasca panen biji-bijian adalah merupakan gabungan yang mengintegrasikan proses panen seperti pengumpulan, pemotongan, perontokan, pemisahan dan membersihkan, dan lain-lain. Dodds telah melaporkan bahwa ada beberapa faktor penyebab kehilangan biji-bijian, yaitu, alami (butiran jatuh sebelum panen), pemotong dan penggulung, mengambil, mengirik, dan separating. Kehilangan alami disebabkan kondisi cuaca seperti angin dan hujan atau cuaca tak terkendali.

Jenis kerusakan biji-bijian yang khas adalah kerusakan mekanis dan kerusakan kimia. Kerusakan mekanis disebabkan oleh dampaknya kernel biji-bijian dan permukaan kaku unit, kecepatan pengirikan relatif tinggi. Kerusakan kimia berasal dari kompleks jamur ketika gandum dipanen saat musim hujan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa jika tanaman biji dipanen pada saat jatuh tempo fisiologis dan kemudian dikeringkan secara artifisial, kerusakan bahan kimia biji-bijian bisa turun ke level minimum.

Banyak perbaikan mekanis telah dilakukan secara empiris untuk mengurangi kehilangan dan kerusakan biji-bijian, antara lain: memodifikasi desain beater dan beater drum konvensional perontok gandum. Akibatnya, kerusakan butir berkurang empat kali dan efisiensi pembersihan gabah ditingkatkan dari 97,44% menjadi 98,18%. Peningkatan lain dari komponen perontokan dilakukan pada kombinasi buatan Thailand. Rotor pengupasan digunakan untuk mengambil tempat sistem bar cutter. Hasil perbaikan menunjukkan bahwa tingkat kehilangan beras adalah 4% pada kondisi tanaman tegakan dan 5,6% dalam kondisi tanaman bersarang, dan rata-rata persentase beras pecah adalah 1,6%. Selain itu, untuk mengoptimalkan kinerja cekung, yang merupakan pengirikan umum komponen dalam pemanenan biji-bijian, percobaan dilakukan berdasarkan pada jarak bebas cekung yang berbeda dan kecepatan drum. Pada percobaan tersebut ditemukan kerusakan butir menurun ketika jarak cekung meningkat dari 29 mm menjadi 35 mm, sementara itu meningkat ketika kecepatan drum berkisar dari 675 rpm hingga 875 rpm. Meski metode tersebut bersifat empiris, metode ini dapat mengurangi kehilangan atau kerusakan butir sampai batas tertentu, metode ini biasanya diterapkan dalam kondisi tertentu dan tanaman biji-bijian parsial. Setelah itu, empat jenis prinsip perontokan dianalisis. Khususnya, empat model kontak pengirikan didirikan. Berdasarkan pada teori pengirikan, empat teknologi pengirikan diperluas, dan karakteristik peralatan perontokan tipikal dirangkum.

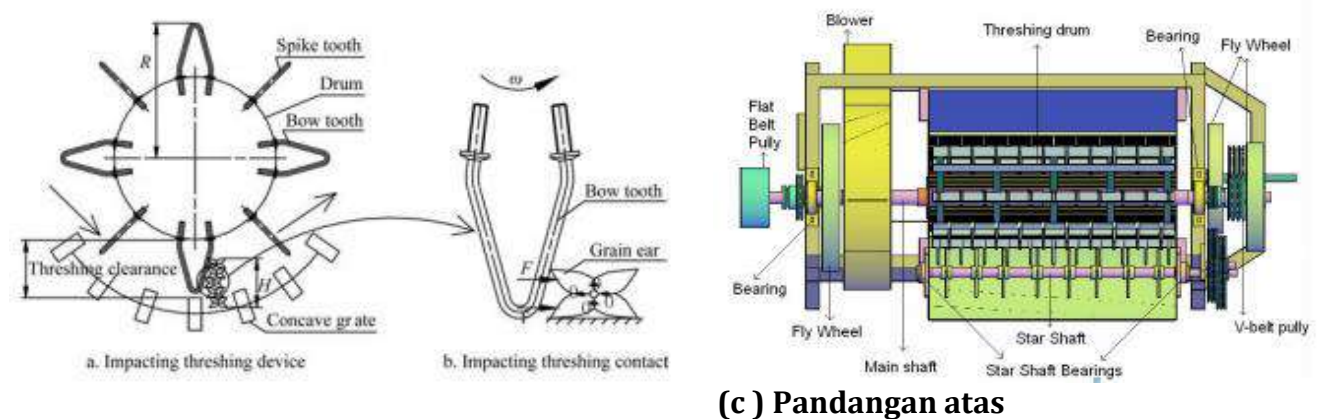
2. Prinsip Pemipilan dan Perontokan

Ada empat jenis prinsip perontokan biji-bijian termasuk benturan, gosokan, pre-cut combing dan grinding. Sejalan dengan itu, empat jenis model kontak antara tanaman biji-bijian dan komponen perontok dihasilkan. Kinerja perontok gandum seperti kehilangan dan kerusakan dipengaruhi secara signifikan oleh pola kontak antara tanaman biji-bijian dan komponen perontok. Model kontak dibangun berdasarkan pada struktur geometris dan gerakan mekanis perangkat pengirikan. Kekuatan dan gerak adalah tidak hanya dua parameter penting dari model kontak, tetapi juga faktor-faktor pengaruh utama dari kinerja pengirikan gandum seperti kehilangan dan kerusakan.

2.1 Dampak Pengirikan

Model kontak pengirikan berdampak ditunjukkan pada Gambar 3.1. Gigi seperti gigi spike dan busur gigi yang dibaut pada drum adalah kuncinya komponen pengirikan perangkat pengirikan dampak. Itu perontokan menyebar dari akar perontokan gigi ke atas parut cekung (Gambar 1a). Energi primer digunakan untuk perontokan berasal dari kontak benturan antara gigi perontokan dan butir biji-bijian (Gambar 3.1b). Saat drum berputar, mengirik gigi menembus ke tika tanaman gandum di perontokan izin. Kernel biji-bijian adalah terlepas dari batang dengan percepatan yang dihasilkan dari dampak. Di saat yang sama, tika tanaman biji-bijian dilonggarkan oleh penetrasi pengirikan gigi. Akibatnya, biji-bijian jatuh ke lubang antara gerbang cekung berdekatan.

Investasi sebelumnya telah mengembangkan model dampak kontak pengirikan. Ditemukan bahwa kecepatan perifer gigi, jenis gigi dan jenis drum semuanya memiliki efek menonjol efisiensi perontokan dan kualitas permukaan kernel. Massa biji-bijian memperoleh kekuatan impak dan mempertahankan resistensi internal di antara aliran massa dan hambatan gesek pada cekung. Ketika kecepatan perifer gigi lebih besar dari kecepatan kritis menyebabkan dampak kerusakan, kekuatan dampak memainkan peran penting untuk gandum kerusakan. Kalau tidak, hambatan internal dan gesekan resistensi menimbulkan kerusakan butir. Modifikasi permukaan perontokan gigi bisa mengubah pola kontak benturan. Oleh karena itu, kerusakan butir dapat dianggap sebagai fungsi kecepatan perifer dan pola kontak.

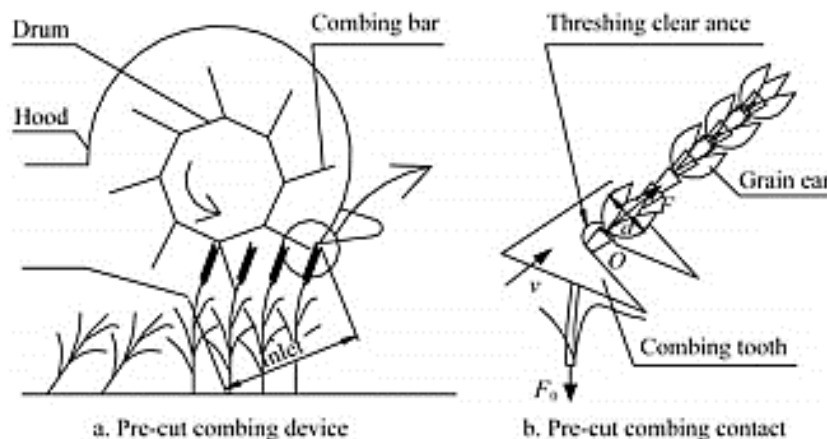


Gambar 3.1. (a). Perangkat Alat Pengirik (b) Kontak Pengirik (c) Pandangan atas

2.2 Perontokan Gerus

Model kontak perontokan gerus (*rubbing threshing*) ditunjukkan pada Gambar 3. 2. Biasanya, enam atau delapan bar serak dipasang pada drum untuk membentuk silinder pengirikan, dan cekung sudut bungkuk 110° yang terdapat di bawah silinder (Gambar 3.2a). Banyak tulang rusuk didistribusikan pada permukaan kontak pengirikan setiap bar serak (Gambar 3.2b), yang meningkatkan koefisien gesekan antara serak bar dan kelopak gandum. Oleh karena itu, bar serak (combing bar) adalah komponen kunci pengirikan ddalam membantu perangkat pengirikan menggosok. Proses pengirikan gandum bisa diidentifikasi sebagai berikut: biji gandum biasanya terlepas dari batang dengan menggosok serak bar dan parut cekung, dan kemudian menembus melalui tikar jerami, terakhir melewati celah antara gerbang cekung samping.

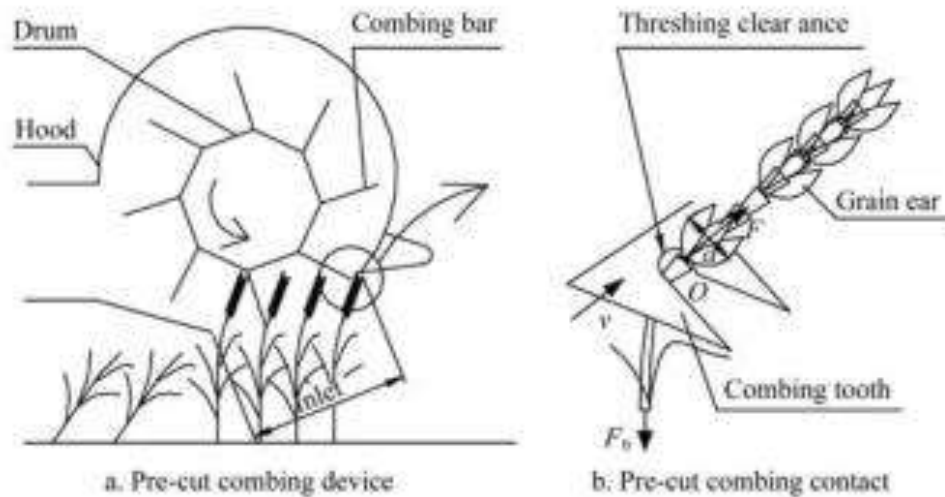
Banyak upaya telah dilakukan untuk mengembangkan perontokan cara menggosok dengan model kontak, yang terpenting tercapai prinsip perontokan gandum yang efektif. Karena biji-bijian dan jerami memiliki koefisien lekat yang berbeda, perontokan dipercepat di sekitar cekung pada tingkat yang berbeda ketika energi dikirimkan kepada mereka oleh bar serak. Di bawah kombinasi gravitasi dan sentrifugal kekuatan, biji gandum melewati tikar jerami dan masuk ke pintu pembukaan cekung. Namun, ketika biji gandum bersentuhan dengan parut cekung, bouncing akan menghasilkan dan biji-bijian biji akan melarikan diri lagi atau diusir dengan sedotan. Akibatnya, biji-bijian hilang dalam perontokan diproduksi. Karena itu, kehilangan biji-bijian dapat dianggap sebagai fungsi dari pola kontak bar serak.



Gambar 3.2. Model kontak dari perontokan

2.3 Penebahan Sisir Pra-potong

Model kontak perontokan sisir pra-potong ditunjukkan pada Gambar 3.3. Biasanya, delapan atau sepuluh batang sisir dipasang pada drum untuk membentuk silinder pengirikan. Tidak ada cekung di pra-potong perangkat pengirikan combing. Namun, saluran masuk terbentuk di bawah kap depan. Hanya telinga biji-bijian yang dihubungi dengan menyisir palang melalui inlet ini (Gambar 3.3a). Ada pembukaan tipe-V di depan setiap gigi sisir. Saat bilah sisir bergerak dari batang biji-bijian ke telinga biji-bijian, gigi sisir akan bersentuhan dengan tanaman biji-bijian di sambungan batang dan kelopak (Gambar 3.3b), di mana ada perbedaan yang signifikan dari luas penampang.

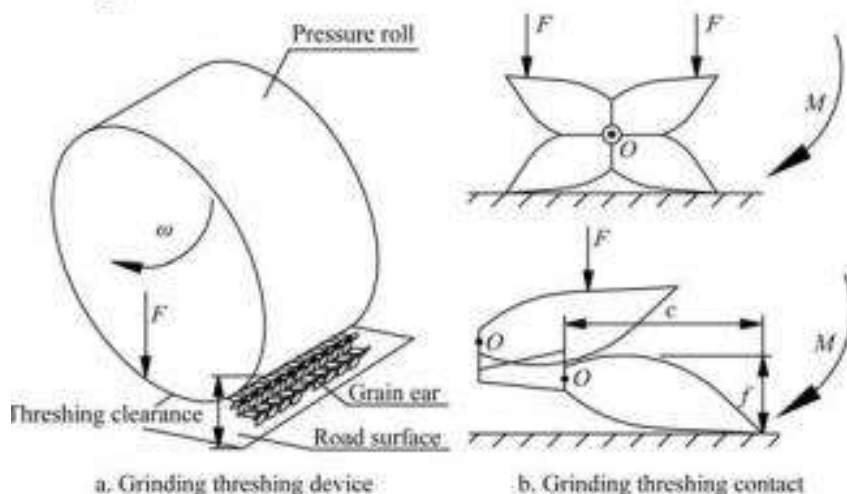


Gambar 3.3. Model Kontak dari alat pemipil

Investigasi sebelumnya telah ditemukan bahwa biji terpelanting adalah bentuk utama dari kehilangan biji-bijian dalam menyisir pengirikan. Beberapa percobaan telah menyatakan bahwa kontak combing threshing berkontribusi pada pemisahan. Selanjutnya, hanya butir biji-bijian yang dikontak di kap, dan batang biji-bijian seluruhnya di luar silinder pengirikan, ada sedikit campuran kernel dan batang. Kehilangan akibat pembersihan dan pemisahan butiran di proses selanjutnya menurun secara signifikan.

2.4. Grinding Threshing

Model kontak pengirikan gerinda ditunjukkan pada Gambar 3.4. Tumpukan biji-bijian diletakkan secara acak di jalan. Tekanan gulungan terjadi seperti gulungan batu atau ban karet menggiling biji-bijian bolak-balik. Biji-bijian dihubungkan dengan road and roll secara bersamaan (Gambar 3.4a). Ketika menggiling kontak menghasilkan, kelopak gandum diterapkan positif kekuatan dan momen dalam arah aksial dan radial masing-masing (Gambar 3.4b). Dalam arah aksial, butir telinga berputar di sekitar simpul O dan berputar.



Gambar 3.4. Bentuk kontak dari *Thresher Grinding*

3. Teknologi dan Peralatan Pengirikan Butiran

Teknologi perontokan biji-bijian telah dikembangkan sejak dulu pemanen biji-bijian ditemukan lebih dari dua ratus tahun yang lalu. Ada tiga macam metode klasifikasi tentang pemanen gandum. Akibatnya, biji-bijian biji dipisahkan dan dilepaskan dari sumbu telinga gandum. Investigasi sebelumnya telah menemukan bahwa kadar air biji-bijian memiliki dampak signifikan pada kinerja kontak penggilingan perontokan. Dalam proses penggilingan semakin tinggi kadar air, semakin parah kerusakan biji-bijian. Semakin tinggi kadar air, semakin tinggi kerusakan biji-bijian biji-bijian dalam menggiling perontokan:

3.1 Teknologi Pengirikan Butir

Teknologi dan peralatan pengirik gandum dikembangkan berdasarkan prinsip perontokan. Aliran aksial dan aliran tangensial adalah teknologi pengirikan khas yang populer dengan pengusaha dan petani di dunia. Selanjutnya, empat drum dan pengirikan APSilinder dikembangkan.

3.1.1 Teknologi pengirikan primer

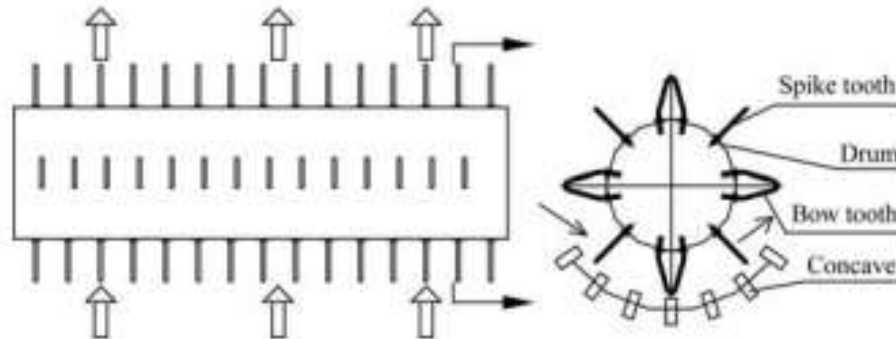
Menurut posisi pemasangan yang berbeda dari komponen pengirikan, ada tiga teknologi pengirikan utama yaitu masing-masing pemanen silang, memanjang dan vertikal. Ketika komponen perontok dipasang tegak lurus ke jerami mengalir, itu disebut pemanen lintas arah. Dengan cara yang sama, kapan sejajar dengan aliran jerami, itu disebut pemanen arah-longitudinal. Dan ketika arah vertikal ke aliran Jerami disebut mesin penuai vertikal. Sedangkan menurut biji-bijian adalah apakah diberi umpan utuh ke dalam silinder pengirikan, dapat diklasifikasikan ke dalam whole-feeding dan pemanen setengah-umpan. Jenis ketiga dari klasifikasi teknologi perontokan biji - bijian sangat terkait dengan struktur komponen perontok, yang banyak digunakan untuk menganalisis kinerja pengirikan gandum. Yaitu, sesuai arah dari aliran butir relatif terhadap sumbu unit pengirikan, itu bisa diklasifikasikan menjadi aliran aksial dan aliran tangensial. Dua macam ini pemanen dipatenkan lebih dari dua abad yang lalu. Ada empat jenis perontokan biji-bijian dengan mensintesis di atas tiga klasifikasi, yaitu, cross-tangential flow (Gambar 3.5), aliran longitudinal-aksial (Gambar 3.6), aliran aksial vertikal (Gambar 3.7) dan pemanen perontok pra-potong (Gambar 3.8).

3.1.2. Teknologi Pengirikan Lintas-Tangensial

Dalam teknologi pengirikan lintas-tangensial, pengirikan silinder berputar dengan kecepatan tinggi (Gambar 3.5). Saat setumpuk butiran melewati drum dengan cepat, spike gigi dan gigi busur mengalahkan telinga gandum secara bergantian. Kernel biji-bijian yang terlepas terbang melalui cekung, dan bergerak di sekitar silinder silang dengan kecepatan tangensial. Kecepatan putar dari silinder pengirikan ini berkisar dari 800 rotasi permenit (rpm) hingga 1200 rpm. Selain itu, jalur batang gandum melalui permukaan internal cekung, yang dapat mengurangi penyumbatan tangkai antara drum dan cekung. Namun, saat itu kadar airnya biji lebih tinggi, kekuatan koneksi antara kernel dan sumbu biji-bijian lebih besar. Akibatnya, tindakan detasemen biji-bijian kernel akan menghabiskan lebih banyak waktu, dan efisiensi pengirikan akan berkurang. Dalam hal ini, kecepatan putar yang lebih tinggi dari silinder pengirikan lebih dibutuhkan. Teknologi ini biasanya diterapkan sebagai perangkat pembantu pengirikan. Untuk contoh, silinder pengirikan lintas-tangensial dapat dipasang di bagian depan sistem perontok untuk meningkatkan pemberian bahan awal.

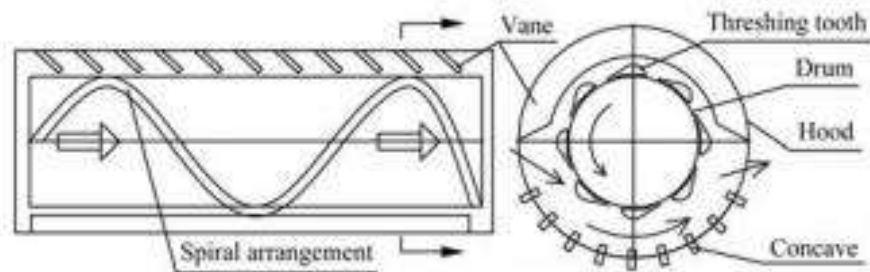
3.1.3. Teknologi Pengirikan Longitudinal-Aksial

Dalam teknologi longitudinal-aksial pengirikan, pengirikan gigi. Tinjauan teori dan teknologi pengirikan gandum dipasang pada drum secara seragam di bagian melintang, dan dalam pengaturan spiral dalam arah aksial membuat perontokan silinder. Kap dengan baling-baling dipasang di atas silinder pengirikan, dan cekung di bawah silinder pengirikan.



Gambar 3.5. *Cross Tangential Threshing Cylinder*

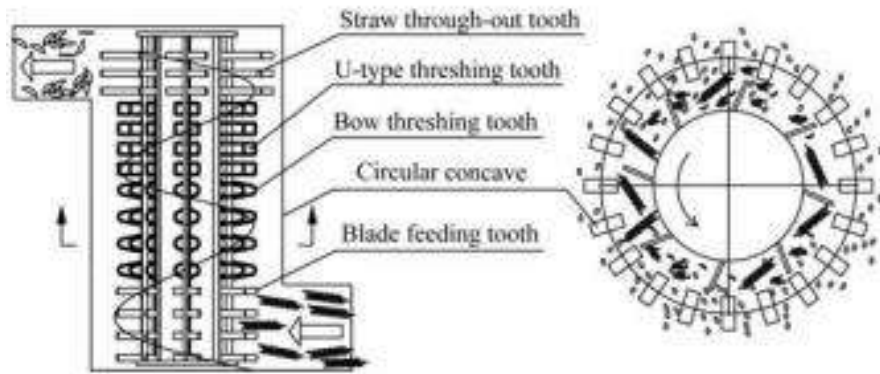
Bahan biji-bijian terutama dipengaruhi dan digosok oleh gigi perontok dan cekung. Pada saat yang sama, baling-baling mengarahkan bahan biji-bijian untuk melewati silinder pengirikan. Akibatnya, biji-bijian kernel terlepas dari sumbu telinga gandum dan dipisahkan melalui cekung. Berdasarkan pada teknologi pengaliran aliran longitudinal-aksial, the kernel terlepas berjalan di sekitar silinder longitudinal dengan kecepatan komprehensif, yang terdiri dari aksial dan tangensial komponen kecepatan. Karena kecepatan aksial menghasilkan suatu tambahan jarak sepanjang sumbu putar, memiliki biji gandum peluang yang memadai untuk melepaskan diri dari batang dan untuk menggerakkan silinder.



Gambar 3.6. *Cross Tangential Thresher cylinder*

3.1.4. Teknologi Pengirikan Vertikal-Aksial

Teknologi vertical-axial flow threshing (VAFT) adalah perubahan konvensional proses pengirikan dengan mengadopsi silinder vertikal yang memiliki empat jenis gigi perontok seperti gigi makan pisau, perontokan busur gigi, gigi perontok tipe-U dan sedotan keluar-masuk (Gambar 3.7). Keempat jenis gigi dipasang secara vertikal gendang dari bawah ke atas. Dan 360 ° cekung melingkar diposisikan di luar drum pengirikan untuk menghasilkan dua kali luas sebesar aliran aksial horisontal dengan panjang cekung yang sama. Akibatnya, biji gandum memiliki frekuensi gigi yang lebih tinggi dampak untuk meningkatkan efisiensi perontokan.

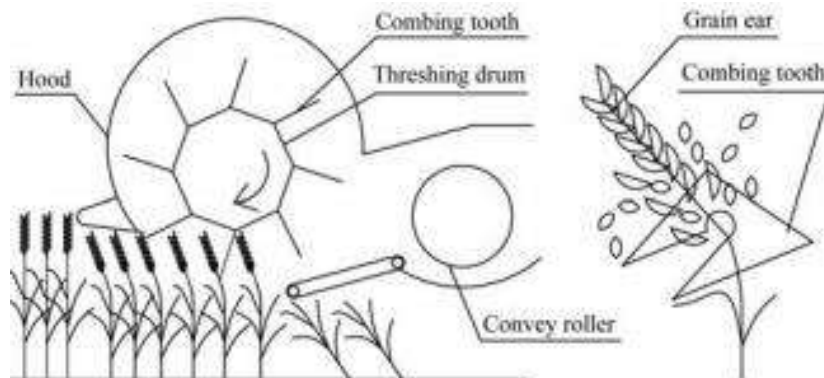


Gambar 3.7. *Threshing cylinder vertical aksial*

Dalam teknologi pengirikan aksial vertikal, bahan gabah adalah dimasukkan ke dalam silinder pengirikan pada bagian bawah, dan diarahkan secara spiral keterbalik. Di bawah aksi gaya sentrifugal, kernel butir berada dibuang keluar melalui cekung. Jadi kecepatan putar perontokan gigi cukup tinggi untuk meningkatkan biji gandum menjadi mengirik dan terlepas.

3.1.5 Teknologi Threshing Combing Pra-potong

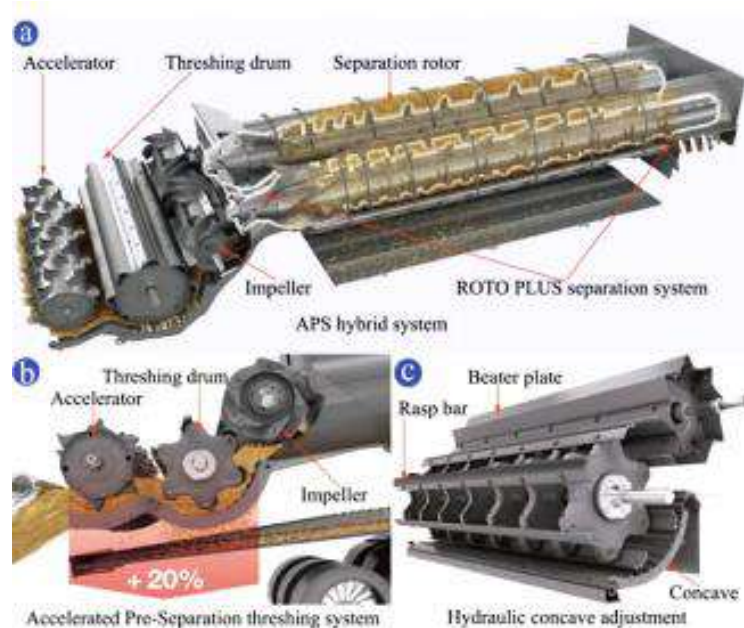
Konsep combing threshing (pipil sisir) pre-cut sekitar 70AD di Romawi dan kemudian dikembangkan di Inggris, Australia, AS, Filipina dan Cina. Perontokan sisir pra-potong yang khas pemanen (Gambar 3.8) dirancang oleh Silsoe Research Institute di Inggris pada tahun 1984. Dalam teknologi perontokan combing pre-cut, hanya biji-bijian yang diangkat ke tudung (hood), dan tangkai biji-bijian masih berdiri di lapangan. Jadi teknologi pengirikan ini berkurang secara signifikan konsumsi energi. Selain itu, telinga gandum disisir dengan kunci kernel dan biji-bijian berlubang berlubang terlepas dari jerami secara bersamaan. Karena biji-bijian telinga dan sedotan adalah dipanen masing-masing, proses pemisahan biji dan pembersihan akan menjadi sederhana dan kehilangan biji-bijian akan berkurang.



Gambar 3.8. Pra potong *thresher* pemanen

3.2 Peralatan Pengirik Gandum

Sebagian besar menggabungkan perusahaan produksi mendistribusikan di Eropa dan Amerika Serikat sebagai hasil dari skala produksi pertanian dan kenaikan biaya tenaga kerja. Perusahaan Jerman Claas dikenal di seluruh dunia karena sistem hybrid APS mereka mendominasi Pasar gabungan Eropa. Agco, John Deere, Case IH dan New Holland adalah produsen gabungan empat besar di Amerika Negara yang produksinya lebih banyak digunakan untuk panen skala besar operasi disesuaikan dengan nyaman. Akibatnya, biji-bijian hilang dan rusak bisa dikontrol.



Gambar 3.9. APS hybrid system CLAAS

3.2.1 APS dari CLAAS

Pemanen biji-bijian dari CLAAS di Jerman memiliki perbedaan keunggulan kompetitif berdasarkan sistem hybrid APS mereka, yang termasuk Accelerated Pre-Separation threshing system (APS) dan Sistem pemisahan ROTO PLUS (Gambar 3.9a). Tiga gulungan diposisikan dalam sistem pengirikan APS, yaitu, akselerator, drum perontok dan impeller (Gambar 3.9b). Bahan biji-bijian awal dipercepat dari 3 m/s hingga 20 m/s oleh akselerator. Demikian juga karena 30% biji-bijian dipisahkan dari batang dengan perontokan drum. Secara bersamaan, bahan biji-bijian yang ditumbuk dipaksa masuk sistem pemisahan *roto plus* oleh impeller. Demikianlah ada peningkatan kinerja bersih hingga 20%. Enam bar serak (*hoarse bar*) adalah dipasang pada drum pengirikan. Penyesuaian cekung hidrolik diterapkan pada pemanen Claas (Gambar 9c). Cekung di bawah drum pengirikan dirancang sebagai cekung multi-crop dengan individu segmen yang dapat diubah dengan mudah. Kesenjangan cekung bisa jadi kontrol.

3.2.2 Sistem Pengirikan Agco

Agco di AS menawarkan rangkaian mesin yang lebih komprehensif dan peralatan, karena ada lima merek dalam pertanian ini perusahaan mesin. Challenger, Gleaner, dan Fendt memiliki tipikal sistem perontokan masing-masing (Gambar 3.10). Aksial longitudinal teknologi perontok telah diterapkan pada rotor kembar, rotor tine dan rotor peluru. Namun, rotor Challenger adalah dicirikan oleh struktur dan ukuran (Gambar 3.10a). Misalnya, rotor dibagi menjadi dua bagian, yaitu silinder kecil dan silinder besar. Auger inlet dilas di sekitar kecil silinder. Dua jenis batang silinder dibautkan pada yang silinder besar. Bar silinder utama adalah bar serak, dan tambahan cylinder bar adalah plat karet. Selain itu, panjang rotor adalah hingga 3556 mm, yang meningkatkan panen sepanjang dan memungkinkan bergabung untuk memaksimalkan produktivitas. Auger inlet bisa meminimalkan kerusakan biji-bijian, dan bar serak bisa menggosok tanaman beberapa kali untuk mengurangi kehilangan biji-bijian.



Gambar 3.10. *Threshing system agco*

Peralatan perontok Gleaner terdiri dari penutup cekung dan rotor perontok (Gambar 3.10b). Enam bar serak yang dibaut pada rotor dikrom dan reversibel di area pengirikan. Cekung sampul bundar adalah 360°. Sangat penting bahwa biji gandum dapat ditumbuk cukup lama untuk melepaskannya dari telinga biji-bijian. Selain itu, kandang 360° dapat memisahkan biji-bijian biji setelah ditumbuk. Dengan demikian, cekung sampul dapat mengurangi kehilangan dan kerusakan gabah. Sistem perontokan Fendt menerapkan teknologi perobekan lintas tangensial. Ada tiga gulungan dalam sistem (Gambar 3.10c). Enam bar serak dibautkan pada drum pengirikan. Roll beater dipasang di belakang drum pengirik untuk mencegah penyumbatan jerami gandum. Gulungan pemisah berperan penting dalam meningkatkan hasil, terutama di bawah kondisi panen yang sulit, seperti dengan jerami hijau atau lembab.

3.2.3 T-series dan S-series John Deere

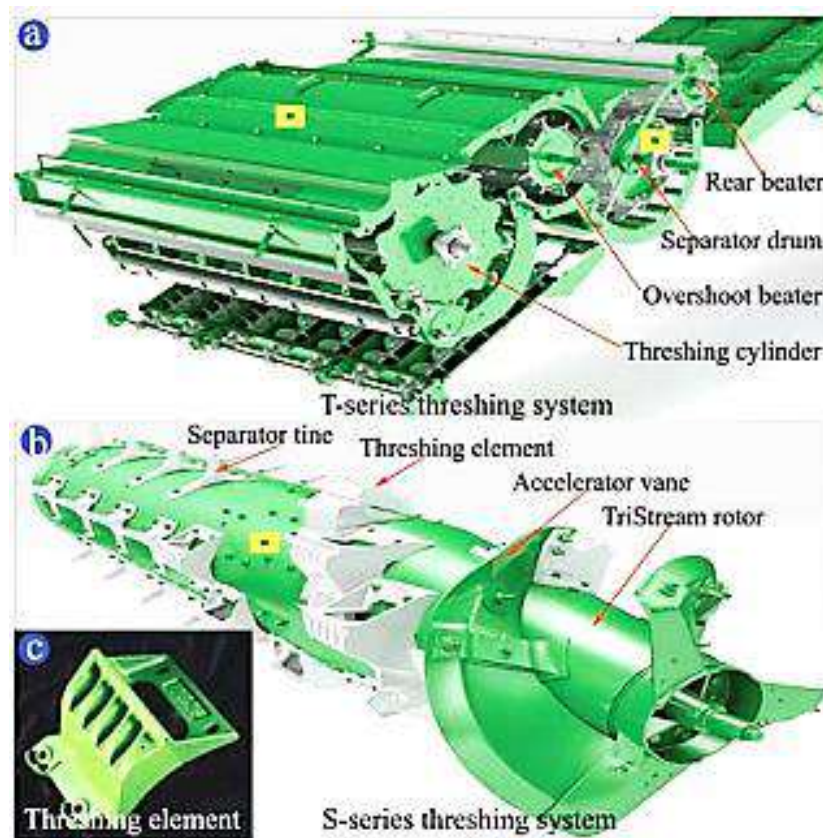
Ada dua seri utama pemanen gandum John Deere di AS, yaitu T-series dan S-series (Gambar 3.11). T-series menggabungkan pemanen John Deere mengadopsi teknologi pengirikan lintas-tangensial. Ada empat jenis roller dalam sistem pengirikan seri-T (Gambar 3.11a). Roller pertama adalah pengirikan silinder dengan sepuluh bar serak. Diameternya adalah 660 mm. Ini memberikan kualitas biji-bijian yang sangat baik dan penyerahan bahan yang lembut.

Peralatan Perontok Cekung dengan sudut pembungkus 124° dipasang di bawah pengirikan silinder. Ini memastikan efisiensi perontokan. Pemukul overshoot dipasang di belakang silinder pengirikan bisa mengarahkan biji dengan lembut bahan untuk drum pemisah. Ini mencegah bahan dari belakang memakan silinder pengirikan, menghilangkan penyumbatan silinder. Diameternya 500 mm, dan kecepatannya mencapai 125 rasio persen kecepatan pengirikan silinder. Drum pemisah memisahkan butir yang tersisa dari tikar jerami. Diameternya adalah 800 mm, dan kecepatannya 760 rpm untuk butiran kecil seperti gandum dan nasi. Beater belakang melanjutkan proses aliran material. Itu mengirimkan material ke walker jerami dengan kecepatan 900 rpm untuk biji-bijian kecil. Series-S menggabungkan pemanen dari John Deere mengadopsi longitudinal teknologi perontokan aksial. Rotor Tri Stream unik untuk John Deere, karena fitur desain yang sedikit meruncing di perontok area (Gambar 3.11b). Rotor berbentuk peluru berkurang secara signifikan biji gandum rusak karena beban rotor yang berat. Selain itu, itu bisa mengurangi kekuatan yang dibutuhkan untuk memindahkan material melalui rotor sebanyak 20 persen. Dua spiral baling-baling akselerator dipasang di ujung rotor yang meruncing.

Hal ini meningkatkan aliran material untuk dimasukkan ke dalam sistem perontok. Itu elemen pengirikan dirancang untuk butiran kasar dan pengirikan mudah biji-bijian kecil seperti gandum dan beras. Empat tulang rusuk miring didistribusikan di permukaan belakang setiap elemen pengirikan. Akibatnya, alur rifling terbentuk pada permukaan fungsional untuk meningkatkan kinerja perontokan (Gambar 3.11c). Ada lima belas elemen pengirikan spiral di sekitar rotor Tristream, yang dibangun-cor dan dilapisi untuk meningkatkan 25 persen lebih sulit daripada chrome. Sembilan atau dua belas garis pemisah dibaut pada rotor. Mereka digunakan untuk meningkatkan aliran material padat melalui rotor.

3.2.4. Rotor Kembar dan Drum Empat dari New Holland

Ada dua jenis utama alat pengirik gandum di Indonesia New Holland, yaitu twin rotor dan empat drum (Gambar 3.12a). Itu peralatan perontok rotor kembar mengadopsi perontokan aksial longitudinal teknologi, dan mereka dipasang dalam seri-CR. Empat drum peralatan pengirikan mengadopsi teknologi pengirikan lintas-tangensial, dan mereka dipasang dalam seri CX. Konsep rotor kembar ditemukan oleh New Holland 40 tahun yang lalu (Gambar 3.12a). Ini dapat secara signifikan menawarkan hingga 10 peningkatan persen perontokan di seluruh. Dua rotor pitch diputar sebaliknya, dan mereka sangat cocok untuk kondisi lembab. Sekitar 44 elemen perontok dipasang pada setiap rotor secara spiral (Gambar 3.12b). Cekung panjang berada di bawah setiap rotor, yang meningkatkan kinerja perontokan.



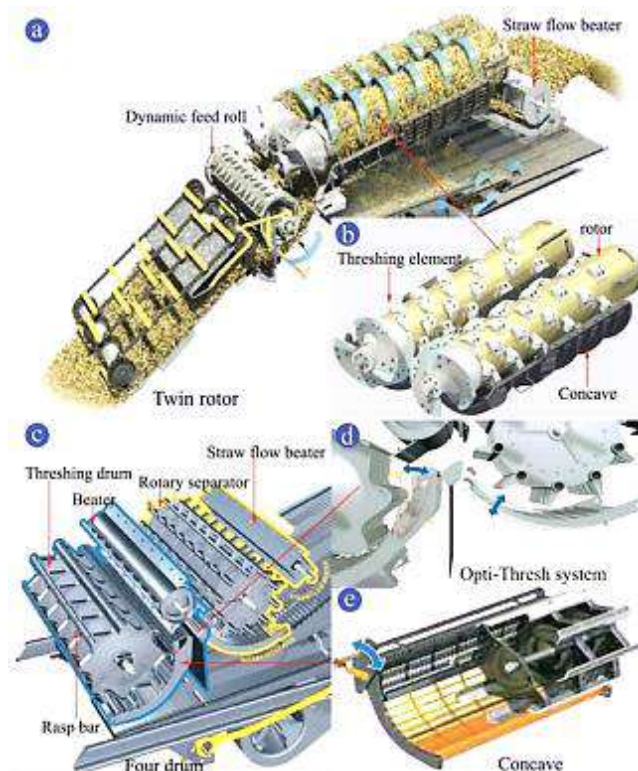
Gambar 3.11. Threshing System John Deere

Gulungan umpan dinamis berada di depan rotor kembar. Hal ini bisa mempercepat pemangkasan yang efisien memberi umpan, dan meningkatkan kinerja pengumpan hingga 15 persen. Selain itu, pengocok aliran jerami terletak di belakang rotor kembarnya diameter 400 mm, dan itu bisa memindahkan jerami ke belakang untuk meningkatkan biji-bijian di seluruh. Alat pemanen biji-bijian dari New Holland sangat populer untuk empat drum peralatan perontok, yang meliputi perontokan drum, beater, rotary pemisah dan pemukul aliran jerami (Gambar 3.12c). Drum pengirikan memasang bar serak dengan cekung di bawah drum. Panjang pisau dipasang pada

pengocok untuk memaksa jerami bergerak ke belakang, hindari jerami gandum berputar drum di pemisah pengirikan. Pemisah putar terdiri dari drum terbuka dan jari-jari untuk mempercepat biji gandum yang terpisah dari jerami. Beater aliran jerami diposisikan di belakang bagian atas rotary pemisah untuk meningkatkan seluruh butiran. Sistem opti-threshold adalah diadopsi oleh New Holland (Gambar 3.12d). Itu bisa menyesuaikan bungkusnya derajat cekung (Gambar 3.12e). Menurut gandum jatuh tempo dan hasil, tindakan menggosok diubah oleh sistem opti-thresh.

3.3 Thresher pada buah kompak

Alat pemipilan buah kompak dan buah lunak, artinya mudah luka, maka pemipilan dengan bantingan. Buah melekat pada tangki buah dengan erat, dan sulit dilepas jika buah dalam keadaan mentah. Buah lepas secara enzimatik, dan rontok di sekitar pohon. Ukuran tandan kelapa sawit berkisar 3 – 30 kg, dan ukuran brondolan (buah yang melekat pada tangkai sebesar 10-20 gr/butiran). Untuk mempermudah buah dipipil, tandan direbus dalam bejana sterilizer pada suhu 127-145 °C selama 60-90 menit. Penetrasi uap dalam tandan dalam bejana sterilizer akan menyebabkan perombaan hemiselulosa dan pektin pada pangkal buah sehingga buah lebih cepat lepas jika dipipil dengan thrfeshesher, Gambar 3.13.



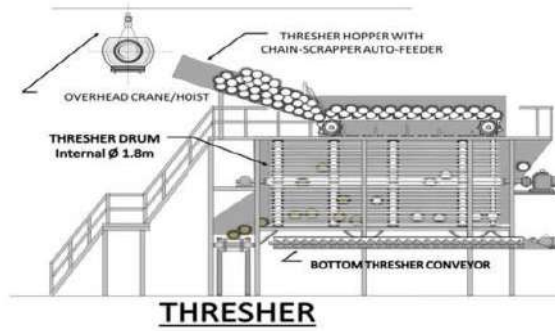
Gambar 3.12. System Pemipilan New Holland



(a)



(b)



(c).

Gambar 3.13. a). Drum Thresher (tanpa sumbu) b). Drum Thresher (c) Stasiun pemipilan dilengkapi dengan autofeeder dan empty bunch conveyor

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad S. A, Muhammad Iqbal, Manzoor Ahmad , Asif Tanveer and J.K. Sial (2013) Design Improvement of Indigenous Beater Wheat Thresher in Pakistan. Pakistan. J. Agri. Sci., Vol. 50(4), 711-721
- Ahorbo G.K. (2016) Design Of A Throw-In Axial Flow Rice Thresher Fitted With Peg And Screw Threshing Mechanism International Journal of Scientific & Technology Research Vol. 5, issue 07, July ISSN 2277-8616 171 IJSTR©2016 www.ijstr.org.Ghana. pp: 170-177.
- Murthy A.K, Shanthos Kumar B.K, Prashanth P, Pavan Kumar P, Nitesh Kumar BM, Rakshan Rai (2019) Paddy Thresher and Performance Analysis under Various Conditions of Paddy Straw. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET) Vol 10 Issued 3. IAME Pub. Banglore India.pp: 11
- Naibaho P.M (1988) Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa sawit. Medan. pp: 306.
- Olugboji O.A (2004) Development of a Rice Threshing Machine. Department of Mechanical Engineering, Federal University of Technology Minna, Niger State, Nigeria. Pp 75-80.
- Simonyan K.J, and Y.D Yiljep (2008) Investigating Grain Separation and Cleaning Efisiensi Distribution of a Conventional Stationary Rasp bar Shorgum Thresher. Agricultural Engineering International, the CIGR Ejournal Manuscript PM 07 028 Vol 10. August 2008 pp: 1-13
- Sofyan A.D, Galuh L.Sihombing, Amir Hamzah and Andry (2017). Design Shape and Dimension of Threshing Station Model Palm Oil Mill in PT. Perkebunan Nusantara V - PKS Sei Galuh Using Autodesk AutoCAD 2014 Software. Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace. Science and Engineering, Vol 39. pp: 1-8
- Ugwu K. C. and Omoruyi A. (2016). Development and Performance Evaluation of Maize Threshing and Grinding Machine. American Journal of Engineering Research (AJER) Volume-5, Issue-10, pp-24-29

BAB IV

PERUBAHAN BENTUK DAN UKURAN

1. Pendahuluan

Pengurangan ukuran atau 'kominusi' adalah satuan operasi di mana ukuran rata-rata padatan potongan bahan dikurangi dengan aplikasi penggilingan, kompresi, rajangan atau gaya tumbukan. Ketika diterapkan pada pengurangan ukuran butiran cairan tak bercampur (misalnya gumpalan minyak dalam air), pengurangan ukuran lebih sering disebut sebagai homogenisasi atau emulsifikasi. Pembesaran ukuran dicapai dengan ekstrusi aglomerasi atau pembentukan.

Pengurangan ukuran dalam pengolahan hasil pertanian memiliki manfaat berikut:

- Peningkatan rasio permukaan terhadap volume bahan akan meningkatkan laju pengeringan, pemanasan atau pendinginan dan meningkatkan efisiensi dan laju ekstraksi komponen cair (misalnya jus buah atau ekstraksi minyak goreng).
- Ketika dikombinasikan dengan penyaringan, kisaran ukuran partikel yang telah ditentukan merupakan dasar yang penting proses pengolahan, yang merupakan fungsi pemrosesan yang benar dari beberapa produk (misalnya gula - gula, rempah-rempah dan tepung jagung).
- Kisaran ukuran partikel yang serupa memungkinkan pencampuran bahan yang lebih lengkap (misalnya campuran sup dan kue kering).

Pengurangan ukuran dan emulsifikasi memiliki sedikit atau tidak ada efek pengawet. Cara ini umumnya meningkatkan kualitas bahan atau kesesuaian bahan untuk diproses lebih lanjut dan untuk meningkatkan ketersediaan berbagai produk. Dalam beberapa bahan metode ini dapat mendorong degradasi karena pelepasan enzim yang terjadi secara alami dari jaringan yang rusak, atau oleh aktivitas mikroba dan oksidasi pada area permukaan yang terbuka, kecuali perawatan pengawet lainnya dipekerjakan. Metode pengurangan ukuran yang berbeda diklasifikasikan menurut kisaran ukuran partikel yang dihasilkan:

- a. Memotong, memotong, mengiris, dan dicincang:
 - i. dari ukuran besar ke sedang (stewing steak, keju dan irisan buah untuk pengalengan)
 - ii. dari menengah ke kecil (bacon, irisan kacang hijau dan wortel potong dadu)
 - iii. dari kecil hingga granular (daging cincang atau abon, serpihan ikan atau kacang-kacangan dan abon sayuran).
- b. Penggilingan ke bubuk atau pasta dengan kehalusan yang meningkat (produk parut> rempah rempah> tepung > nektar buah> gula bubuk> tepung> pasta halus)
- c. Emulsifikasi dan homogenisasi (mayones, susu, minyak esensial, mentega, es krim dan margarin)

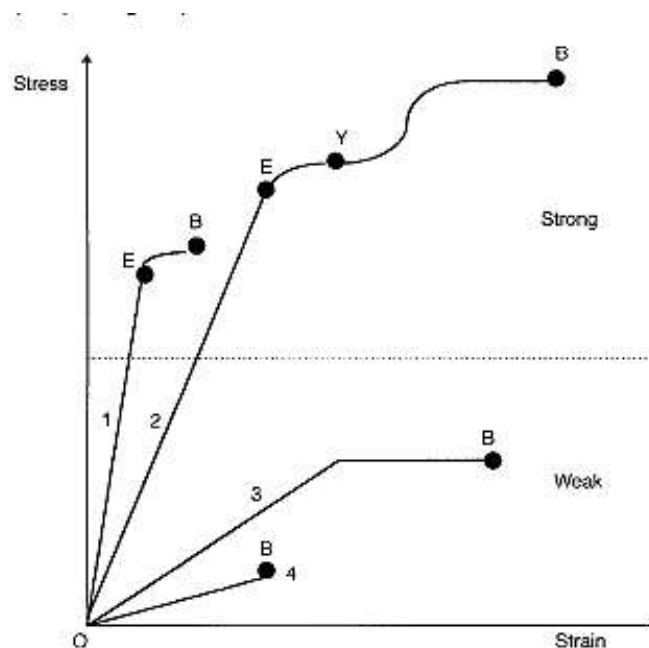
2. Pengurangan Ukuran Bahan Padat

2.1. Teori

Pada proses pengurangan ukuran ada tiga jenis gaya yang digunakan untuk mengurangi dimensi ukuran bahan:

- Kekuatan kompresi
- Kekuatan dampak
- Kekuatan geser (atau gesekan).

Pada sebagian besar peralatan reduksi ukuran, ketika terdapat beberapa gaya bekerja, tetapi seringkali satu kekuatan lebih penting daripada yang lain. Ketika stres (kekuatan) diterapkan pada bahan internal yang dihasilkan strain pertama kali diserap, menyebabkan deformasi jaringan. Jika tekanannya tidak melebihi tingkat kritis tertentu disebut batas tegangan elastis (E), jaringan kembali ke aslinya bentuk ketika stres dihilangkan, dan energi yang tersimpan dilepaskan sebagai panas (wilayah elastis) (O – E), Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram regangan-regangan untuk berbagai bahan. (E = batas elastis; Y = titik hasil; B = titik putus; O – E = daerah elastis; E – Y = deformasi inelastik; Y – B = wilayah tidak elastisitas; (1) = bahan keras, kuat, rapuh; (2) = keras, kuat, bahan ulet; (3) = lunak, lemah, bahan ulet dan (4) = lembut, rapuh lemah.)

Namun, ketika regangan dalam area terlokalisasi melebihi batas tegangan elastis, berakibat bahan akan cacat permanen. Jika stres berlanjut, regangan mencapai titik leleh (Y). Di atas titik hasil bahan mulai mengalir (dikenal sebagai 'wilayah daktilitas' = (kemampuan bahan menahan regangan hingga putus) (Y–B) pada Gambar 1). Akhirnya, tegangan putus dilampaui pada titik putus (B) dan fraktur bahan di sepanjang garis kelemahan. Bagian dari energi yang tersimpan kemudian dilepaskan berupa panas. Sedikitnya 1% dari energi yang diterapkan sebenarnya dapat digunakan untuk pengurangan ukuran. Karena ukuran potongan berkurang, ada lebih sedikit garis kelemahan yang tersedia, dan memecah stres yang bertambah harus dilampaui. Ketika tidak ada garis kelemahan yang tersisa, celah baru harus dibuat untuk mengurangi ukuran partikel lebih lanjut, dan ini membutuhkan tambahan energi. Karena itu ada peningkatan substansial dalam kebutuhan energi sebagai ukuran partikel berkurang. Untuk penentuan distribusi ukuran dalam

produk perlu dilakukan untuk menghindari pemborosan waktu yang tidak perlu dan energi dalam pembuatan partikel yang lebih kecil daripada yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk memecah bahan ditentukan oleh kekerasannya dan tingkat kerapuhannya, yang pada gilirannya tergantung pada struktur bahan. Semakin sedikit garis kelemahan dalam bahan, semakin tinggi kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk menyebabkannya rekah. Bahan yang lebih keras menyerap lebih banyak energi dan akibatnya membutuhkan masukan energi yang lebih besar untuk membuat ukuran yang lebih kecil. Kekuatan kompresi digunakan untuk memecah bahan yang mudah pecah atau kristalin; dampak gabungan dan gaya geser diperlukan untuk bahan berserat, dan gaya geser digunakan untuk fine penggilingan bahan yang lebih lembut. Diperkirakan bahwa bahan retak pada tingkat stres yang lebih rendah jika kekuatan diterapkan untuk waktu yang lebih lama. Tingkat pengurangan ukuran, energi yang dikeluarkan dan Jumlah panas yang dihasilkan dalam bahan karena itu tergantung pada ukuran kekuatan itu diterapkan dan waktu bahan tunduk pada kekuatan.

Faktor lain yang mempengaruhi kebutuhan energi adalah kadar air dan sensitivitas panas bahan. Kadar air secara signifikan mempengaruhi tingkat pengurangan ukuran dan mekanisme kerusakan pada beberapa bahan. Misalnya, sebelum penggilingan gandum perlu 'dikondisikan' untuk kadar air optimal dan jagung benar-benar basah dan "basah giling" untuk mendapatkan disintegrasi lengkap dari bahan bertepung. Rincian lebih lanjut diberikan oleh Kent (1983), namun, kelembaban yang berlebihan dalam bahan 'kering' dapat menyebabkan aglomerasi (penumpukan beberapa butiran) partikel yang kemudian menghalangi gilingan dan bahan yang sangat kering membuat berlebihan debu yang menyebabkan bahaya kesehatan, sangat mudah terbakar dan berpotensi meledak.

Sejumlah besar panas dihasilkan pada penggilingan berkecepatan tinggi. Sensitivitas panas bahan menentukan kenaikan suhu yang diperbolehkan dan kebutuhan untuk pendinginan gilingan. Pada penggilingan cryogenic, nitrogen cair atau karbon dioksida padat dicampur dengan bahan (untuk contoh rempah-rempah) sebelum penggilingan, untuk mendinginkan produk dan untuk mempertahankan volatil atau panas lainnya komponen sensitif. Karbon dioksida padat juga digunakan untuk mendinginkan daging selama ukuran pengurangan dalam pembuatan *sausage meat*.

Energi yang dibutuhkan untuk mengurangi ukuran bahan padat dihitung menggunakan salah satu dari tiga persamaan, sebagai berikut:

1. Hukum tendangan menyatakan bahwa energi yang diperlukan untuk mengurangi ukuran partikel adalah sebanding dengan rasio ukuran awal dari dimensi tipikal (misalnya diameter potongan) dengan ukuran akhir dimensi itu:

$$E = K_K \ln \left(\frac{d_1}{d_2} \right) \dots\dots\dots 1)$$

di mana E (J) energi yang dibutuhkan per massa pakan, konstanta tendangan/pukulan K_K , d_1 (m), ukuran awal rata-rata potongan, dan d_2 (m) ukuran rata-rata partikel d_1/d_2 dikenal sebagai rasio pengurangan ukuran (RR) dan digunakan untuk mengevaluasi relatif kinerja berbagai jenis peralatan. Penggilingan kasar memiliki RR di bawah 8: 1, sedangkan dalam fine grinding, rasio dapat melebihi 100: 1 (Brennan et al., 1990).

2. Hukum Rittinger menyatakan bahwa energi yang dibutuhkan untuk pengurangan ukuran sebanding dengan perubahan luas permukaan potongan-potongan bahan (bukan perubahan dimensi dijelaskan dalam hukum Kick):

$$E = K_R \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

di mana K_R Rittinger konstan.

3. Hukum Bond digunakan untuk menghitung energi yang dibutuhkan untuk pengurangan ukuran dari:

$$\frac{E}{W} = \sqrt{\frac{100}{d_1} - \frac{100}{d_2}} \dots\dots\dots (3)$$

di mana W (J kg⁻¹) Indeks pekerjaan bond (40 000-80.000 J kg⁻¹ untuk bahan keras seperti gula atau gandum (Loncin dan Merson, 1979), diameter d₁ (m) aperture (bukaan = perforasi) yang memungkinkan 80% dari massa umpan untuk lulus dan d₂ (m) diameter bukaan ayakan yang memungkinkan 80% massa material tanah terlewat. Dalam praktiknya telah ditemukan bahwa hukum Kick memberikan hasil yang cukup baik untuk kasar gerinda dimana ada peningkatan yang relatif kecil pada luas permukaan per satuan massa.

Hukum Rittinger memberikan hasil yang lebih baik dengan penggilingan halus di mana ada yang lebih besar peningkatan luas permukaan dan hukum Bond adalah perantara di antara keduanya. Namun, persamaan 2 dan 3 dikembangkan dari studi bahan keras (batubara dan batu kapur) dan penyimpangan dari hasil prediksi kemungkinan dengan banyak bahan.

Latihan soal “

Bahan digiling mulai dari 6 mm hingga 0,0012 mm menggunakan motor 10 hp. Apakah motor ini cukup untuk mengurangi ukuran partikel menjadi 0,0008 mm? Asumsikan Rittinger persamaan dan bahwa 1 hp 745.7 W.

Penyelesaian

Dari Equation (2),

$$745.7 = K_R \left(\frac{1}{0.0012 \times 10^{-3}} \right) - \left(\frac{1}{6 \times 10^{-3}} \right)$$

Karena itu,

$$K_R = \frac{7457}{\frac{1}{1.2 \times 10^{-6}} - \frac{1}{6 \times 10^{-3}}}$$

Untuk menghasilkan partikel 0,0008 mm

$$E = 0.0089 \frac{1}{0.008 \times 10^{-3}} - \frac{1}{6 \times 10^{-3}} = 11123 \text{ W} = 15 \text{ hp}$$

Oleh karena itu motor tidak cocok dan peningkatan diperlukan daya 50% peralatan.

2.2. Peralatan

Bagian ini menjelaskan peralatan yang dipilih untuk proses pengurangan ukuran kedua bahan berserat potongan kecil atau pulp, dan bahan partikulat dikeringkan menjadi bubuk. Ringkasan utama aplikasi ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Rincian lebih lanjut tentang sifat-sifat serbuk diberikan oleh Lewis (1996). Sebagian besar daging, buah-buahan, dan sayuran termasuk dalam kategori umum bahan 'berserat'. Daging dibekukan atau 'dihancurkan' hingga tepat di bawah titik beku, hingga meningkatkan efisiensi pemotongan. Buah dan sayuran memiliki tekstur yang lebih kuat secara inheren dan dipotong pada suhu sekitar rendah atau dingin. Semua jenis pisau pemotong dipakai pada bahan dengan resistensi sesedikit mungkin. Pisau tajam harus disiapkan, untuk mengurangi daya yang dibutuhkan untuk memotong bahan dan untuk mengurangi pecahnya sel sehingga kerusakan produk berkurang. Dalam bahan lembab, air bertindak sebagai pelumas, tetapi pada beberapa produk dapat lengket, seperti kurma atau manisan buah-buahan, pelumas food grade mungkin diperlukan untuk memotongnya dengan sukses. Pada umumnya bilah tidak dilapisi dengan bahan non-slip, seperti 'Teflon' atau poly-tetra-fluoro-ethylene (PTFE) karena dapat hilang dan mencemari produk, dan sebagai gantinya dipoles cermin selama pembuatan.

Selama tahun 1990-an peningkatan pemotongan telah dicapai dengan diperkenalkannya pemotong ultrasonik. Ini menggunakan bilah pisau atau 'tanduk' (probe) yang bergetar memanjang (sebagai piston) pada 20 kHz, dengan langkah pemotongan 50-100 m. Detail komponen bagian dan metode pemotongan dijelaskan oleh Rawson (1998). Mereka siap otomatis dan memiliki manfaat sebagai berikut:

Kualitas penampilan bahan yang dipotong sangat bagus secara visual:

- Produk ini sebenarnya tidak terganggu
- Gaya potong yang dibutuhkan berkurang secara signifikan
- Produk berlapis-lapis atau partikel keras yang terkandung dalam matriks lunak dapat dipotong
- Mata pisau membersihkan sendiri
- Remah dan sisa-sisa berkurang secara signifikan
- Hemat biaya, memiliki biaya operasional yang rendah
- Pisau yang kurang tajam dibutuhkan dan interval yang lebih lama antara penajaman, dibandingkan dengan pisau konvensional (rawson, 1998).

Teknik ini sangat cocok untuk produk yang sulit dipotong menggunakan metode lain (misalnya, gula-gula lengket, roti panas dan kue lunak) dan semakin meningkat digunakan untuk produk roti dari semua jenis, pai beku, es krim, dan daging segar, ikan dan sayuran.

2.2.1. Pengurangan Ukuran Bahan Berserat

Ada empat jenis utama peralatan reduksi ukuran, diklasifikasikan menurut urutan menurun ukuran partikel sebagai berikut:

- a. Peralatan mengiris dan mengelupas
- b. Peralatan dicing(dadu) /pemotong hasil kotak
- c. Peralatan merobek-robek
- d. Peralatan pembuatan pulp.

Tabel 4.1. Aplikasi peralatan reduksi ukuran

Alat	Jenis Produk (a)					Kehalusan (b)			
	1	2	3	4	5	a	b	c	d
Pengiris			x	x	x	x			
Pemotong Dadu			x	x	x	x			
Shredders/jambak				x	x	x			
Chopper			x	x	x		x	x	
Crusher	x								
Hummer mill	x	x		x	x		x	x	
Mesin Penghalus	x			x	x		x	x	
Klassifikator	x				x				x
Air jet mill	x	x			x				x
Ball mill		x							x
Disc mill	x							x	x
Roller	x			x	x			x	x
Pulper				x				x	x

a) 1 = kristal rapuh lunak; 2 = abrasif keras; 3 = cuttable tangguh elastis; 4 = berserat; 5 = berminyak sensitif panas.

b) a = benjolan kasar; b = bubur jagung kasar; c = sedang hingga halus; d = baik ke sangat halus.

2.2.2. Peralatan Pengiris Dan Pengelupasan

Pertumbuhan pasar sandwich dingin telah merangsang pengembangan slicers berkecepatan tinggi untuk memotong roti tepat dari sudut ke sudut dan untuk mengiris tambalan. Dalam beberapa desain:

- a). Bahan ditahan pada pisau pemotong dengan kekuatan sentrifugal dan setiap irisan jatuh bebas. Ini menghilangkan masalah pemotong yang ditemukan sebelumnya, di mana beberapa bilah pisau menyebabkan kompresi bahan dan kerusakan karena melewati antara bilah. Pemotong berkecepatan tinggi digunakan untuk mengiris daging dan 'wafer tipis' daging yang dimasak hingga 2000 irisan per menit dan sayuran hingga 6 ton per jam.

Tabel 4.2. Properti dan aplikasi peralatan reduksi ukuran yang dipilih

Jenis peralatan	Jenis kekuatan	Kecepatan Perifer (ms^{-1})	Jenis Produk
Pabrik pin-and-disc	Impact	80–160	Gula, pati, bubuk kakao, pala, merica, kacang panggang, cengkeh
Pabrik Pemukul sayap	Dampak dan geser	50–70	Alginat, lada, pektin, paprika, sayuran kering
Disc-beater mill	Dampak dan geser	70–90	Bubuk susu, laktosa, sereal, kering air dadih
Bergigi vertikal pabrik disc	Geser	4–8	Ekstrak kopi beku, bahan plastik Penggilingan kasar gandum, jagung, gandum, adas, merica, juniper berry
Pemotongan granulator	Dampak dan mencukur)	5–18	Tepung ikan, pektin, buah kering, dan Sayuran
Hammer mill	Dampak	40–50	Gula, tapioka, sayuran kering, tulang diekstraksi, susu kering, rempah-rempah, lada
Ball mill	Dampak dan geser	-	Warna bahan,
Penghalus cokelat	Kompresi dan geser	-	Kompresi pabrik rol dan mencukur Tebu, gandum (rol bergalur

- b). Disain yang lebih baru dikendalikan dengan komputer dan dapat diprogram dengan mudah oleh operator, irisan massal dan susun berbagai produk termasuk keju, topping pizza, daging matang, mentimun dan tomat, lalu oleskan ke roti sandwich. Daging juga dipotong menggunakan pisau putar bundar dengan pisau di sudut kanan ke jalur daging. Alat pemotong keju menimbang dan mengukur setiap blok untuk menentukan jumlah maksimum porsi yang dapat dipotong dengan berat yang dibutuhkan dengan jumlah minimum limbah.

Buah-buahan yang lebih keras seperti apel secara bersamaan diiris dan dihilangkan karena dipaksa oleh pisau stasioner yang dipasang di dalam tabung. Dalam desain yang sama (*hydrocutter*) bahan dibawa oleh air dengan kecepatan tinggi di atas pisau tetap. Alat pengiris yang lebih canggih mampu memotong sayuran menjadi bentuk *tagliatelle* atau garland (karangan bunga). Pemotong guillotine intermiten digunakan untuk memotong produk permen, seperti akar manis. Pisau

bergerak maju dengan produk pada conveyor untuk memastikan ujung potong persegi terlepas dari kecepatan konveyor atau panjang potong. Ukuran potongan dapat disesuaikan dari panel kontrol, tanpa penyesuaian mekanis atau downtime. Peralatan flaking untuk ikan, kacang-kacangan atau daging serpihan mirip dengan mengiris peralatan. Penyesuaian tipe dan jarak blade digunakan untuk menghasilkan serpihan.

2.2.3. Peralatan Dicing

Untuk dicing, sayuran, buah-buahan dan daging terlebih dahulu diiris dan kemudian dipotong-potong dengan cara dirotasi pisau. Strip dimasukkan ke set kedua pisau berputar yang beroperasi pada sudut kanan ke set pertama dan potong strip menjadi kubus, Gambar 4.2 (b).

2.2.4. Peralatan Perobek

Tipikal peralatan adalah hammer mill yang dimodifikasi (lihat Gambar 4 (b) di mana pisau digunakan bukannya palu untuk menghasilkan aksi pemotongan. Jenis kedua shredder, dikenal sebagai disintegrator kotak kandang, memiliki dua kandang silinder konsentris di dalam casing. Mereka dilengkapi dengan bilah pisau sepanjang mereka dan dua kandang berputar ke arah yang berlawanan. Bahan mengalami gaya geser dan pemotongan yang kuat saat melewati di antara mereka.

2.2.5. Peralatan Bubur

Pembubur kertas menggunakan kombinasi kompresi dan gaya geser untuk mengekstraksi jus buah-buahan atau sayuran, untuk produksi minyak goreng dan untuk memproduksi pureed dan pulping daging. Misalnya crusher buah rotari terdiri dari saringan logam silindris yang dipasang secara internal dengan sikat atau dayung berputar berkecepatan tinggi.



Gambar 4.2. a) Alat pemotong dan b). alat potong dadu

Anggur, tomat atau buah-buahan lunak lainnya jika perlu dipanaskan untuk melunakkan jaringan, dan pulp dipaksa melalui perforasi layar oleh kuas. Ukuran perforasi menentukan kehalusan bubur kertas. Kulit, tangkai dan biji dibuang dari ujung layar. Jenis pulper lain, termasuk penekan rol dan sekrup pengepres, digunakan untuk ekspresi jus atau ekstraksi dingin minyak goreng. Mangguk perajang (Gambar 4.3) digunakan untuk memotong daging dan buah-buahan serta sayuran yang lebih keras menjadi bubur (misalnya untuk melestarikan sausage meat atau cincang daging). Mangguk horizontal yang berputar perlahan memindahkan bahan-bahan di bawah satu set pisau berputar berkecepatan tinggi. Bahan bisa lewat beberapa kali di bawah pisau sampai tingkat pengurangan dan pencampuran ukuran tercapai.

2.2.6. Pengurangan Ukuran Bahan Kering

Banyak mesin-mesin pabrik yang tersedia untuk jenis bahan tertentu. Pemilihan jenis umum dijelaskan dan ringkasan dari sifat mereka dan aplikasi ditunjukkan pada Tabel 2. Baru-baru ini, nibbler (penggigit) yang menggunakan kisi pada tindakan penggilingan, telah digunakan untuk menggantikan pabrik, dan diklaim mengurangi masalah kebisingan, peningkatan suhu dan debu. Dalam sebuah desain alternatif, pisau tajam disusun dalam silinder berdiameter 152 mm dan impeller yang beroperasi pada 2.000-12.000 rpm mendorong produk di atas pisau untuk memberikan pengecilan ukuran terkontrol untuk bubuk mikro-halus. Pada kecepatan ini, produk seperti beras masuk bilah dengan kecepatan lebih dari 90 ms⁻¹ dan dikurangi dengan cepat untuk tepung.

2.2.7. Pabrik Granular

Mesin granular memiliki silinder baja horizontal yang berputar perlahan, yang setengahnya diisi bola baja 2,5-15 cm. Pada kecepatan rendah atau ketika bola kecil digunakan, gaya geser menonjol. Dengan bola yang lebih besar atau pada kecepatan yang lebih tinggi, gaya tumbukan menjadi lebih besar dan nyata. Hal ini digunakan untuk menghasilkan bubuk halus, seperti pewarna bahan. Modifikasi dari ball mill bernama pabrik batang memiliki batang bukannya bola untuk mengatasi masalah yang terkait bola menempel di bahan perekat.

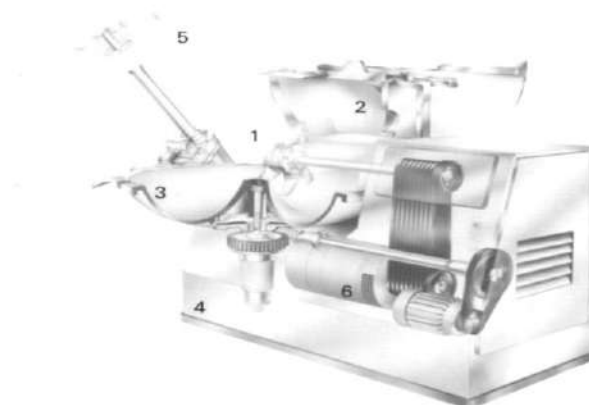
2.3. Mesin Proses

2.3.1 Disc Mill

Terdapat banyak desain disc mill, masing-masing menggunakan gaya geser untuk fine gerinda atau gaya geser dan dampak untuk gerinda kasar. Dengan cara ini diperoleh bahan menjadi halus. Sebagai contoh:

- pabrik cakram tunggal, bahan melewati celah yang disesuaikan dengan ukuran antara alat pen casing dan disc beralur, yang berputar dengan kecepatan tinggi.
- pabrik disk ganda yang memiliki dua disk yang berputar berlawanan arah untuk menghasilkan kekuatan geser yang lebih besar.

pin-and-disc mills yang memiliki pin intermeshing diperbaiki baik ke disk tunggal dan casing atau menggandakan disk (Gambar 4.4). Ini meningkatkan efektivitas penggilingan oleh menciptakan dampak tambahan dan kekuatan geser



Gambar 4.3. Chopper mangkuk: 1, pisau pemotong; 2, tutup; 3, mangkuk pemotong berputar; 4, casing; 5, berputar disk unloader; 6, motor utama.

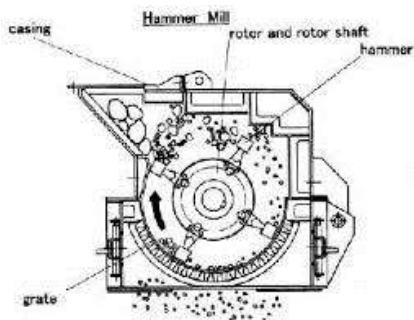


Gambar 4.4. Pin- Piring Cakram

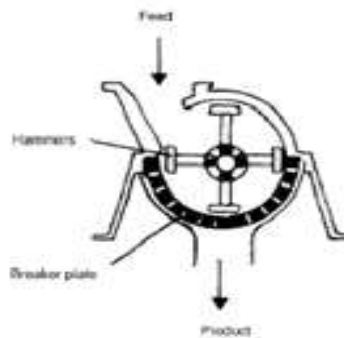
2.3.2. Hammer Mill

Alat Ini memiliki ruang silinder horizontal, dilapisi dengan pelat baja pemutus yang dikeraskan. Sebuah rotor berkecepatan tinggi di dalam ruang dilengkapi dengan palu ayun di sepanjang alat (Gambar 4.5). Bahan terdisintegrasi terutama oleh kekuatan tumbukan saat palu menggerakkannya terhadap plat pemutus. Hammer mill banyak digunakan untuk kristal dan bahan berserattermasuk rempah-rempah dan gula. Pabrik di atas dapat dioperasikan dalam tiga mode:

1. aliran bahan bebas melalui pabrik dalam sekali jalan.
2. pintu keluar dari pabrik dibatasi oleh layar dan sisa bahan di pabrik sampai partikel cukup kecil untuk melewati celah layar (di bawah ini kondisi 'tercekik', gaya geser memainkan peran yang lebih besar dalam pengurangan ukuran).



(a)



(b)

Gambar 4.5 . (a) Hammer Mill dan (b) Hammer Mill

2.3.3. Mesin Roller

Mesin rol banyak digunakan untuk menggiling gandum. Dua atau lebih rol baja berputar ke arah satu sama lain dan tarik partikel bahan melalui through nip '(ruang antara rol Gambar 4.6). Kekuatan utama adalah kompresi tetapi, jika rol diputar berbeda kecepatan, atau jika rol bergalur, 1 gaya geser tambahan diberikan pada bahan. Ukuran jarak roller disesuaikan untuk bahan yang berbeda ukuran dan kekerasan.

1.3.4. Mesin Giling

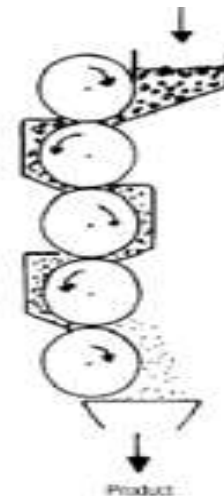
a. Mesin pembuat tepung

Hasil pertanian dari biji-bijian sebagian diolah menjadi tepung untuk menyesuaikan pada proses penggunaannya seperti 1). tepung beras, tepung terigu, tepung kedele, tepung ikan, tepung gandum dan tepung sagu, 2) bubuk minuman seperti kopi, teh, lada, kulit manis, jahe dan sebagainya. Mesin yang digunakan adalah a) hummer mill, b) double disc, c) screw, batu giling, d) pin-disc.

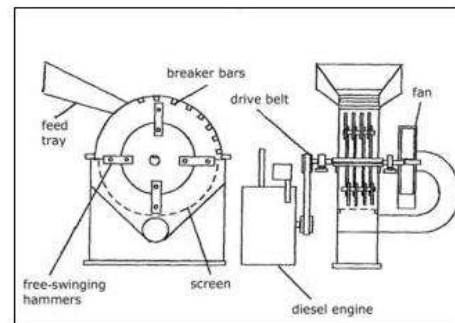
Pembuatan tepung umumnya terdiri dari commercial plant dan small plant dan small equipment. Alat gilingan kecil umumnya digunakan pada home industry, seperti pembuatan bumbu, dan untuk obat-obatan. Prinsip hammer mill ialah memukul bahan hingga ukuran lebih halus (Gambar 4.7), sedangkan piring gerinda bahan diplintir oleh plat yang berputar berlawanan arah, dan bahan pecah sesuai dengan kebutuhan (ukuran antara 2 piring merupakan ukuran diameter tepung atau bubuk yang dikehendaki (Gambar 4.8)



Gambar 4.6. Mesin Roller



Gambar 4.7. Hammer mill pembuatan tepung **Gambar 4.8.** Double disc grinding (Plat gerinda)



b. Mesin Gulung

Daun teh segar yang akan diolah menjadi teh hitam, setelah daun teh segar dilayukan hingga kadar air mencapai 40 %, kemudian dilanjutkan dengan proses penggulungan dengan tujuan untuk mempermudah proses fermentasi, karena dalam proses penggulungan terjadi pemecahan sel dan dalam proses fermentasi akan dihasilkan aroma teh yang dikehendaki. Jadi produksi mesin ini ialah daun yang koyak menjadi lembaran kecil kemudian digulung menjadi gulungan kecil dan pendek, yang dilanjutkan dengan proses fermentasi dan pengeringan dengan hasil bubuk teh hitam (Gambar 4.9). kebutuhan roller tergantung pada beberapa faktor antara lain. Type daun teh, derajat kelembaban udara, kapasitas roller dan kecepatan putar, tekanan, temperatur dan bentuk teh yang akan diproduksi. (Tankariwala.N.F, 1999). Penggilingan bersifat batch, sehingga masa penggulungan 20-30 menit untuk the ortodoks.

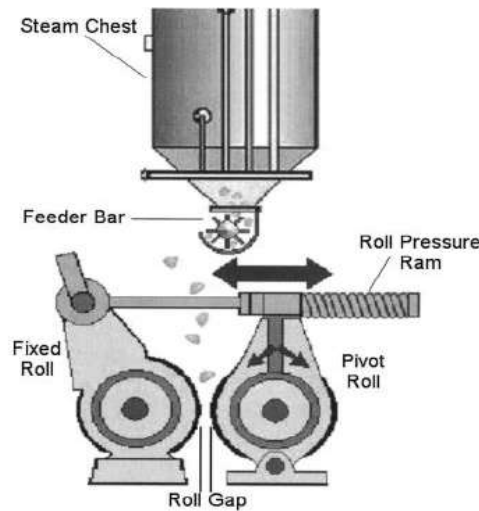


Gambar 4.9. a). Mesin Penggulung Teh, b). Daun Teh Gulung

c. Mesin Pembuat Flake

Granuler yang mengandung minyak biji bijian seperti kernel kelapa yang pemisahannya dengan solvent extraction, perlu dilakukan perlakuan pendahuluan yaitu perluasan permukaan dengan memecah bijibijian atau kernel menjadi ukuran yang lebih kecil, kemudian granuler tersebut digiling dengan roller dan menghasilkan flake (serpihan tipis). Ukuran flake yang diinginkan 0.2–1 mm sehingga ekstraksi pelarut seperti heksan akan lebih mudah merembes ke dalam lembaran dan melarutkan minyak yang terdapat dalam kantong minyak serta membawa keluar dalam bentuk tetesan oleh gravitasi. Alat ini umumnya digunakan pada proses ekstraksi minyak kedele, kernel sawit, jagung, bunga matahari, biji kapas, kacang dan sebagainya (Gambar 4.10).

Pembuatan produk flakes secara tradisional dilakukan dengan mengukus biji sereal yang sudah dihancurkan (kurang lebih sepertiga dari ukuran awal biji) pada kondisi bertekanan selama dua jam atau lebih lalu dipipihkan di antara dua rol baja. Setelah itu dikeringkan dan di panggang pada suhu tinggi (Tribelhorn, 1991). Menurut Khasanah (2004), tahap-tahap dalam pembuatan flakes yaitu pencampuran bahan baku dan bahan pelengkap (termasuk air), pelleting, pengepresan dengan rol (flaking), dan pengovenan. Jumlah air yang ditambahkan pada pembuatan flakes dalam penelitiannya berkisar 30% total adonan serta ditambahkan tepung tapioka karena memiliki kontribusi dalam menciptakan tekstur flakes yang renyah, kecerahan warna produk, serta memiliki daya rekat. Ketebalan flakes yang dihasilkan berkisar 0,8 mm dengan panjang sisi sebesar kurang lebih 0,9 cm. Proses utama dalam pembuatan flakes adalah pemanasan yang menyebabkan pati dalam bahan baku tergelatinasi sehingga mudah dicerna dan mudah dikembangkan menjadi tekstur yang diinginkan. Proses gelatinasi akan dipengaruhi oleh rasio air dan pati yang terdapat dalam tepung. Jika suspensi air yang cukup maka gelatinasi akan terjadi secara sempurna (Muchtadi dkk., 1988)

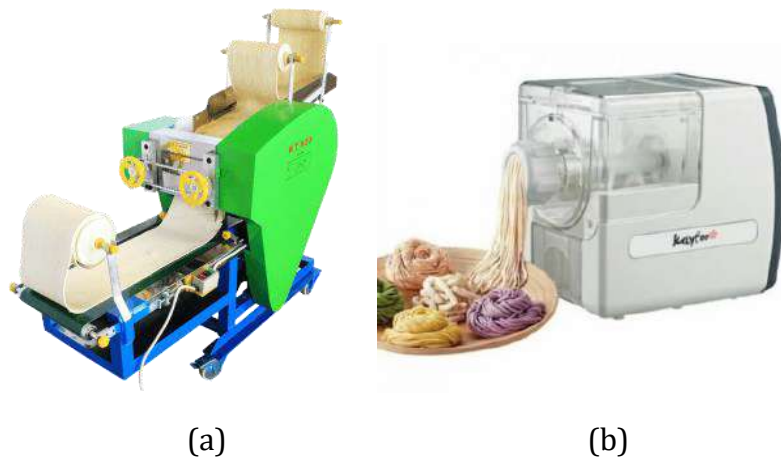


Gambar 4.10. Mesin Flaker (pembuatan lembaran tipis)

d. Mesin Pembuat Mie

Tepung yang akan dibuat menjadi mie sebelumnya digumpalkan dengan air (tepung yang digunakan harus berukuran sama dan tidak boleh mengandung pasir atau kontaminan lainnya) yang sesuai dengan permintaan, dengan diameter 1-5 mm dan panjang tergantung pada jenis mie yang dihasilkan. Bahan gumpalan dilewatkan dengan roller berjalan dan dihubungkan dengan pembentuk lembaran atau keriting. Tapi ada juga mesin diciptakan dengan sistem tabung, yaitu umpan dilewatkan pada tabung yang memiliki perforasi dengan ukuran lobang 1-5 mm tergantung dari rancangan produksi, dan dihubungkan dengan tabung screwconveyor untuk menekan padatan keluar dari lobang tersebut (Gambar 4.11)

- 1) Bahan-bahan didasarkan pada formula didasarkan pada total tepung (terigu dan tepung sagu) dicampur rata dalam wadah /baskom) sedangkan garam dan kansui (bahan rendaman) dilarutkan dalam air.
- 2) Buat lekukan (sumur) ditengah-tengah tepung dalam wadah dan isi dengan telur, air dan bahan cair lainnya.
- 3) Campur semua bahan secara perlahan-lahan dengan tangan atau sendok sampai semua bahan tercampur sempurna dan terbentuk adonan.
- 4) Adonan dikeluarkan dari baskom /wadah lalu “diadoni” atau “diuleni” dengan tangan sampai terbentuk adonan yang sempurna.
- 5) Pengadonan dapat dilakukan dengan menekan-nekan adonan di atas meja menggunakan kayu. Adonan dibulatkan, ditutup plastik dan didiamkan ± 30 menit, lalu diadoni lagi ± 5 menit. Adonan dipotong-potong atau dibagi – bagi menjadi ± 100 gram, dibentuk bulat dan dipipihkan dengan roll kayu sampai ketebalan $\pm 1,5$ cm. dengan tujuan agar bahan lebih homogen dan akan lebih mudah dimasukkan dalam mesin.



Gambar 4.11. Mesin pembuat mie a) dengan cara roller dan b) pengumpanan melalui screw conveyor

- 6). Lembaran adonan ditipiskan dengan markatto (alat pembuat mi) di mulai dari ketebalan No. 1 sampai No. 4. 8) Lembaran adonan dipotong dengan markatto atau alat lainnya membentuk tali-tali mi. Sampai tahap ini, mi yang dihasilkan adalah mi mentah (raw/fresh noodle) yang siap diolah menjadi bermacam-macam masakan yang diinginkan.
- 7). Untuk mendapatkan mi basah (boiled/wet noodle), mi mentah direbus dalam air mendidih sambil diaduk perlahan-lahan selama sekitar 3 menit. Mi diangkat dan didinginkan dengan cara mencuci di bawah air mengalir sampai air cucian jernih, lalu diolesi minyak goreng supaya tali-tali mi tidak lengket. 8) Untuk mendapatkan mi kering, mi mentah dikeringkan dengan cara penjemuran atau diangin-anginkan atau juga dikeringkan dalam oven pada suhu $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Beberapa hal yang harus diperhatikan untuk meningkatkan kualitas mie a) Sebelum digiling, diamkan adonan selama 15 menit agar adonan tidak mudah putus (kenyal) Masukkan hasil mie yang telah digiling ke dalam plastik, agar warna tidak cepat berubah. Dalam perebusan sebaiknya menggunakan air bersih, dengan pH (tingkat keasaman) 6-7.

Jenis tepung yang cocok untuk membuat mie dan ciri-ciri mie yang baik:

- a) Tepung terigu yang bisa digunakan adalah dari jenis tepung terigu medium sampai dengan jenis tepung yang hard. Tepung terigu medium adalah tepung terigu yang kandungan proteinnya 10- 11 %, dan tepung terigu yang hard kandungan proteinnya 12 – 13 %. Membuat mie dengan tepung terigu jenis protein sedang, proses pengadukan dan rolling-nya tidak selama dan sebanyak yang diperlukan jika menggunakan tepung terigu protein tinggi.
- b) Ciri mie yang baik adalah kenyal, warna mie rata, tidak mudah lembek bila di rebus dan rasa mie yang lembut.

Cara-cara terbaik untuk mengawetkan mie, antara lain dikukus, dikukus saja lalu digoreng, dijemur, dikukus lalu dijemur. Tips membuat mie supaya kenyal dan enak : Mie harus dibuat dengan menggunakan tepung terigu bergluten tinggi dengan

- Tingkat protein lebih dari 12 % sehingga mie yang dihasilkan elastis dan tidak gampang putus.
- Selain tepung terigu bergluten tinggi, juga diperlukan tambahan air, garam serta air carbonat terbuat dari air abu tetapi beraroma khas dan membuat mie tidak gampang putus. elastis.
- Telur juga dapat ditambahkan ke dalam adonan mie sehingga citarasa mie menjadi lebih gurih dan warnanya menjadi lebih kuning.

e. Pelletizer Ekstrusi

Tepung yang berbentuk meal (ampas press), umumnya memiliki densitas yang rendah sehingga dalam transportasi membutuhkan wadah yang lebih besar, menimbulkan ongkos angkut dan biaya kemasan yang lebih tinggi, seperti halnya meal palm kernel, meal soybean dan meal coconut/kopra. Untuk itu perlu dirubah bentuk dari tepung menjadi pellet. Tidak semua tepung dapat dibuat menjadi pellet, karena memerlukan perekat. Hasil pertanian seperti yang disebut di atas dapat dibuat jadi pellet mempunyai peluang menjadi pellet, karena mengandung protein yang merupakan bahan perekat, gelatine dan starch. Bahan tersebut jika diberi panas maka daya rekatnya makin tinggi, dalam prosdes pembuatannya diberikan steam (Gambar4.12).

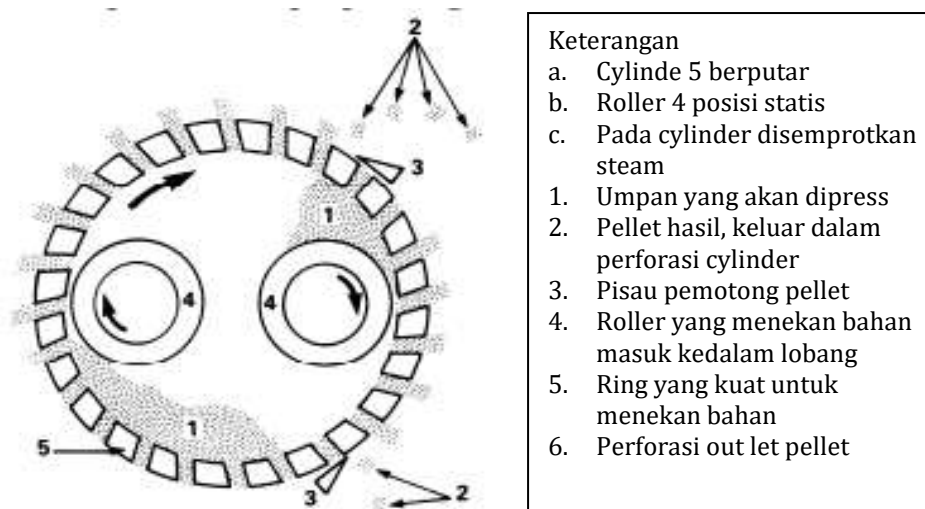
Energi mekanik yang diperlukan untuk menghasilkan pelet yaitu akibat tekanan dari dalam melalui lobang sehingga terjadi pepadatan bahan dan membentuk pellet. Pellet yang keluar dengan ukuran panjang tertentu diatur dan dipotong dengan blade (pisau). Ada beberapa faktor bawaan yang dapat memengaruhi gesekan:

1. Penambahan kelembaban pada bahan pakan. Jumlah kelembaban (Uap dan/atau molase basah dan/atau air) yang ditambahkan harus berhenti ketika gesekan dataran tinggi. Kelembaban yang ditambahkan di luar titik ini (Gambar 13) akan menyebabkan pelet hancur dan tidak bertambah produksi atau kualitas.
2. Pengkondisian.
3. Ukuran layar dari bahan pakan.
4. Sifat fisik dari bahan pakan, seperti mineral, bahan larut air, konten serat.
5. Faktor lain yang terkait dengan gesekan adalah ukuran die (lobang) dalam hal diameter dan ketebalan lubang. Tinggi gesekan (lebih dari 30 °F) menghasilkan pengurangan die dan umur roller, serta peningkatan bearing dan gear pemeliharaan. Kerugian adalah akibat dari kelembaban dan gesekan tinggi atau pakan yang terlalu besar partikel bahan atau pengkondisian yang buruk.

Produk sereal yang diperluas juga dapat diproduksi dengan proses dua langkah. Langkah pertama adalah pemasakan ekstrusi suhu rendah dengan kelembaban tinggi dan pembentukan partikel, tanpa pengembunan. Partikel-partikel ini dikenal sebagai pelet. Pada tahap selanjutnya, dan seringkali di lokasi yang berbeda, pelet mengembang dengan cara dipanaskan atau digoreng. Pelet adalah partikel tidak berpori dari bahan tepung pra-gelatin (dimasak), memiliki bentuk tertentu, dibuat dengan pemasakan ekstrusi dari campuran tepung lembab. Fungsi utama dari ekstrusi pemasakan dalam hal ini adalah untuk membuat agar-agar pati dan, khususnya, amilosa pecahan. Puffing dihindari dengan melepaskan tekanan dan pendinginan sebelum keluar dari die. Bentuk dan ukuran pelet ditentukan oleh die dan operasi pemotongan. Setelah ekstrusi, pelet distabilkan dengan pengeringan ke kadar air yang menjamin pengawetan jangka panjang tetapi meninggalkan kelembaban yang cukup untuk membuat pelet menjadi plastis dan mengembang ketika terkena suhu yang sangat tinggi.

Mekanisme kembung pelet sangat mirip dengan jagung popping. Keuntungan dari proses dua langkah adalah:

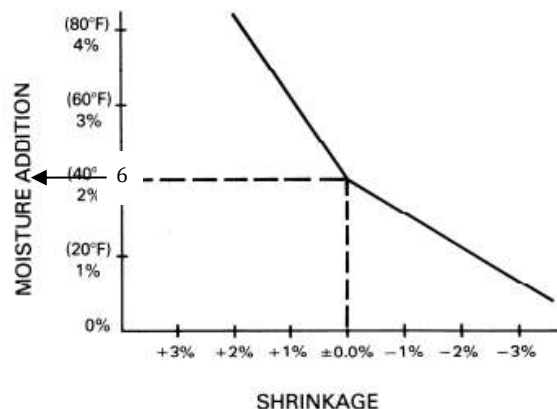
- Kemampuan untuk menyimpan produk kepadatan menengah tinggi (volume penyimpanan rendah), rak stabil sampai dibutuhkan untuk puffing
- Pemisahan antara pabrik ekstrusi berkapasitas tinggi dan fasilitas produksi akhir di mana pelet dipanaskan secara termal, dipanggang, digoreng, dibumbui, dan dikemas, sesuai dengan permintaan pasar



Gambar 4.12. Pelletizer

Catatan: Pengekstrusi memasak sekrup tunggal sangat cocok untuk produksi makanan ringan kembang, sereal sarapan siap saji, dan pelet, karena kadar air massa yang rendah. Namun demikian, ekstruder twin-screw sering lebih disukai karena tinggi kapasitas produksi. Produk tepung dan sereal lainnya yang diekstrusi. Struktur seperti roti dapat diproduksi dengan memasak ekstrusi adonan sereal. Meskipun bentuk roti irisan dapat diperoleh dengan menggunakan cetakan besar, karakteristik organoleptik dari produk tersebut terlalu berbeda dari roti ragi konvensional yang dipanggang dalam oven untuk dapat diterima secara komersial. Sebaliknya, roti pipih (produk yang mirip dengan roti garing atau knäckebröt), stik roti dan crouton (kue kering dari bahasa Togalog) sekarang diproduksi secara komersial dengan ekstrusi. Sementara ekstrusi menyediakan pemasakan, pemuai, pemanggangan dan pengovenan berikutnya masih diperlukan untuk produksi kerak yang renyah. Penjelasan rinci tentang proses industri untuk flatbread produksi oleh ekstrusi diberikan oleh Meuser dan Wiedmann (1989).

Kerugian ini pada dasarnya disebabkan kurangnya penambahan kelembaban dan gesekan tinggi (lihat Gambar 4.13). Tingkat gesekan yang tinggi karena kurang penambahan kelembaban menghasilkan lebih tinggi suhu pelet memasuki bagian pendingin; dan dengan demikian, lebih banyak kelembaban yang memudar.



Gambar 4.13. Grafik Hubungan Kelembaban dengan Penyusutan

2.4 Efek Ketahanan Daya Simpan

Pengurangan ukuran digunakan dalam pemrosesan untuk mengontrol sifat tekstur atau reologi dari bahan dan untuk meningkatkan efisiensi pencampuran dan perpindahan panas. Teksturnya banyak bahan (misalnya roti, hamburger dan jus) dikendalikan oleh kondisi yang digunakan selama pengurangan ukuran bahan. Ada juga efek tidak langsung pada aroma dan rasa beberapa bahan. Perlu melindungi tetesan air akibat kerusakan tidak disengaja dari logam atau batu. Gangguan sel mengakibatkan peningkatan luas permukaan akan mempromosikan kerusakan oksidatif dan tingkat mikrobiologis dan enzim yang lebih tinggi aktivitas. Oleh sebab itu pengurangan ukuran memiliki sedikit atau tidak ada efek pengawet. Bahan kering (untuk misalnya biji-bijian atau kacang-kacangan) memiliki *aw* (*water activity*) yang cukup rendah untuk memungkinkan penyimpanan beberapa bulan setelah penggilingan tanpa perubahan substansial dalam hal nilai gizi atau kualitas bahan. Namun, bahan dengan kelembaban memburuk perlu dilakukan tindakan pengawet cepat lainnya (untuk contohnya pendinginan, pembekuan dan pemrosesan panas) tidak dilakukan.

2.5 Karakteristik Sensorik

Ada perubahan kecil tapi sebagian besar tidak dilaporkan seperti warna, rasa dan aroma kering bahan selama pengurangan ukuran. Oksidasi karoten memutihkan tepung dan mengurangi nilai gizi. Ada kerugian konstituen yang mudah menguap dari rempah-rempah dan beberapa kacang-kacangan, yang dipercepat jika suhu dibiarkan naik selama penggilingan. Dalam bahan lembab itu gangguan sel memungkinkan enzim dan substrat menjadi lebih aktif, yang menyebabkan percepatan rasa, aroma dan warna. Selain itu pelepasan bahan seluler menyediakan substrat yang cocok untuk pertumbuhan mikrobiologis dan ini juga dapat menyebabkan pengembangan rasa dan aroma tidak sedap. Tekstur bahan secara substansial diubah oleh pengurangan ukuran, baik oleh fisik pengurangan ukuran jaringan dan juga oleh pelepasan enzim hidrolitik. Tipe dan durasi pengurangan ukuran dan penundaan sebelum operasi pengawetan berikutnya dikontrol secara ketat untuk mencapai tekstur yang diinginkan.

2.6. Nilai gizi

Peningkatan luas permukaan bahan selama pengurangan ukuran menyebabkan hilangnya nilai gizi karena oksidasi asam lemak dan karoten. Kehilangan vitamin C dan thiamin buah dan sayuran yang diiris sangat besar (misalnya pengurangan 78% vitamin C selama mengiris mentimun) (Erdman dan Erdman, 1982). Kerugian selama penyimpanan tergantung pada suhu dan kadar air bahan dan konsentrasi oksigen pada penyimpanan. Dalam bahan kering, kerugian utama dari nilai gizi adalah akibat pemisahan komponen produk setelah pengurangan ukuran (misalnya pemisahan dedak dari beras, gandum atau jagung pada Tabel (3)).

3. Emulsifikasi dan Homogenisasi

Istilah pengemulsi dan homogeniser secara bergantian untuk peralatan digunakan untuk menghasilkan emulsi: emulsifikasi adalah pembentukan emulsi yang stabil oleh pencampuran intim dari dua atau lebih cairan tidak larut, sehingga satu (fase terdispersi) adalah dibentuk menjadi tetesan yang sangat kecil dalam fase kedua (fase kontinu). Homogenisasi adalah pengurangan ukuran (menjadi 0,5-30 m), dan karenanya peningkatan dalam jumlah, padat atau partikel cair dalam fase terdispersi dengan penerapan gaya geser yang kuat. Homogenisasi adalah operasi yang lebih sulit daripada emulsifikasi. Kedua operasi digunakan untuk mengubah sifat fungsional atau bahan kualitas bahan dan memiliki sedikit atau tidak berpengaruh pada nilai gizi atau umur simpan. Contoh produk emulsi termasuk margarin dan rendah lemak, salad krim dan mayones, sosis, es krim dan kue.

3.1. Teori Emulsifikasi

Bentuk emulsi dikenal adalah merupakan pencampuran zat cair dan zat cair yaitu :1) minyak dalam air (o/w) (misalnya susu) dan 2) air dalam minyak (misalnya margarin). Emulsi tersebut di atas adalah sistem yang relatif sederhana dan emulsi yang lebih kompleks ditemukan di dalamnya produk-produk seperti es krim, sosis dan kue.

Stabilitas emulsi ditentukan oleh:

- jenis dan jumlah agen pengemulsi
- ukuran gumpalan dalam fase terdispersi
- gaya antarmuka yang bekerja pada permukaan gumpalan
- viskositas fase kontinu
- perbedaan antara kepadatan fase tersebar dan kontinu.

Tindakan homogeniser mengurangi ukuran tetesan dalam fase terdispersi dan agen pengemulsi yang ada di, atau ditambahkan ke, bahan membentuk misella di sekitar masing-masing titis kecil. Ini mengurangi ketegangan antarmuka antara fase dan mencegah tetesan dari penggabungan (semakin tinggi ketegangan antarmuka antara kontinu dan tersebar fase, semakin sulit untuk membentuk dan mempertahankan emulsi yang stabil). Pengemulsi agen untuk menurunkan kebutuhan energi yang diperlukan pada pembentukan emulsi. Protein dan fosfolipid yang terjadi secara alami bertindak sebagai agen pengemulsi, dan memproses bahan sintetis (termasuk ester gliserol atau ester sorbitan dari asam lemak) lebih efektif dan ini biasanya digunakan. Zat pengemulsi sintetis adalah diklasifikasikan menjadi tipe polar dan non-polar. Yang mengandung sebagian besar kelompok kutub terikat air dan karenanya menghasilkan emulsi oil/water (o/w). Agen non-polar diadsorpsi dengan minyak menghasilkan tanpa emulsi. Mereka dicirikan oleh keseimbangan hidrofil-lipofilnya (Hidrofil lipofil balance, HLB) nilai (Tabel 4). Agen dengan nilai HLB rendah (di bawah 9) bersifat lipofilik dan digunakan untuk tanpa emulsi; tetapi yang memiliki nilai HLB antara 8 dan 11 digunakan sebagai agen pembasah; dan yang memiliki nilai tinggi (11 hingga 20) bersifat hidrofilik dan digunakan untuk o/w emulsi, deterjen dan pelarut (Lewis, 1990). Zat pengemulsi polar juga diklasifikasikan menjadi tipe ionik dan non-ionik. Jenis ionik memiliki aktivitas permukaan yang berbeda kisaran pH, karena perbedaan perilaku disosiasi. Aktivitas nonionikpengemulsi tidak tergantung pada pH. Pemilihan cermat jenis agen pengemulsi. Oleh karena itu diperlukan untuk membuat emulsi yang diperlukan dalam sistem pangan yang diberikan. Detailnya adalahdiberikan dalam Lissant (1984).

Stabilisator adalah hidrokoloid-hidrokoloid polisakarida yang larut dalam air membentuk larutan atau gel yang kental. Dalam emulsi o/w, hal ini meningkatkan viskositas dan membentuk jaringan tiga dimensi yang menstabilkan emulsi dan mencegah penggabungan partikel kecil menjadi partikel besar (*koalesensi*). Selulosa mikrokristalin dan bubuk selulosa terkait dapat menstabilkan tanpa oksidasi emulsi. Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas emulsi terkait oleh Hukum Stoke:

$$V = \frac{d^2 g (\rho_p - \rho_s)}{18\mu} \dots\dots\dots(4)$$

di mana v (ms^{-1}) kecepatan terminal (mis. kecepatan pemisahan fase), d (m) diameter tetesan dalam fase terdispersi, percepatan g karena gravitasi $9,81 \text{ ms}^{-2}$, kerapatan fase terdispersi p (kg m^{-3}), kerapatan fase kontinu s (kg m^{-3}), dan (N sm^{-2}) viskositas fase kontinu.

Persamaan menunjukkan bahwa emulsi stabil terbentuk ketika ukuran tetesan kecil (dalam praktiknya antara $1 \text{ m}\mu$ dan $10 \text{ m}\mu$), kepadatan kedua fase tersebut nyata dan viskositas fase kontinu tinggi. Perubahan fisik pada tetesan, dan persamaan yang menghubungkan distorsi tetesan ke laju geser, dijelaskan oleh Loncin dan Merson (1979).

3.2. Jenis Peralatan

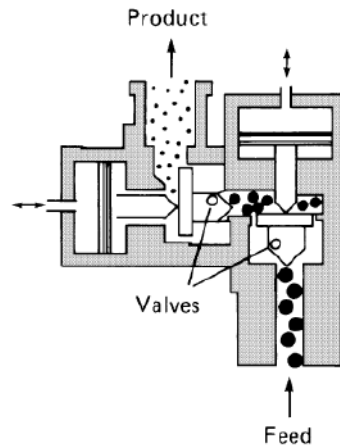
Pencampur berkecepatan tinggi menggunakan turbin atau baling-baling untuk pra-pencampuran emulsi cairan dengan viskositas rendah. Alat ini beroperasi dengan aksi geser pada bahan diujung dan ujung bilah.

1) Homogeniser Bertekanan

Homogeniser bertekanan terdiri dari pompa bertekanan tinggi, yang beroperasi pada 10.000-70.000 Pa, yang dilengkapi dengan katup homogen pada sisi pelepasan (Gambar 4.14). Ketika cairan dipompa melalui celah kecil yang bisa diatur (hingga $300 \text{ m}\mu$) antara katup dan kursi katup, tekanan tinggi menghasilkan kecepatan cairan tinggi ($80\text{-}150 \text{ ms}^{-1}$), kemudian penurunan kecepatan yang hampir seketika saat cairan keluar dari katup. Ini kondisi ekstrim turbulensi menghasilkan gaya geser yang kuat dan tetesan di fase terdispersi menjadi terganggu. Runtuhnya gelembung udara (disebut kavitasi = kondisi perubahan dari fase cair menjadi fase gas) dan gaya tumbukan dibuat di beberapa katup dengan menempatkan permukaan yang keras (cincin pemutus) di jalur dari cairan, semakin mengurangi ukuran bola. Pada beberapa bahan, misalnya produk susu mungkin distribusi zat pengemulsi yang tidak memadai atas permukaan yang baru terbentuk, yang menyebabkan lemak menggumpal bersama.

Tabel 4.3. Agen pengemulsi terpilih yang digunakan dalam pengolahan bahan

Pengemulsi	Nilai HLB	Fungsi dan aplikasi tipikal
<i>Ionik</i>		
Fosfolipid (mis. Lesitin)	18 -20	Pelunakan remah (barang yang dipanggang)
Garam kalium atau natrium oleat acid		Bantuan untuk ekstrusi dan pengurangan kekakuan (pasta, bahan ringan, permen karet)
Protein (mis. Gelatin, albumin telur)		Peningkatan cambuk dan aerasi (instan kentang, krim beku dan topping)
Sodium stearyl-2-laktilat		Dispersion (pemutih kopi)
<i>Non-ionik</i>		
Gliserol monostearat	2.8	Anti-staling, pelunakan remah (kebanyakan dipanggang Produk)
Poligliserol Ester		Modifikasi kristal lemak (selai kacang, pelapis)
Asam lemak polioksietilen sorbitol	14.9	Retardasi Bloom (cokelat, pelapis)
Ester asam lemak propilen glikol	3.4	Kontrol overrun (es krim)
Ester sorbitol dari asam lemak	4.7	Hidrokoloid
<i>Hydrocolloids</i>		
Alginat		
Karboksimetil selulosa		
Karaginan		
Guar		
Gum arab		
Kacang belalang		
Metil selulosa	10.5	
Pektin		
Tragacanth	11.9	
Xanthan		



Gambar 4.14. Katup homogenising tekanan dua tahap hidraulik.

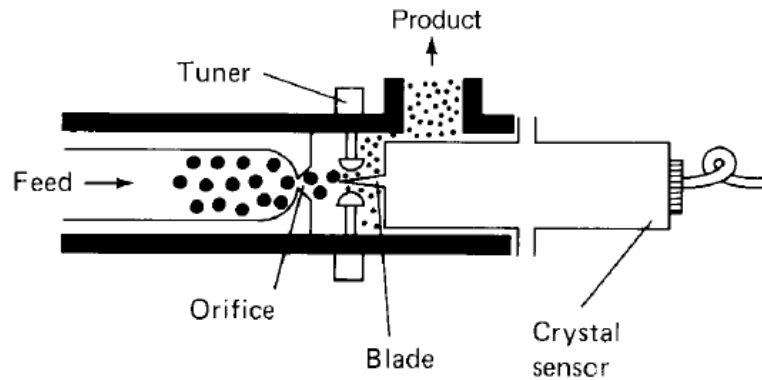
Katup serupa kedua kemudian digunakan untuk memecah kelompok gumpalan. Homogeniser bertekanan banyak digunakan sebelum pasteurisasi dan sterilisasi susu pada suhu sangat tinggi, dalam produksi krim salad, es krim dan beberapa sup dan saus.

2) **Kolloid Mill**

Mesin pembentuk koloid pada dasarnya adalah alat disk dengan jarak bebas kecil (0,05-1,3 mm) antaradisk stasioner dan disk vertikal berputar pada 3000-15.000 rpm. Mereka menciptakan geser tinggi kekuatan dan lebih efektif daripada homogeniser tekanan untuk cairan viskositas tinggi. Dengan cairan viskositas menengah mereka cenderung menghasilkan ukuran tetesan yang lebih besar daripada hasil tekanan homogeniser. Banyak desain cakram, termasuk datar, bergelombang dan berbentuk kerucut bentuk, tersedia untuk berbagai aplikasi. Modifikasi desain ini termasuk penggunaan dua disc counter-rotating atau intermeshing pin pada permukaan disc yang meningkatkan aksi geser. Untuk bahan yang sangat kental (misalnya selai kacang, daging, atau pasta ikan) disk dapat dipasang secara horizontal seperti pada pabrik pasta. Lebih besar gesekan yang diciptakan dalam bahan kental mengharuskan pabrik-pabrik ini melakukan pendinginan dengan sirkulasi ulang air.

3) **Homogenisasi Ultrasonik**

Homogeniser ultrasonik menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi (18-30 kHz) untuk menyebabkan alternatif siklus kompresi dan ketegangan dalam cairan dengan viskositas rendah dan kavitasi gelembung udara, untuk membentuk emulsi dengan ukuran tetesan 1-2 μ m. Dua fase emulsi yang dipompa melalui homogeniser pada tekanan 340-1400 103 Pa. Ultrasonik energi dihasilkan oleh bilah logam yang bergetar (Gambar 4.15). Frekuensi getaran dikontrol dengan menyesuaikan posisi penjepit blade. Jenis homogeniser ini adalah digunakan untuk produksi krim salad, es krim, krim sintetis, bahan bayi dan emulsi minyak esensial. Ini juga digunakan untuk mendispersikan bubuk dalam cairan.



Gambar 4.15. Ultrasonik Homogeniser

4) Homogeniser dan mikrofluida hidroshear

Homogeniser hydroshear adalah ruang berbentuk kerucut ganda yang memiliki tangensial umpan pipa di tengah dan outlet pipa di ujung setiap kerucut. Cairan umpan memasuki ruang pada kecepatan tinggi dan dibuat berputar dalam lingkaran yang semakin kecil dan meningkatkan kecepatan hingga mencapai pusat dan habis. Perbedaan dalam kecepatan antara lapisan cairan yang berdekatan menyebabkan gaya geser yang tinggi, yang bersama-sama dengan kavitasi (pembentukan gelembung) dan getaran frekuensi sangat tinggi, hancurkan tetesan-tetesan pada fase terdispersi Gambar 8 dalam jarak 2-8 m. Jenis peralatan yang serupa, disebut microfluidiser beroperasi dengan memompa cairan ke dalam ruang dan menyebabkan geser dan turbulensi ketika mereka berinteraksi dan memproduksi tetesan dengan diameter kurang dari 1 μ m, dalam kisaran ukuran yang sempit.

3.3. Efek Pada Bahan

3.3.1. Viskositas atau Tekstur

Dalam banyak bahan cair dan semi-cair, rasa mulut yang diinginkan tercapai jika pemilihan jenis zat pengemulsi dan stabilisator dengan hati-hati serta kontrol atas kondisi homogenisasi. Dalam susu, homogenisasi mengurangi ukuran rata-rata lemak gumpalan dari 4 μ m hingga kurang dari 1 μ m, sehingga memberikan susu tekstur lebih kental. Itu peningkatan viskositas disebabkan oleh jumlah globula yang lebih tinggi dan adsorpsi kasein permukaan gumpalan. Perubahan-perubahan ini dibahas secara rinci oleh Harper (1979).

Dalam emulsi bahan padat, tekstur ditentukan oleh komposisi bahan, yaitu kondisi homogenisasi dan operasi pasca-pemrosesan seperti pemanasan atau pembekuan. Emulsi daging (misalnya sosis dan pate ') adalah emulsi o/w dimana fase kontinu adalah sistem koloid kompleks gelatin, protein, mineral dan vitamin, dan fase yang terdispersi merupakan gumpalan lemak. Stabilitas fase kontinu adalah sebagian ditentukan oleh kapasitas penampung air (*Water Holding Capacity*, WHC) dan kapasitas penahan lemak (*Fat Holding Capacity*) protein daging. Faktor-faktor yang mempengaruhi WHC dan FHC dijelaskan oleh Laurie(1985). Kualitas emulsi dipengaruhi oleh:

- rasio bahan pencampur : es: air: lemak
- penggunaan polifosfat untuk mengikat air
- waktu, suhu, dan kecepatan homogenisasi.

Emulsi diatur oleh panas selama pemasakan berikutnya. Krim adalah emulsi o/w yang secara mekanis diaduk (diaduk) untuk menyebabkan sebagian pemecahan emulsi saat dibuat menjadi mentega. Selama tahap ini, udara dimasukkan untuk menghasilkan busa. Lemak cair dilepaskan dari butiran di permukaan gelembung udara, dan ini mengikat gumpalan lemak padat untuk membentuk 'butiran' mentega. Ini kemudian dicampur dengan kecepatan rendah (bekerja) untuk menyebarkan air sebagai tetesan halus di seluruh massa dan untuk memecahkan gumpalan lemak yang tersisa dari krim. Meskipun mentega dianggap sebagai emulsi w/o, inversi lengkap dari

emulsi krim w/w tidak terjadi. Produk akhir memiliki fase berkelanjutan dari 85% lemak yang mengandung butiran dan kristal dari lemak padat dan gelembung udara. Fase terdispersi (15%) terdiri dari tetesan air dan buttermilk. Stabilitas mentega sebagian besar karena sifatnya semi-padat yang mencegah migrasi bakteri yang terperangkap dalam tetesan air, dan bukan karena aksi agen pengemulsi.

3.3.2. Sebaran Margarin Dengan Rendah Lemak

Emulsi dihasilkan dari campuran minyak, yang dipanaskan dengan larutan susu skim, garam, vitamin tambahan dan agen pengemulsi. Campuran hangat diemulsi dan kemudian didinginkan dan dipertahankan konsistensi yang diinginkan dalam operasi berkelanjutan, menggunakan chiller tubular tekanan tinggi. Lemak mengkristal saat dingin, untuk membentuk jaringan tiga dimensi yang panjangnya tipis jarum, yang menghasilkan tekstur halus yang diinginkan. Lemak adalah polimorfik dan itu adalah form yang diperlukan; bentuk-lebih besar dan menyebabkan tekstur kasar dan bentuk dengan cepat mengalami transisi ke bentuk. Kandungan lemak margarin mirip dengan mentega, sedangkan sebaran rendah lemak memiliki sekitar 40% lemak. Dipilih minyak yang memiliki titik leleh rendah dari produk-produk lemak sehingga dapat disebarkan pada suhu pendinginan. Rincian diberikan oleh Lane (1992). Dalam es krim dan kue batter, emulsi dibentuk sebagai cairan, dan tekstur produk akhir sebagian ditentukan oleh unit operasi pembekuan dan pemanasan selanjutnya. Es krim adalah emulsi o/w kental yang memiliki fase kontinu kompleks kristal es, padatan susu koloid, gula terlarut, perasa, pewarna dan zat penstabil, dan busa udara padat. Fase yang terdispersi adalah lemak susu. Udara dimasukkan ke dalam emulsi selama pembekuan untuk membuat busa yang memiliki sel udara berdiameter 100. Ini meningkatkan kelembutan dan kecerahan produk dan membuatnya mudah diambil. Dalam hal ini jumlah udara diukur sebagai over run. Es komersial krim memiliki kelebihan sebanyak 60-100%. Membekukan sebagian akan membuat emulsi tidak stabil untuk menghasilkan tingkat penggumpalan lemakgumpalan, yang meningkatkan tekstur. Krim es komersial biasanya lebih lembut tekstur daripada produk buatan tangan, karena pembekuan lebih cepat, yang menghasilkan lebih kecil (40–50) kristal es, menggabung, dan pengemulsi (mis. Ester mono dan digliserida) dan zat penstabil (mis. alginat, karaginan, gusi atau gelatin), yang menyebabkan sebagian besar fase berair tetap tidak beku. Ini mencegah kristalisasi laktosa dan mengurangi graininess. Akibatnya, lebih sedikit panas yang diperlukan untuk melelehkannya es krim dan karena itu tidak terasa terlalu dingin saat dimakan. Rincian es krim produksi diberikan oleh Jaspersen (1989) dan Andreasen dan Nielsen (1992). Cake batters juga memiliki emulsi yang sama, di mana fase kontinu adalah koloid pati, larutan gula dan rasa, dan busa yang dihasilkan selama pencampuran. Fase terdispersi ditambahkan lemak atau minyak.

3.3.3. Warna, Aroma, Nilai Gizi, dan Umur Simpan

Homogenisasi berpengaruh pada warna beberapa bahan (misalnya susu) karena semakin banyak gumpalan menyebabkan pantulan yang lebih besar dan hamburan cahaya. Rasa dan aroma ditingkatkan di banyak bahan emulsi karena komponen yang mudah menguap tersebar di seluruh bahan dan karenanya memiliki kontak yang lebih besar dengan selera saat dimakan. Nilai gizi bahan emulsi (Tabel 4.4) diubah jika komponen dipisahkan (misalnya dalam pembuatan mentega), dan ada peningkatan pencernaan lemak dan protein karena pengurangan ukuran partikel.

Tabel 4.4. Pengaruh emulsifikasi pada nilai gizi

Nutrien (per 100 g bahan)	Jumlah	
	Krim (dobel)	Mentega (asin)
Air (g)	48	15.4
Protein (g)	1,5	0,4
Lemak (g)	48	82
Karbohidrat (g)	2.0	0
Energi (kJ)	1850	3040
Vitamin A (g)	430	730
Vitamin D (g)	0,28	0,50
Thiamin (g)	20	0

Nilai gizi dari bahan lain ditentukan oleh formulasi yang digunakan dan tidak secara langsung dipengaruhi oleh emulsifikasi atau homogenisasi. Namun, unit operasi tambahan (misalnya pendinginan, pembekuan dan memanggang), yang diperlukan untuk memperpanjang umur simpan, dapat menyebabkan perubahan nilai gizi. Dalam semua emulsi bahan, perubahan degradatif seperti hidrolisis atau oksidasi pigmen, senyawa aroma dan vitamin, dan pertumbuhan mikroba di bahan yang tersebar halus, diminimalkan dengan kontrol yang hati-hati atas pengolahan, kondisi pengemasan dan penyimpanan. Di banyak negara, peraturan khusus berlaku untuk mengontrol standar higienis selama persiapan emulsi bahan (terutama daging dan emulsi susu) karena risiko penyebaran bakteri patogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Briggs. J. L., D. E. Maier, B. A. Watkins, and K. C. Behnke (1999) Effect of Ingredients and Processing Parameters on Pellet Quality, *Kansas University Poultry Science* 78: 1464-1471.
- Fellows P. (2000) *Size reduction In Food Processing Technology Principles and Practice* Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p 98-116
- Isokangas Atri, Kauko Leivisika (2005) Optimisation of wood losses in log debarking drum. *Paper and Timber Univ Finlandia*, Vol 87 No 5 pp: 324-328
- Kince. T, E. Straumite, D. Klava¹, Z. Kruma¹, K. Abelniece and A. Balgalve (2018). Effects of processing conditions on physical parameters of triticale flakes. *Agronomy Research* 16 (S@), 1388-1395. Latvia
- Lewis. Landon L (2011) *Evaluation of Pelleting Process Parameters on Feed Nutrients, Starch Gelatinization and Pig Growth Performance*. Thesis. Bansas University
- Liu Gary P.E. (2017) *Hammer Milling and Jet Milling fundamentals*. American Institute Oil Chemical Engineers (AIChE) Juni 2017
- Naibaho P M (1988). *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan, p1-306
- Berk Zeki (2009) *Size Reduction In Food Process and Engineering Technology*, Elsevier Singapore pp: 153-170.

BAB V

PENGUPASAN DAN PENGULITAN

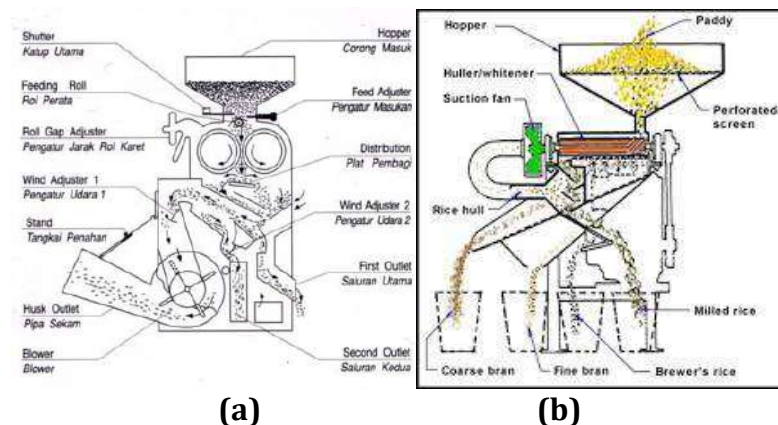
1. Pendahuluan

Pemisahan kulit dari hasil pertanian bertujuan untuk mempersiapkan pengolahan bahan selanjutnya baik penggunaan langsung maupun untuk pengolahan selanjutnya. Pada biji-bijian sereal atau kacang-kacangan bertujuan untuk menghilangkan sekam atau kulit ari. Pada biji-bijian minyak pengupasan atau pengulitan berguna untuk mempermudah ekstraksi minyak, demikian juga seperti buah kakao, kopi dan kemiri. Demikian juga biji-bijian dalam produksi minyak nabati. Efisiensi dehulling ditemukan 95% dan tergantung pada mesin yang digunakan serta kondisi buah.

2. Dehuller

Tanaman padi merupakan tanaman tropis yang diusahakan oleh petani, dan pengolahannya ditangani oleh pihak processor atau pedagang pengumpul. Padi yang dikeringkan secara alami memiliki daya simpan yang tahan lama. Padi yang baru dipanen jika tidak melalui pengeringan penggilingan pelepasan kulit (sekam) sangat sulit karena pektin atau hemicellulose masih melekat antara sekam dengan beras. Oleh sebab itu petani sering menimbun dalam lumbung padi, dengan tujuan agar pektin dan hemicellulose mengalami hidrolisa secara alami (suhu kamar).

Dewasa ini dikembangkan mesin gilingan padi yang mobile (kompak), Gambar 5.1. Dalam proses penggilingan hasilnya berupa beras, menir, dedak dan sekam. Efisiensi gilingan padi dipengaruhi oleh bahan baku (padi) dan kinerja mesin giling. Kualitas beras yang dihasilkan terdiri dari 4 kelas mutu: Premium, Medium 1, Medium 2, Medium 3 (SNI 6128:2015). Mutu Tersebut didasarkan pada derajat sosoh, kadar air, beras kepala, butir patah, menir, butir kapur, benda asing dan butir gabah. Maka dalam proses pengolahan dilakukan pengaturan jarak antar roller (kedua roller tersebut memiliki putaran yang berbeda) dan kapasitas olah.



Gambar 5.1. Gilingan padi a) produk, utama, kedua dan sekam b) Produk beras kasar, beras halus, brower rice dan padi belum terkupas.

3. Depericarper

Daging buah dapat dipisahkan dengan pengadukan dalam digester dan sebagian daging akan terpisah, akan tetapi masih terdapat serabut yang melekat pada biji. Pericarp yang masih melekat pada biji dapat dipisahkan dengan alat yang disebut dengan polishing drum. Serabut yang melekat pada dinding biji dipisahkan dengan drum berputar yang dibuat perforasi meningkat dari titik inlet hingga out let (diameter bertingkat 10 mm, 20 mm, dan 50 mm) Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Polishing Drum Kernel Plant Pabrik Kelapa Sawit

Efisiensi mesin ini dinilai dari kandungan serat yang masih melekat pada biji, karena semakin tinggi kandungan serat pada biji, maka efisiensi pemecahan biji (nut cracker) semakin tidak efisien. Putaran yang efektif adalah 25 rpm, dengan panjang mesin 5-6 m. Semakin panjang polishing drum biji semakin bersih dari serabut yang dapat mempengaruhi proses pengeringan biji dalam nut silo. Faktor kadar air biji sangat berpengaruh pada proses deperikarper, umumnya terjadi gumpalan, dan akan mengurangi kontak dengan biji, maka dilakukan pengawasan pada unit cake breaker conveyor dengan mengurangi kadar air dengan proses penguapan yang efektif.

4. Depulping

Umumnya pulp hasil pertanian terutama yang berbentuk buah memiliki daging buah yang sering disebut dengan pulp, seperti kakao, kopi dan kemiri, pala dan sebagainya. Sebagian pulp masih dikelompokkan pada limbah dan sebagian sudah dianggap secondary product. Pada awalnya depulping dilakukan dengan cara manual, akan tetapi dengan perkembangan teknologi maka proses depulping dilakukan dengan menggunakan mesin yang disebut dengan “depulping machine”

4.1 Pemecahan Manual

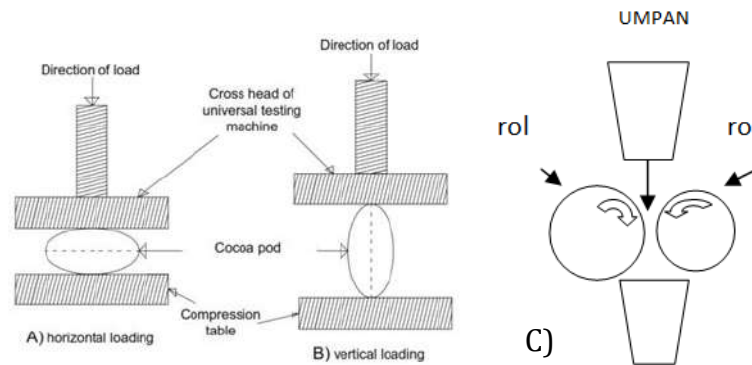
Pemecahan buah seperti buah kakao (Gambar 5.5) dan kemiri (Gambar 5.7), umumnya petani melakukan pembelahan secara manual dengan pisau. Buah kakao dapat dilakukan dengan tekan press, sehingga biji keluar dari pulp (Gambar 5.5a). Pada buah kakao dilakukan dengan manual yaitu dengan cara cutter, hal ini masih dianggap lebih baik karena biji basah terhindar dari kelukaan. Biji basah dikeluarkan dengan menggunakan alat congkel berbentuk jari. Kopi merupakan tanaman perdu dan termasuk tanaman tahunan dengan panen gelondongan secara manual.

4.2 Pemotongan Buah Dengan Cutter

Cacao pod dapat dilakukan dengan mesin pemotong semu yaitu memotong buah hanya dipermukaan kulit dengan cara melewati buah dengan belt conveyor melalui pisau kiri kanan, kemudian di masukkan dalam mesin press roller sehingga biji keluar dan kemudian dimasukkan ke shaking grate untuk memisahkan biji dan pulp (Gambar 5.3). Hal yang sama dapat dilakukan pada buah kemiri (Gambar 5.4), karena buah kemiri lebih keras sehingga terhindar dari kelukaan akibat pisau.

4.3. Pemecahan Pulp Dengan Roller

Buah keras yang sulit dipotong dengan pisau dapat dipecahkan dengan menggunakan double roller yang berbeda kecepatan putar dan arah, sehingga biji keluar dari daging buah dan dipisahkan dengan menggunakan ayakan bergetar atau bergoyang (Gambar 5.4). Cara ini dapat juga dilakukan pada buah kakao, akan tetapi perlu dilakukan pengaturan jarak antar roller sehingga tidak menyebabkan biji kakao pecah yang akan dapat merusak mutu dalam proses selanjutnya.

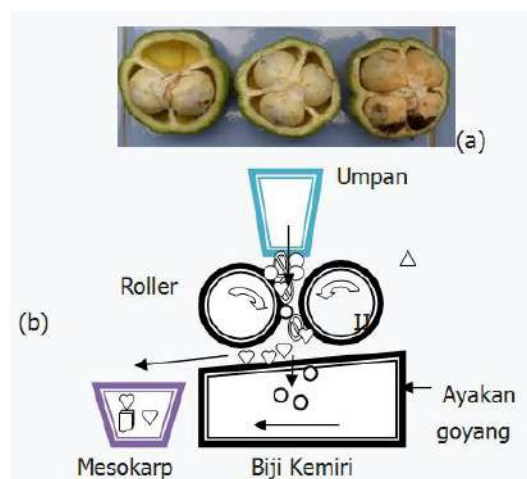


Gambar 5.3. Pemecahan cacao dengan roller. A) Mekanisme pemecahan cacao pod horizontal dan B) pemecahan vertical dan C) Pemecahan pod dengan double roller dengan kecepatan putar beda yang dihubungkan dengan fleksible joint untuk mengatur jarak

Panen dalam bentuk kopi gelondongan 2 kali dalam satu tahun. Buah yang telah matang panen dipetik, kemudian diolah untuk menghasilkan kopi biji. Kopi yang terdiri dari biji, kulit tanduk, pulp dan kulit ari (Gambar 5.5). Pelepasan buah kopi dari tangkai digunakan secara manual yaitu memetik dengan tangan. Pengolahan dibagi dua terdiri dari pengolahan kering dan pengolahan basah. Tahapan pertama untuk memisahkan biji kopi dari mesocarp (pulp) dengan menggunakan pulper. Peralatan pemisah pulp yang dirancang untuk kopi ada dua pendekatan tradisional: disk pulper dan drum pulper, yang terakhir dapat diorientasikan juga secara vertikal atau horizontal.

4.4 Pengupasan Daging Buah Dengan Drum

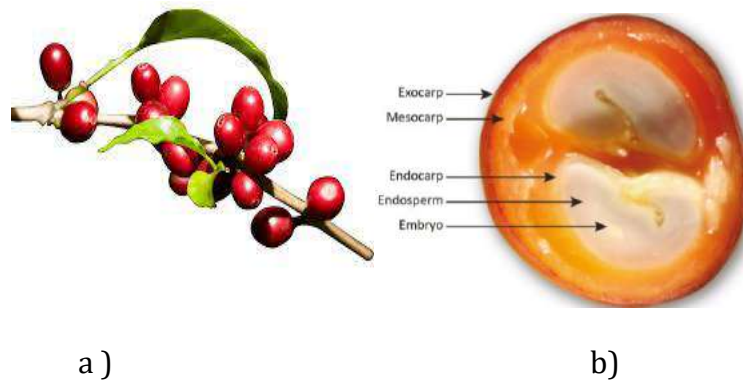
Baru-baru ini pendekatan desain ketiga telah muncul yang sangat berbeda karakteristik. Dalam peralatan ini ceri (istilah biji kopi) diumpankan melalui layar yang ditempatkan di bawah tekanan, baik sebelum atau selama pembuatan pulp, dan dilanjutkan hanya jika lunak (mis. matang).



Gambar 5.4. Pemecahan kemiri dengan *double roller*. (a) Buah Kemiri b) Pemecahan dengan double roller dan Pemisahan Kulit Kemiri

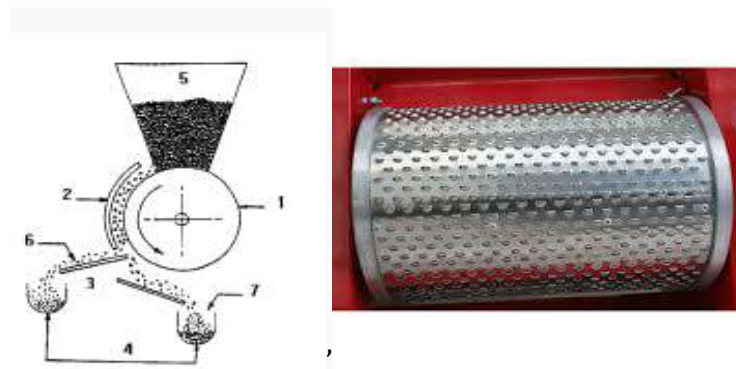
Hal ini memungkinkan ceri yang belum matang (hijau atau verde), yang hancur dalam peralatan tradisional dan yang tidak dapat dipisahkan oleh floatation, untuk melewati secara terpisah dan tidak terputus. Baru-baru ini pengembangan sistem pemakaian air diupayakan sedikit mungkin. Pada prinsipnya ada sedikit untuk membedakan dua sistem tradisional dari sudut pandang kontrol operasional. Pulper dievaluasi berkenaan dengan kapasitas (kg ceri segar/jam,

misalnya, efisiensi pemisahan (jumlah kulit dan ceri tanpa kulit yang ditemukan di antara perkamen (tumpukan kulit) dan kerusakan pada produk. Masalah lainnya termasuk pengendalian dan penggunaan air, daya tahan dan kemudahan perawatan dan pembersihan. Kapasitas adalah fungsi dari desain dan cenderung terkait dengan angka disk atau ukuran drum.

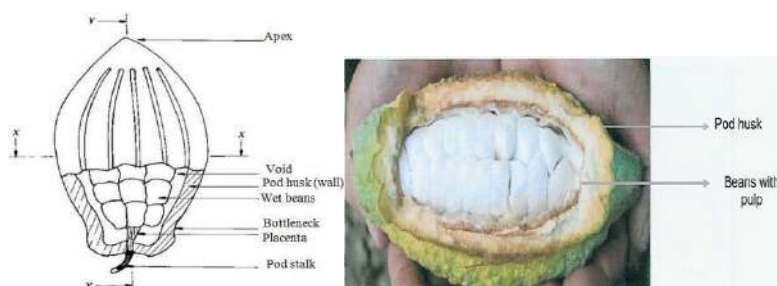


Gambar 5.5. Buah kopi. a) Buah Kopi Utuh dan b). Penampang buah kopi

Pulp buah kopi dilepas dengan menggunakan pulper, setelah direndam dalam air atau setelah diperam. Pemisahan pulp digunakan dengan menggunakan mesin depulper (Gambar 5.6). Efisiensi pengupasan tergantung dari bentuk pisau dari drum berputar yang dibentuk sedemikian rupa sehingga berbentuk seperti parut. Hal yang perlu diperhatikan adalah jarak plat penyangga dengan roller, dengan tujuan untuk menghindari biji rusak atau pecah.



Gambar 5.6. a). Mesin Pengupasan Buah Kopi b) Drum pulper dengan membuat pisau dari plat yang dibentuk seperti parutan. 1). Drum puper, 2). Plat penahan 3). Plat pengatur 4) mengembalikan biji ke tempat penam[pungan biji. 5) Hopper umpan, 6) Biji Kopi basah.



Gambar 5.7. Buah Kakao

Pengupasan buah kemiri sama halnya dengan depulper kopi, hanya perbedaannya bahwa roller dibuat jarak maksimum artinya tidak terjadi penekanan pada biji kemiri dengan menggunakan drum berputar yang dilengkapi dengan bitter arm. Drum pulper ditutupi dengan logam lunak berlubang, tembaga tradisional dan lesung pipit akan menjadi rata dan usang pada waktunya. Kandungan benda seperti batu sampai batas tertentu, akan merusak permukaan. Permukaan pulper disc ditutupi dengan permukaan kasar dibandingkan ketika baru jauh lebih halus. Jika dipakai permukaan yang halus peningkatan kulit yang tidak terpotong mengurangi kualitas. Performa pulp yang buruk juga akan terjadi jika ceri dengan kondisi yang salah dimasukkan ke dalamnya seperti ceri yang belum matang, ceri yang sudah kering sebagian.

4.5 Pengupas Sabut Kelapa

Komponen utama dari mesin pengupas kulit kelapa yang dikembangkan adalah kerangka dan unit de-husking, yang terdiri dari mekanisme drive, mekanisme holding dan mekanisme pisau tipe rol. Bingkai adalah struktur pendukung utama di mana komponen lain dari mesin ini dipasang. Unit de-husking terdiri dari dua rol, dua poros rol dan dua sprocket. Setiap rol dibentuk dengan mengelas tiga puluh dua paku logam (2 mm x 20 mm x 5 mm) pada pipa baja karbon berdiameter 115 mm yang dipasang pada poros rol. Setiap *roller shaft* adalah batang baja ringan dengan diameter 40mm, dengan panjang 890 mm (poros utama) dan 644,87 mm didukung di kedua ujungnya dengan bantalan bola dan sproket dipasang di ujung kiri. Bergabung di ujung kiri poros penggerak roller adalah roda *worm reduction* yang terhubung ke katrol v-belt berdiameter 3 inch yang terhubung langsung ke motor induksi satu fase sistem V- belt. Lebih baik jika dibangun dengan memotong u-takik (bentuk toreh U) pada salah satu ujung yang ringan pelat baja dengan ketebalan 2mm. Berdasarkan perhitungan teoritis, akan dihasilkan 2hp motor dengan kecepatan 1.500 rpm torsi dengan nilai 9,5 Nm. Bahwa mesin memiliki efisiensi 90,42% dan mampu memproses 222 kacang / jam. Kelapa yang diumpan akan dicabik oleh pen logam sehingga sabuk tertahan dan terlepas dari kelapa batok, Gambar 5.8.

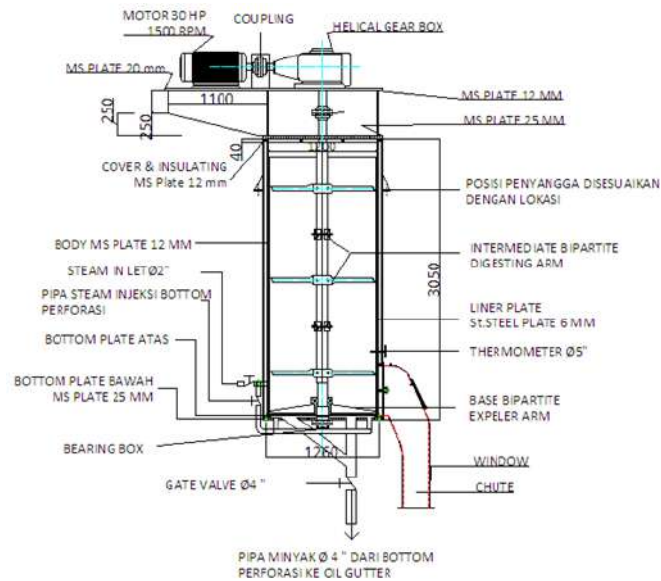
4.6 Cincang Aduk

Proses cincang aduk umumnya disebut dengan digesting seperti pada pemisahan mesocarp pada buah sawit. Tujuan dari pemakaian alat ini adalah untuk memecahkan sel minyak yang terdapat dalam mesocarp sehingga minyak mudah diperas dengan mesin screw pres.



Gambar 5.8. Mesin Pengupas Sabut kelapa

Mesin ini terdiri dari bejana, yang dilengkapi dengan pisa aduk dan air dan uap pemanas dengan tujuan agar proses pencincangan dengan pisa bentuk "S" yang berfungsi mencincang dan melempar ke dinding bejana hingga berlangsung dengan sempurna. Mesin ini bekerja secara kontinu sehingga kondisi panas dan keseragaman umpan dapat diatur. Alat ini dihubungkan dengan fruit distribution dan screw press, Gambar 5.9.



Gambar 5.9. *Digester* (alat pencincang aduk) *mesocarp* buah sawit

4.7 Pemisahan Tempurung dan Kernel

Pemisahan tempurung dengan kernel dilakukan dengan berbagai cara untuk menyesuaikan dengan kondisi hasil pertanian yang diolah. Perbandingan antara tempurung dengan kernel seperti Tabel 5.1.

4.7.1 Pemisahan Tempurung Manual

Pemecahan biji dengan manual sering ditemukan pada petani tradisional, seperti petani kemiri. Petani memecah biji dengan menekan pakai tekanan hidrolik. Ada juga dengan cara membanting biji ke batu keras (Gambar 5.10). Efektifitas cara ini tergantung pada kadar air kemiri. Dalam pelaksanaannya biji kemiri dikeringkan dengan sinar matahari, hingga biji koplak, dan pada saat matahari panas saat itulah dilakukan pemecahan dengan cara banting. Bantingan menggunakan tangkai yang lentur seperti rotan, dengan tujuan agar tidak terjadi pemecahan yang keras menyebabkan kernel pecah, yang nilai jualnya jadi rendah.

Tabel 5.1. Ratio antara cangkang/kulit keras dengan kernel

No	Biji	Kernel (%)	Tempurung (%)
1	Groundnut	75	25
2	Rapeseed mustard	80-82	18-20
3	Soybean	93	7
4	Sunflower	60—70	30-40
5	Safflower	50	50
6	Castor	70-80	20-30
7	Cottonseed	62	38
8	Sesamum	82-86	14-18
6	Linseed	57	43

Proses pemecahan dilakukan saat penjemuran biji kemiri dengan matahari, saat biji panas keberhasilan pemecahan biji sangat efektif karena kernel pecah hampir 0 %. Kemampuan seorang Ibu-ibudapat memecahkan biji kemiri +/- 30 kg/hari.

4.7.2 Pemecahan Biji Mekanis

4.4.1.1. Pemecahan dengan lempar

Biji keras dipecah dengan menggunakan prinsip tekanan dengan cara pelemparan pada dinding keras. Pelemparan dilakukan dengan cara putaran sentrifugal dengan lemparan mendatar, yaitu bahan diletakkan diatas pelat yang berputar. Dari hasil pengujian dengan tekan statik diperoleh batas minimum biji pecah ialah tekanan p kg/cm². Maka berdasarkan tekanan tersebut dapat di design tekanan lemparan dengan mempertimbangkan ; massa biji (gr), dengan jari-jari (r) plat (cm), dan dapat dihitung jumlah putaran yang diterapkan.



Gambar 5.10. Alat pemukul biji kemiri dengan gagang rotan yang elastis.

$$F_s = mv^2/r$$

$$v = r w^2$$

$$F_s = m.w^2.r$$

Jika bahan berbentuk bundar maka diperoleh :

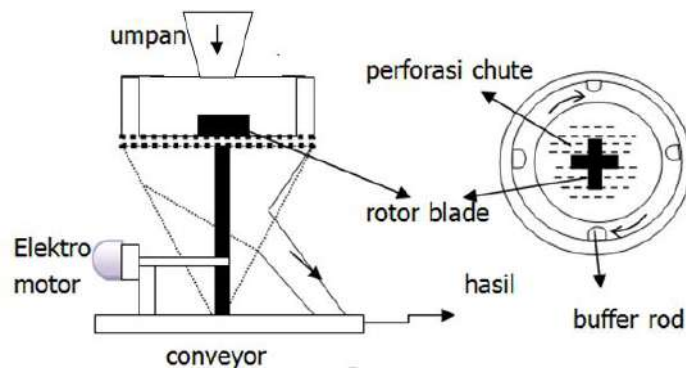
$$F_s = \frac{\pi}{6} d^3 \Delta\rho w^2 r$$

F_s = gaya sentrifugal, r = jari-jari, m = massa, v = kecepatan linier (m/s),

w = kecepatan angular

Efisiensi pemecahan didasarkan pada persentase biji pecah, yang dipengaruhi keseragaman biji dan ketebalan cangkang. Untuk itu perlu dilakukan grading dari biji, umumnya dikelompokkan dengan menggunakan nut grading dengan ukuran diameter biji (karena biji ellips maka yang diukur adalah diameter bagian tengah) < 8 mm : 8 - 10 mm : >10 - 13 mm dan 13 -15 mm dan > 15mm.

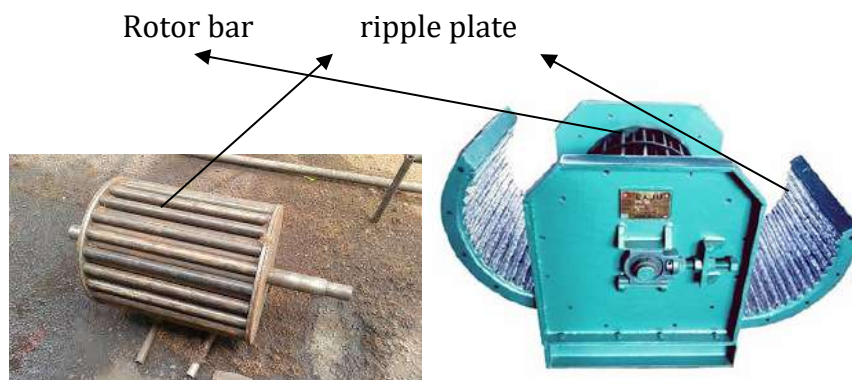
Gaya lemparan yang dibutuhkan sesuai dengan kekerasan biji, misalnya gaya yang diperlukan memecahkan biji sawit akan lebih tinggi dari pada pemecahan biji kemiri (gambar 5.11). Pada biji sawit diperlukan putaran 1250, 1400 dan 1450 rpm dengan radius 300 mm. Untuk pencapaian hasil maksimal maka perlu dibuat agar kernel tidak melekat pada tempurung dengan melakukan pengeringan atau fermentasi sehingga kernel lekang dari cangkang (koplak).



Gambar 5.11. Pemecahan biji sawit dengan lemparan horizontal (nut cracker)

4.4.1.2. Mesin Pemecah Giling-Tekan (Ripple Mill)

Pemecahan dengan cara giling yaitu bahan dapat masuk antara batangan penekan dan ripple plat dengan perputaran terjadi penekanan secara mekanik pada dinding yang statis ller akan tetapi rod yang berputar seperti roller menekan biji ke dinding. Karena biji bervariasi maka dibuat jaral antara batangan dengan dinding penahan dibuat bervariasi seperti pada ripple mill (Gambar 5.12) dinding ripple plate. Kapasitas alat ini 3-5 ton nut perjam, tergantung dari perawatan dan pengoperasian mesin, serta kualitas umpan yakni kadar air dan kandungan serabut yang melekat pada biji. Pemecah biji ini dikembangkan pada pemecah biji sawit yang diketahui cukup keras juga ini dapat digunakan pada pemecah kemiri dengan mengurangi kecepatan putar. Karena untuk biji sawit digunakan kecepatan putgar 1450 rpm.



Gambar 5.12. Pemecah biji Ripple Mill a) rotor bar b) ripple plate

5. Debarking Kayu

Kayu umumnya digunakan untuk bahan moulding meubel, plywood, dan bubur kayu. Untuk mempermudah prosesnya maka kayu perlu dikupas. Pada proses pengupasan juga kayu dibentuk agar berbentuk cylinder sehingga mudah dalam proses pengolahannya, kecuali kalau hanya untuk pembuatan bubur kayu.

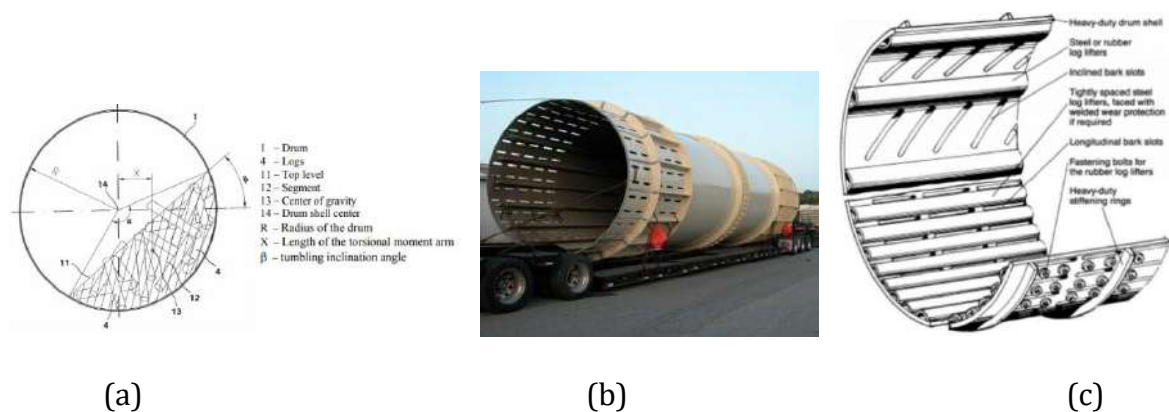
Pengupasan batang kayu dilakukan dengan dua cara 1) yang menggunakan drum berputar dan 2) menggunakan pisau pengupas kayu panjang. Kayu yang dikupas akan digunakan dalam pembuatan bubur kertas atau craft, biasanya ini dikupas dengan rotary drum dan untuk pembuatan kayu kebutuhan bangunan dan meubel dan untuk plywood. ini biasanya dengan debarker log panjang).

5.1 Rotary drum

Mesin mengupas kayu dalam bentuk drum yang telah dilengkapi dengan alat pengulit bergerigi dan bersentuhan dengan kayu. Untuk memberi kesempatan yang sama pada kayu maka drum berputar yang dilengkapi dengan arm untuk mengangkat kayu keatas kemudian berputar-putar dan bergesekan dengan kayu lainnya (Gambar 5.13). Posisi kayu dalam rotary drum dibuat sedemikian rupa agar efisiensi pengupasan lebih efektif (Gambar 5.18). Rotary drum dipergunakan untuk kayu-kayu kecil yang akan dipotong lagi dengan gergaji atau chipper, yang biasanya diperlakukan untuk pembuatan pulp (bubur kertas). Kulit yang dilepas dipergunakan untuk bahan bakar, atau dikembalikan ke lapangan untuk pemupukan. Umumnya kayu yang akan dikupas dibuat memanjang sehingga proses pengupasan akan lebih efektif. Jika kayunya pendek-pendek maka dipastikan bahwa volume terisi hanya 35 %, sehingga pengupasan lebih efektif.

5.2 Debarker Log Panjang

Pengupasan kayu panjang berbeda dengan pengolahan kayu dengan rotary drum. Kayu panjang akan digunakan untuk membuat plywood, moulding untuk kebutuhan meubel dan papan (Gambar 5.14). Hasil pengupasan kayu tetap mengikuti kelurusan awal, akan tetapi pada debarking machine kayu yang dihasilkan akan lurus dan ini banyak digunakan untuk mengolah kayu yang dibuat menjadi plywood.



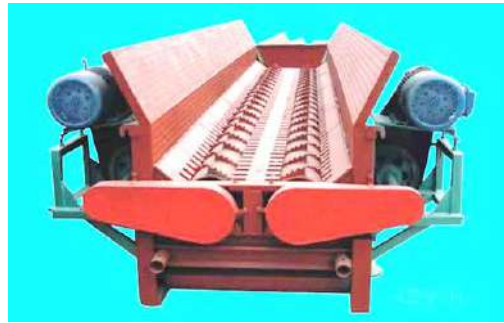
Gambar 5.13. *Rotary debarking drum* a) Posisi Kayu dalam drum b) Rotary drum dengan kapasitas besar c). Disain debarking drum cell, diameter 4-6 m 20-40 m, kecepatan putar 4-7 rpm, kapasitas 35 % dari volume.

5.3 Pembuatan Lembaran Tipis (Plywood)

Proses pembuatan plywood didasarkan pada sifat kayu, yaitu kayu lunak dan tidak banyak mata-mata kayu. Ukuran kayu yang digunakan untuk pembuatan plywood adalah 120 cm dan 2400 cm. lembaran tipis tersebut disusun silang maka plywood yang dihasilkan adalah 1200cm x2400 cm. Plywood yang dihasilkan umumnya terdiri dari 3 lapis dan menggunakan perekat dari lem karet dengan menggunakan pengawet seperti furfural. Kayu tersebut dibelah dengan blade posisi statis sedangkan log berputar pada sumbu, dengan kecepatan putar lambat 2-5 rpm (Gambar 5.14).



(a)

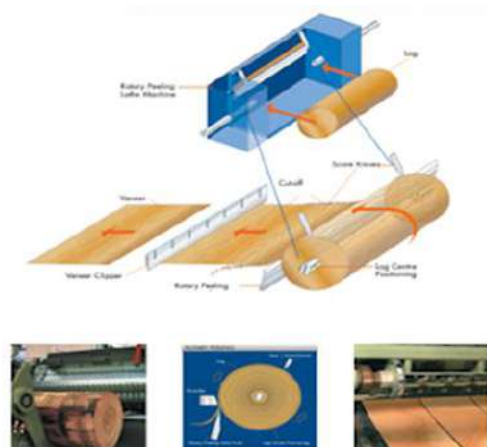


(b)



(c)

Gambar 5.14. Pengupasan Kulit Kayu a) batang kayu diletakkan diatas conveyor berjalan dan dikupas dengan roda gigi (b). Seperti (a) tapi dengan 2 batang kayu selain dikupas dengan roda gigi pengupasan tedjadi antara satu kayu dgn lain. c) mengolah kayu yang panjang dan lurus, solaholah kayu diketam.



Gambar 5.15. Pembuatan lembaran lapisan tipis (*plywood*) dengan blade

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi H, A. B. Sanuddinb , M. Z. Zakimic , M. S. Jamalid , H. Radhwane , A. N. M. Khalilf , A. N. A. Akmalg and A. F. Annuarh (2015) Design and Development of a Coconut DeHusking Machine (Machine Component Design): Journal of Advanced Research Design ISSN: 2289-7984 Malaysia Vol. 4, No.1. Akademia Baru Malaysia p. 9-19, 2015
- Fulvio-Fulvio , Gunnar Eriksson, Dan Bergström (2014), Effects of Wood Properties and Chipping Length on the Operational Efficiency of a 30 kW Electric Disc Chipper. Swedwen University, p16
- Naibaho P M (1988). Teknologi Poengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelaqpa Sawit Medan, p1-306
- Rebecka Wikström (2019). A hard nut to crack– a gender analysis of a community and a value chain in Indonesia Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Thesis Uppsala.p; 1-51
- Russel Washusen (2012). Processing methods for production of solid wood products from plantation-grown Eucalyptus species of importance to Australia. University Of Melbourne 1-58
- Shukia Banshi D, Prabhat K Srivastava AND Ram K Gupta (1992) Oilseeos Processing Technology. Central Institute Of Agricultural Engineering Bohopal,India. p 280.
- USDA Forest Service (1974). Technique for peeling, slicing, and drying veneer, p1-68
- Voluntary Product PS 1-07 (2007) Standard Structura Plywood. National Institute Standard and Tecnology US Departement Commercial,

BAB VI

TRANSPORTASI

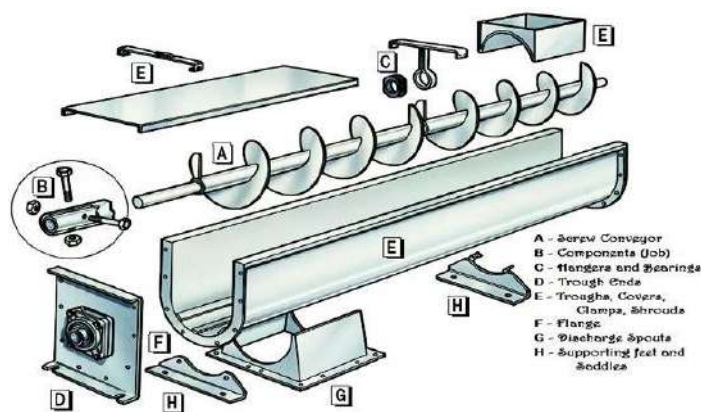
1. Pengantar

Umumnya pabrik terdiri dari beberapa unit proses yang terhubung satu dengan lainnya secara serial, artinya hasil olahan unit pertama menjadi bahan baku pada unit proses kedua dan hasil unit ke dua menjadi bahan baku unit ketiga dan seterusnya. Dalam hal ini alat pemindah bahan sangat diperlukan dan sangat penting dalam pencapaian kapasitas dan kualitas seperti efisiensi pabrik. Bahan olahan pabrik umumnya terdiri dari padatan, cairan dan gas, masing-masing memiliki karakteristik tersendiri. Transportasi dalam pabrik terdiri dari alat angkut bahan olahan dan bahan pendukung yang sangat menentukan pada kapasitas olah, efisiensi pengolahan serta kualitas proses. Karena peranan antar alat transportasi harus berimbang. Dalam pabrik alat transportasi umumnya digerakkan oleh power yang berasal dari instalasi

2. Pemindahan Padatan

2.1 Screw Conveyor

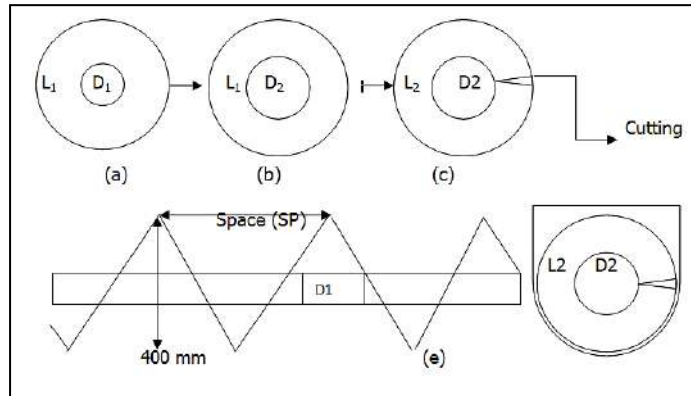
Transportasi bahan baku yang dikembangkan untuk massa padatan yang berukuran besar dan berat jenis relatif besar dipindah dengan menggunakan screw conveyor, scraper, belt conveyor. Alat angkut digerakkan oleh elektromotor langsung dengan screw disebut dengan screw conveyor (Gambar 6.1)



Gambar 6.1. Screw conveyor

Efisiensi alat screw conveyor tergantung pada kapasitas alat, posisi casing yang terhindar dari gesekan antara conveyor dan casing yang dapat menyebabkan putaran lambat dan tahanan akibat gesekan menyebabkan elektromotor penggerak terbakar. Oleh sebab itu perencanaan menggunakan screw conveyor harus terdapat keseimbangan antara power yang diperlukan untuk mengangkat bahan dan memindahkan bahan yang diangkut. Alat ini paling tepat digunakan untuk memindahkan bahan granuler.

Alat ini menggeser bahan yang berbentuk granular (butiran, biji-bijian) dalam casing (Gambar 6.1E). Kecepatan pemindahan tergantung dari sudut kemiringan auger flight dan putaran per menit dan diameter screw. Auger flight dibuat dari plat lingkaran dan dibuat lobang dan lobang luar



Gambar 6.2. Auger flight (a),(b) dan (c) Pembuatan plat auger flight dan (e) penyambungan dari plat satu dengan lainnya dan membentuk ulir

Rumus pembuatan auger flight: Sumbu screw conveyor dia 100 mm dan diameter efektif flight 400 mm dan jarak antar puncak auger (sp) 400 mm. Buatlah ukuran auger flight dari plate.

Perhitungan

$$D_2 = \frac{\sqrt{SP^2 + (100\pi)^2}}{\pi} = \frac{\sqrt{400^2 + 100\pi^2}}{3.14} = \frac{\sqrt{160000 + 98596}}{3.14} = \frac{\sqrt{258596}}{3.14} = 161.95 \text{ mm}$$

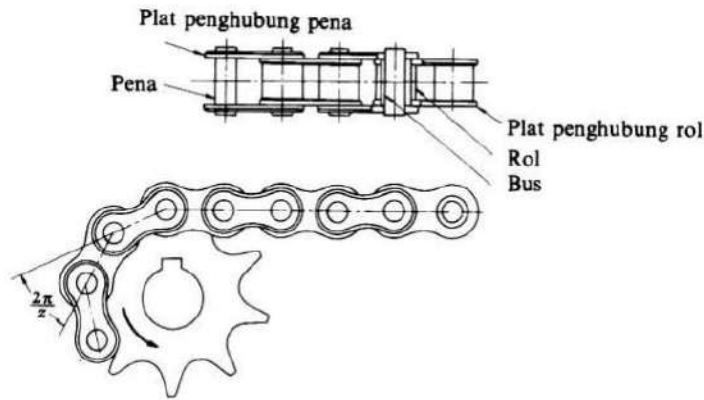
$$L_2 = L_1 + D_2 - D_1 = 400 \text{ mm} + 161.95 - 100 = 461.95 \text{ mm}$$

Jadi plat auger yang disiapkan adalah diameter luar = 461.5 mm dan diameter dalam adalah 161.95 mm.

2.2 Scraper Chain Conveyor

Berbeda halnya dengan screw conveyor digerakkan dengan electromotor yang dihubungkan dengan gearbox. Sedangkan pada scraper digerakkan rantai dengan sprocket. Scraper dilengkapi dengan bar scrap untuk menggeser bahan yang akan dipindah. Rantai yang digunakan dalam transportasi ini dengan nilai torsi yang tinggi, dari baja keras (Gambar 6.3). Scraper rantai conveyor digunakan dalam industri untuk memindahkan bahan melalui talang statis dan bahan digeser dengan scrap ke tempat yang dituju (Gambar 6.3a). Scraper umumnya digunakan untuk memindah bahan berukuran berat seperti tandan buah sawit (5-40 kg) dan untuk memindahkan bahan berserat, karena bahan berserat dapat menyebabkan serta melilit sumbu dan gantungan screw (Gambar 6.1c)

Scraper dapat dilakukan dengan memindahkan bahan dari atas (top scraper = bahan berada dibagian atas sprocket) dan bawah (bottom scraper = bahan dibagian bawah sprocket). Rantai sebelah kiri dan kanan dihubungkan dengan bar dan ditempel pada kuping rantai (Gambar 6.4) memindahkan bahan dengan rantai, dan jika rantai bergerak maka deam scraper akan bergerak dan mendorong bahan maju kedepan.



Gambar 6.3. Rantai dengan sproket

Pitch.

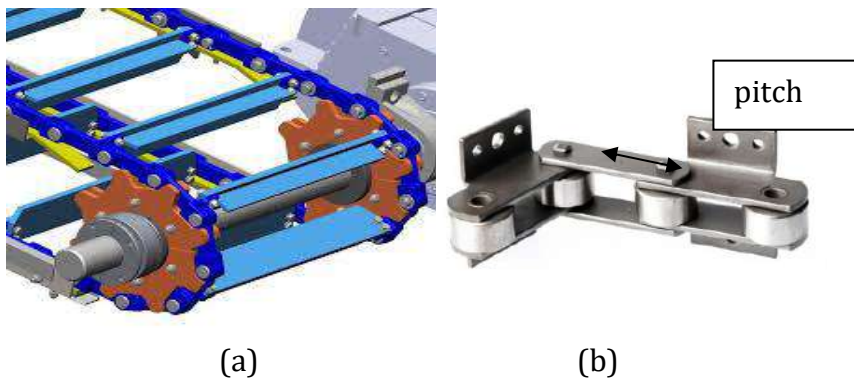
Rantai ukurannya disebut pitch 6" (adalah bagian yang masuk pada gigi sprocket 6"), setiap bagian beban kecil umumnya ringan untuk kecepatan tinggi, dan pitch besar lebih bagus untuk beban berat dan kecepatan rendah. Jumlah gigi sproket. pada umumnya sumber penggerak.

Sproket

Sprocket kecil dengan variasi kecepatan tertentu. Jumlah gigi minimum yang direkomendasikan: Kecepatan rendah : 12 gigi Kecepatan sedang : 17 gigi Kecepatan tinggi : 25 gigi.

Kekerasan gigi.

Jumlah gigi sedikit, bahan gigi sproket harus keras ketika jumlah gigi < 25 dan diikuti kondisi : – Beban berat – Bekerja pada kecepatan tinggi – Bekerja pada kondisi kasar – Memerlukan usia teknis yang panjang.



Gambar 6.4. (a) Scraper Conveyor, (b) Rantai Scraper dengan kuping melekat

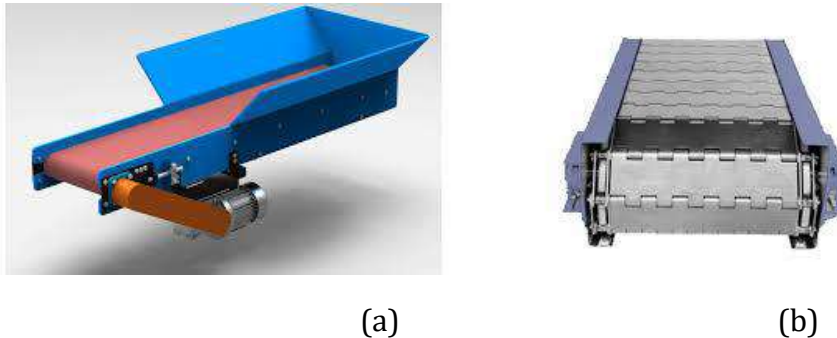
2.3 Belt Conveyor

a. Conveyor Selendang Pengangkut

Alat ini digerakkan oleh rol berputar pada bagian pangkal dan ujung sedangkan ditengah pada jarak tertentu belt bersinggungan dengan rol yang bergaya gesek rendah sehingga belt dapat berputar dengan cepat. Belt terdiri dari rubber dengan lapisan benang yang dibuat berlapis sedemikian rupa sehingga mempunyai daya tarik yang kuat. Sistem ini biasanya dikembangkan pada bahan granuler seperti biji-bijian dan tepung dengan kapasitas angkut yang rendah (Gambar 6.5a). Belt Conveyor digerakkan dengan rol yang dihubungkan dengan electromotor, pada ujung conveyor merupakan rol bantu agar conveyor dapat bergerak dengan mudah. Jika semakin jauh jarak antara rol penggerak dan rol pembantu, akan dibantu dengan rol bantu dengan jarak 1 - 2 m satu dengan lainnya. Selendang ini dapat dibuat beberapa segment jika koyak pada segment tertentu dapat diganti dengan segment baru.

b. Conveyor dengan Plat Bergerak

Conveyor dibuat kusus, tidak dilengkapi dengan bar scraper, tapi rantai conveyor yang bergerak bersama rantai, hanya plat dasar terdiri dari segment yang disambung satu dengan lain dengan memakai engsel (Gambar 6.5b).



Gambar 6.5. (a) Conveyor belt dari kulit (b) Conveyor dari plate Bersambung

3. Alat Angkat Bahan

a. Elevator

Pada perencanaan pabrik yang menjadi pertimbangan ialah penggunaan energy dalam transportasi bahan. Alat transportasi bahan umumnya dibangun horizontal dan vertikal dengan tujuan untuk memperpendek jarak antara unit yang berposisi hulu-hilir dengan tujuan agar menggunakan energi yang lebih efektif. Bentuk elevator di pabrik selain untuk menghantar bahan dari satu unit ke unit lainnya (Gambar 6.6a), juga dapat digunakan pengisian pada penimbunan bahan curahan (Gambar 6.6b). Kapasitas elevator tergantung dari volume bucket, kecepatan bucket m/menit, jumlah bucket per meter.

$$\text{Kapasitas elevator } Ke = B \times N \times C / 2 \times V$$

Dimana Ke = Kapasitas elevator, kg/jam

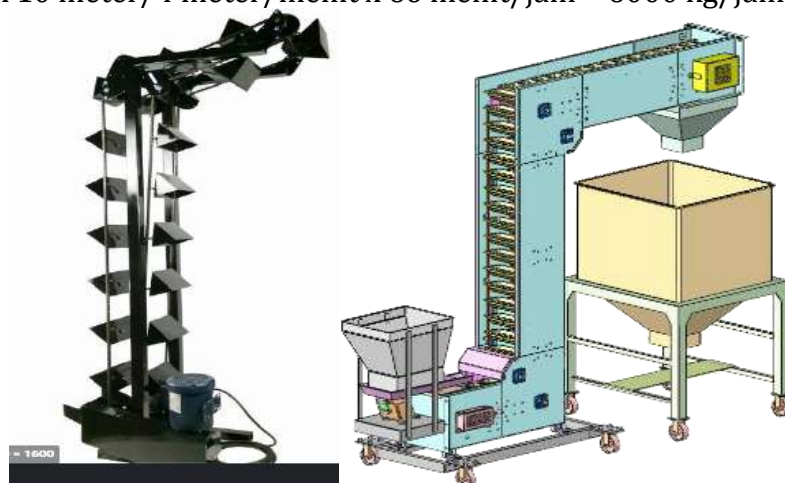
W = berat isi bucket (kg)

N = Jumlah unit, bucket/meter

C = Panjang rantai (1 lingkaran)

V = kecepatan rantai, meter/menit

Misalnya volume bucket 20 kg/unit dan jumlah bucket 2 unit/meter, panjang rantai muka-belakang 20 meter. Kecepatan elevator adalah 4 meter/menit. Pertanyaan berapa kapasitas elevator? Jarak lintas bawah-atas adalah $20 \text{ meter} / 2 = 10 \text{ meter}$. Jadi kapasitas angkut adalah $20 \text{ kg/unit} \times 2 \text{ unit/meter} \times 10 \text{ meter} / 4 \text{ meter/menit} \times 60 \text{ menit/jam} = 6000 \text{ kg/jam}$.



Gambar 6.6. Elevator a) Permanent dan b) Mobile

b. Hoisting Crane

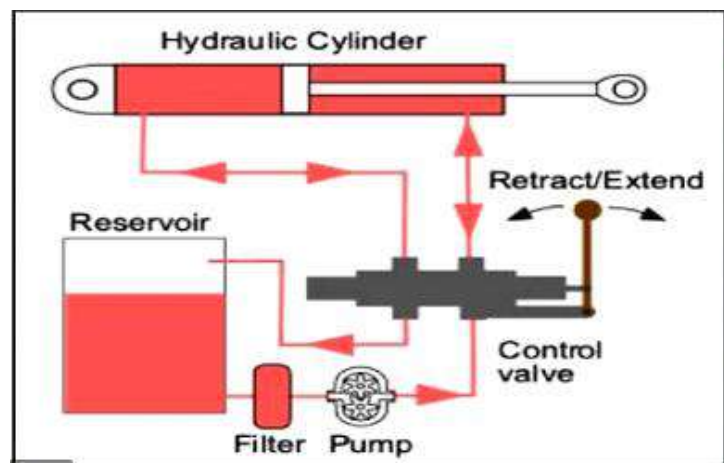
Hoisting crane banyak digunakan dalam pabrik kelapa sawit yakni pada pabrik yang masih menggunakan sterilizer horizontal. Alat ini dapat bergerak maju mundur yang terikat pada mono rel dan mengangkat lori tinggi 12 meter dengan kapasitas 2.5 – 4.0 ton/unit. Alat sejenis juga digunakan juga dalam workshop untuk mengangkat mesin-mesin berat dalam proses perbaikan (maintenance)



Gambar 6.7. Hoisting Crane a) menggunakan wire rope dan b) menggunakan rantai

4. Transmisi Aliran Fluida

Aplikasi teknik fluida yang tidak termampatkan (*incompressible*) diterapkan untuk pemindahan tenaga berdasarkan tekanan (Gambar 6.8). Mekanisme transmisi ini ialah mengisi tabung hidrolik, akibat tekanan dan pertambahan volume tabung *cylindre hydraulic* berakibat piston bergerak. Tekanan yang diberikan melalui pompa. Kekuatan dari hidrolik ini tergantung dari tekanan yang diberikan oleh pompa, dan gesekan dari piston dengan silinder hidrolik.



Gambar 6.8. Fluida transmisi-pipa hidrolik

Sistem ini banyak digunakan dalam transmisi sebagai daya dorong dan tarik dalam alat berat, alat angkut dan seperti traktor, escavator, crane, dalam pabrik antara lain untuk membuka dan menutup klep, menggerakkan roda gigi dan valve. Dalam proses ini digunakan bahan cairan sintetis dan mineral oil, yang diatur dalam instrumen regulator yang dilengkapi dengan selenoid. Alat hydrostatic transmission menggerakkan sesuatu sistem dengan menggunakan pompa piston dan ini dikirim melalui pipa dan menggerakkan benda tertentu.

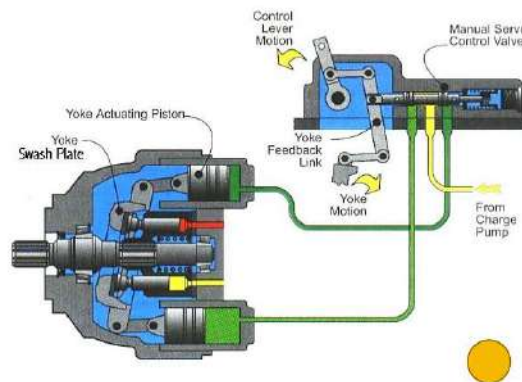
4.1. Pompa

Pompa merupakan power untuk memindahkan fluida ke unit lainnya melalui pipa. Ukuran kapasitas ukuran pompa tersebut tergantung pada tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan/memindahkan bahan tersebut. Umumnya pompa dilengkapi dengan elektromotor dengan range

yang dapat dioperasikan sehingga elektromotor tidak terbakar. Oli yang digunakan sebagai transmisi fluida harus memenuhi persyaratan yaitu rantai karbon tidak mudah putus oleh panas, yang dapat berakibat timbulnya gas dalam fluida sehingga kekuatannya rendah. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal atau pompa hydraulic, tapi umumnya yang berkembang adalah pompa sentrifugal Gambar 6.9.

Pompa Sentrifugal

Pada pompa sentrifugal terjadi perubahan energi yang diakibatkan oleh dua komponen utama pompa, yaitu impeller dan diffuser. Impeller adalah bagian pompa yang berputar, yang mengkonversikan energi mekanik berupa putaran pada poros menjadi energi kinetik. Sedangkan diffuser (*volute casing*) adalah bagian pompa yang diam, yang mengkonversikan energi kinetik menjadi energi tekanan. Sehingga secara umum pompa berfungsi untuk mengubah energi mekanik poros pompa menjadi energi tekanan berupa *head* fluida yang dipompa.



Gambar 6.9. *Hydraulic static transmission* untuk memutar kemudi.

Besar debit fluida yang dialirkan oleh pompa sentrifugal pada putaran konstan, tergantung dari besar tekanan differensial atau head yang dihasilkan pompa. Semakin besar head pompa akan semakin kecil debit aliran fluida yang dialirkan, begitu pula sebaliknya. Nilai dari head pompa vs. kapasitas debit ini dapat dibuat sebuah grafik yang menunjukkan karakteristik pompa. Grafik ini biasanya diikutsertakan oleh produsen pompa pada setiap produknya untuk menggambarkan karakteristik dari pompa yang diproduksi. Bentuk dari kurva head-kapasitas pompa sentrifugal merupakan fungsi dari ukuran dan desain pompa, diameter impeller, dan kecepatan operasionalnya.

4.2 Control Valve

Pompa dilengkapi dengan valve jika tekanan terlalu tinggi dan benda tidak dapat bergerak maka oleh selenoid cairan diarahkan pada bak penampung. Kalau dalam scraper yang bergerak mengangkat bahan adalah rantai yang digerakkan oleh sprocket-elektromotor, sedangkan transmisi fluida yang berperan adalah pompa dengan cairan yang dialirkan dalam pipa yang menggerakkan gear dan memutar sprocket dan menggerakkan mesin. Seperti hugland penggerak screw press dengan fluid transmisi, yang biasanya menggunakan V-belt dengan pulley diganti dengan menggunakan fluid transmission.

4.3 Pipa transmisi fluid

Pipa yang digunakan adalah terbuat dari pipa baja keras atau pipa karet-benang atau yang fleksibel untuk mempermudah perawatan. Pipa ini dipakai untuk menghubungkan bejana cairan, dengan mesin. Akibat tekanan hydraulic timbul panas sehingga dalam perencanaan agar menggunakan pipa hidraulic tahan panas.

4.4 Reservoir Liquid

Tangki oli untuk menampung oli yang keluar dari mesin, di dalam tangki tersebut terdapat oil filter untuk menyaring logam-logam yang terdapat dalam tangki oli tersebut agar tidak merusak pompa.

4.5 Hidraulik dan Piston

Piston dapat digunakan untuk menggerakkan bagian dari mesin seperti escavator. Beban tertumpu pada piston dan tabung hydraulik, ini terbuat dari baja keras, dan memerlukan perawatan yang efektif.

5. Transportasi Aliran Udara

Salah satu proses mekanik dalam transportasi zat padat yang merupakan suatu sistem untuk memindahkan material padat dari suatu tempat ke tempat yang lain. Pneumatic conveyor atau conveyor udara berfungsi untuk memindahkan bahan curah (*bulk load*) di dalam suatu aliran udara yang bergerak melalui pipa (Gambar 6.10)



Gambar 6.10. Pompa hidraulik

Penggunaan pneumatic conveyor banyak diterapkan pada industri makanan dan minuman untuk mengangkut berbagai material kering dan material bubuk. Setiap sistem pneumatik, yang menggunakan pipa atau saluran yang disebut jalur transportasi yang membawa campuran bahan dengan aliran udara. Bahan-bahan ini seperti bahan bubuk mengalir ditumbuk seperti semen, fly ash, dan lain lain. Bahan-bahan ini dapat diangkut dengan mudah ke berbagai tujuan dengan menggunakan aliran udara dengan kecepatan tinggi melalui jalur pipa. Produk dipindahkan melalui berbagai tabung melalui tekanan udara.

Sistem komponen pada pneumatic conveyor

- 1) *Rotary blower/centrifugal fan*, merupakan alat yang digunakan sebagai pembangkit tenaga udara/angin untuk penghembusan dan penghisapan produk.
- 2) *Conveyor pipe*, merupakan alat yang berbentuk pipa yang mengalirkan produk dari bawah ke atas dengan sistem vacum.
- 3) *Cyclone*, merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan produk dari udara yang berbentuk cones dan dilengkapi dengan air lock. Produk dan udara yang masuk kedalam cyclone secara tagensial akan membentuk gerakan spiral yang mengakibatkan adanya gaya sentrifugal, sehingga terjadi pemisahan produk dengan kecepatan konstan. Udara akan keluar melalui outlet sedangkan produk akan keluar melalui air lock.
- 4) *Filter*, merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan udara dari produk yang tidak berhasil dibersihkan oleh cyclone karena efisiensi cyclonehnya antara 70% hingga 90%. Dalam sistem pneumatik, tekanan udara diubah dengan penggerak udara (*air mover*), yang

menghasilkan tekanan atau vacuum. Ketika berada di awal sistem, air mover mendorong udara melalui sistem dan sistem beroperasi di bawah tekanan. Ketika berada di akhir sistem, penggerak udara menarik udara melalui sistem dan sistem berjalan di bawah vakum. Dengan mengendalikan tekanan atau vakum dengan aliran udara di dalam sistem, maka sistem dapat mentransfer material.

Metode pneumatic conveying sistem dibagi menjadi dua yaitu dilute phase dan dense phase.

- a. *Dilute phase system* (system fase encer), pneumatic conveying bergantung pada kecepatan aliran udara. Di awal system, kecepatan aliran udara (dimana material diambil, tertahan di feedpoint), umumnya dianggap sebagai daerah kritis karena udara pada kecepatan terendah dalam seluruh system terdapat pada titik ini. Material turun dari keadaan statis ke dalam aliran udara. Kecepatan udara yang dibutuhkan untuk mengambil bahan tergantung pada masing-masing partikel ukuran dan padatan, tetapi dapat berkisar 3,000 untuk fpm (feet per menit). Dilute phase beroperasi pada kecepatan yang relative tinggi di perbedaan tekanan, yang relative rendah. Untuk merancang pneumatic dilute phase harus menggunakan perhitungan massa (pon bahan/ pon udara). Sedangkan untuk mempertimbangkan suhu udara ambient lokasi, kelembaban, dan altitude (ketinggian tempat).
- b. *Dense Phase* (fase padat). Sistem pneumatic conveying tipe angkut padatan. Dalam system ini, bahan dari penyimpanan dimuat secara gravitasi ke transporter. Setelah transporter penuh, katup inlet bahan dan ventilasi katup ditutup dan dikompresikan udara lalu dicampurkan ke dalam transporter. Dikompresi udara ekstrud material transporter ke conveyor line dank destination. Saat transporter dan conveyor line kosong, udara terkompresi dimatikan dan transporter reloaded. System ini terus terjadi sampai semua material yang dibutuhkan untuk proses tersebut telah ditransfer.
- c. Keuntungan menggunakan pneumatic antyara lain menghemat uang dan ruang, tapi kekurangannya menggunakan energy yang lebih besar dibandingkan dengan conveyor.

Prinsip kerja

- a. Sistem Tekanan Positif (Positive Pressure System) Sistem tekanan positif beroperasi di atas tekanan atmosfer dan digunakan untuk memindahkan bahan dari sumber tunggal atau ganda untuk satu atau beberapa tujuan, jarak yang digunakan menengah dengan kapasitas lebih besar dari yang mungkin dilakukan dengan menggunakan sistem vakum. Terdiri dari rotary airlock, penyaring/ pemisah, susunan siklon, dan blower. Bahan memasuki pipa conveyor dengan tekanan lebih tinggi, melalui perangkat umpan khusus, biasanya katup (rotary airlock valve). Bahan ini sering tersuspensi dalam aliran udara dan bergerak dengan kecepatan yang relatif tinggi tergantung pada ukuran partikel padat. Bahan yang tersuspensi dengan udara dipisahkan pada titik terminal dengan suatu penyaring / pemisah siklon, lalu bahan langsung ke masuk ke pipa proses yang dibuang ke perangkat berkumpulnya debu hilir. Dalam sistem semacam ini, bahan tidak melalui fan/blower. Maka ada dua keuntungan ini. **Pertama**, roda kipas tidak merusak bahan. **Kedua**, kipas tidak mengalami keausan karena bahan. Sistem ini umumnya beroperasi secara terus menerus (continue) bahan terus dimasukkan pada titik awal, dan tiba di tempat tujuan tanpa gangguan. Hal ini memungkinkan sistem semacam ini mudah diadaptasi untuk kapasitas dan aplikasi berat terus menerus. Skema di bawah ini menunjukkan pengaturan dari komponen sistem tekanan positif.
- b. Sistem tekanan negatif yaitu transportasi digunakan dengan sistem hisap. Mekanisme hisap menggunakan prinsip vacuum, yaitu dengan menggunakan blower meng hisap bahan yang diangkut. Posisi penghisap berada pada ujung pipa setelah melalui cyclone. Kelemahan nya perlu pengawasan pipa yang efektif, untuk menghindari dari kebocoran sistem.

Pemindahan bahan granuler dari dilakukan dengan hembusan udara (Compressor atau Blower). Instalasi ini sering digunakan untuk mengangkat bahan seperti Gambar 9. Banyak digunakan dalam proses pengolahan biji-bijian hasil pertanian. Pengangkutan fase udara adalah metode transportasi bahan yang paling umum digunakan. Proses ini menggunakan jumlah udara yang relatif besar untuk membawa jumlah bahan yang relatif kecil dan pada tekanan udara lebih tinggi dari sistem fase padat. Bahan tersebut diangkut dengan kecepatan tinggi melalui sistem saat ditanggihkan di udara. Ini sering disebut sebagai aliran suspensi karena partikel ditahan dalam suspensi dalam udara saat bahan dihembuskan atau dihisap melalui pipa. Untuk menjaga agar material tetap dalam suspensi, perlu mempertahankan kecepatan udara yang minimum, untuk sebagian besar material, adalah orde 2500 - 6000 fpm.

Sistem fase ringan dapat dirancang dengan tiga cara:

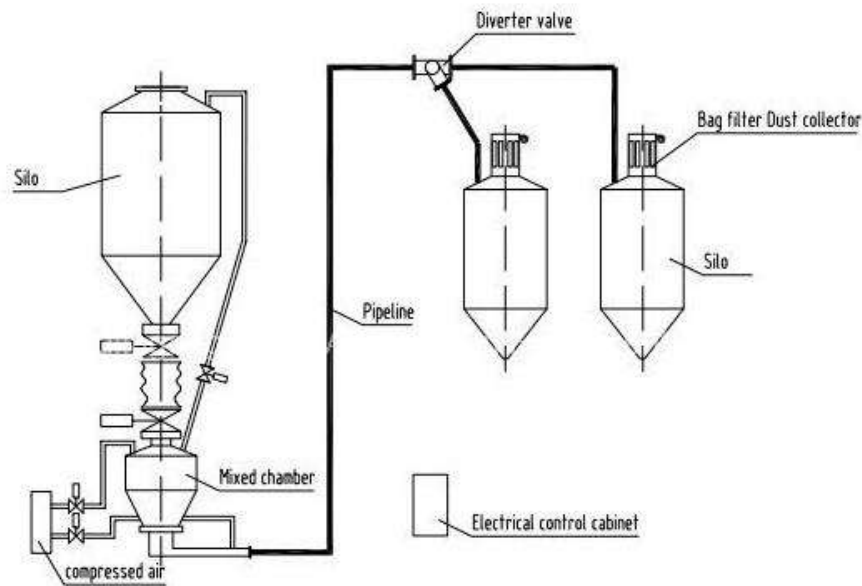
1. Sistem tekanan positif
2. Tekanan negatif atau sistem vakum
3. Kombinasi sistem positif – negatif

Sistem tekanan positif beroperasi di atas tekanan atmosfer dan digunakan untuk menyampaikan bahan curah dari satu atau beberapa sumber ke satu atau beberapa tujuan, jarak menengah dan dengan kapasitas lebih besar dari yang mungkin menggunakan sistem vakum. Sistem fase fluid tekanan positif tipikal akan terdiri dari katup putar; pekerjaan pipa yang akan mencakup tikungan yang diperkuat dengan jari-jari panjang; penerima filter atau siklon / filter pengaturan; dan blower udara perpindahan (tipe akar) positif. Skema di bawah inimenunjukkan pengaturan khas dari komponen sistem tekanan positif:

Aplikasi dari sistem hisap ini adalah :

- Kapasitas renda- tnggi : 1-50 ton
- Kecepatan alir campuran 3000- 8000 ft per menit
- Jarak angkut s/d 600 ft
- Mesin Udara : Displacement positif atau blower
- Tekanan Operasi : 0- 14.7 psig
- Ratio Udara/bahan : 2.0

Produk memasuki jalur konveyor, yang berada pada tekanan lebih tinggi, melalui pemberian umpan khususperangkat, biasanya airlock valve rotary, atau venturi. Produk sering tersuspensi dalam aliran udara, bergerak pada kecepatan yang relatif tinggi tergantung pada ukuran dan kepadatan partikel. Aliran udara material yang tertahan dipisahkan pada titik terminal melalui alat penerima filter/ pemisah siklon, atau dimasukkan langsung ke dalam bejana proses yang dibuang ke perangkat pengumpulan debu hilir (Gambar 6.11). Dalam sistem jenis ini, material tidak melalui kipas / blower. Ada dua keuntungan untuk ini. Pertama, roda kipas tidak merusak material. Kedua, kipas tidak mengalami keausan dari bahan. Sistem ini umumnya beroperasi secara terus menerus - produk dipasok secara konstan di titik awal, dan tiba di tujuan tanpa gangguan. Ini memungkinkan jenis sistem ini mudah diadaptasi untuk aplikasi dosis dan penimbangan berkelanjutan.



Gambar 6.11. Pengiriman bahan dalam processing dengan hembusan udara.

Aplikasi dari sistem hisap ini adalah :

- Kapasitas maksimum : 10 ton
- Kecepatan alir campuran 3000- 8000 fpm
- Jarak angkut < 300 ft
- Mesin Udara ada kipas atau exhaust
- Tekanan Operasi adalah 0-50 & Vacuum

Mekanisme aliran udara yang membawa bahan/materi mengikuti polanya aliran fluida. Untuk setiap material yang diberikan, ada kecepatan transportasi minimum yang diperlukan untuk menyampaikan material, oleh karena itu, laju aliran udara (volume) akan tergantung pada ukuran pipa.

Hubungan aliran udara Kecepatan diatur oleh persamaan:

$$V = \rho \cdot A \cdot v \dots\dots\dots(1)$$

V = laju

aliran udara volumetrik dalam ft^3 / mnt (cfm)

ρ = density udara, lbs/ft^3

A = luas penampang pipa, ft^2

v = kecepatan partikel padatan, ft^2/mnt

atau $v = V / (\rho \cdot A)$

Kinerja sistem pengangkutan pneumatik, dalam hal pencapaian laju aliran material, pada dasarnya tergantung pada resistansi sistem. Semakin tinggi resistansi sistem, semakin tinggi penurunan tekanan dalam sistem atau semakin tinggi tekanan statis kipas. Resistansi sistem (gesekan dinding pipa per unit area) dapat diperkirakan menggunakan berikut ini persamaan:

$$F/A = f \rho V^2 / 2 \dots\dots\dots(2)$$

F = gaya gesek: A = luas pensampang pipa: ρ = density aliran: v = kecepatan fluida: f = konstanta gesekan

Blower

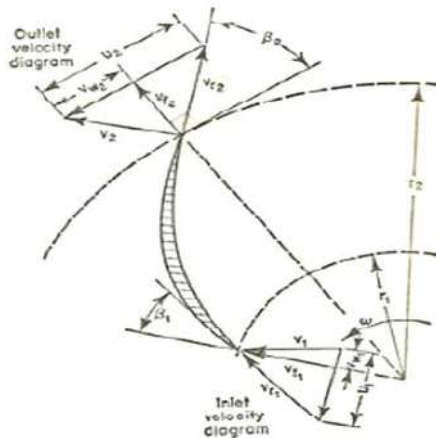
Merupakan alat yang digunakan untuk menggerakkan udara dengan hisapan atau dengan dorongan.

$$H = \frac{u_2^2}{g} \left(u_2 - \frac{QCot(\beta_2)}{2\pi R_2 b_2} \right)$$

$$u_2 = \omega R_2 = 2\pi N R_2 / 60$$

sehingga diperoleh :

$$H = \frac{2\pi N R_2}{60 g} \left(\frac{2\pi N R_2}{60} - \frac{QCot(\beta_2)}{2\pi R_2 b_2} \right)$$



Gambar 6.12. Blower dan sudu-sudu: g = percepatan gravitasi bumi, β_1 = sudut sudu luar lihat gambar, H = Head Pa, Q = debit m^3/s , u_2 = kecepatan sudu bagian luar m/s , R_2 = jari-jari luar blower, m . v = kecepatan sudu, rad/s . N = putaran blower rpm, b_2 = tebal, ketinggian sudu blower m . Daya blower = $\gamma \cdot Q \cdot H$ (watt),

Contoh Soal 1.

Sebuah blower untuk menggerakkan dan memindahkan sekam pada gilingan padi. Diketahui berat jenis campuran udara dan sekam adalah 0.2 lb/ft^3 , luas penampang pipa 0.5 ft^2 , kecepatan alir sekam adalah 100 m/menit . Hitunglah. Kecepatan alir

Jawab: Persamaan (2)

$$V = \rho \cdot A \cdot v \text{ diperoleh } = 0.2 \text{ lb/ft}^3 \times 0.5 \text{ ft}^2 \times 100 \text{ ft/menit} = 10 \text{ lb/menit.}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatia A. (----)Pneumatic Conveying Systems. CED Engineering.com. New York p: 1-57.
- Bowers, W.H, Leslie T. Russell and Gerhard T., Suter (1983). Mechanics of Engineering Materials.John Willey & Sons, Singapore, p;295-308
- Inada Takanori, Miura Takuya, Matsuzaka (2017) Keita Hydraulic Pump and Track Motor for Hydrostatic Transmission, KYB Technical Review, 55Oct 2017. Tokyo. P:33-38.
- MasterTech (2016) Automatic Transmission Mechanical and Hydraulic Systems Phase 2. FCA US LLC p: 1-318
- Naibaho P.M. (1988), Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan pp; 304
- Technical Ldearning Course (2018). Pumping Principle Continuing Education Profesionanl Development Course Ed. James L Six Joseph Casmerata, James Bdevan, Pete Greer and Jack White, Ohio; pp 1-620
- U.S. Department of Energy (1989) Energy Efficiency and Renewable EnergyImproving Fan System Performance a sourcebook for industry. Washington, p: 1-92
- US Departemen Energy (1993) Pump ini Hand book Mechanical Science Washington DC p: Vol 1. P 1-28
- Yamamoto Hiroyuki, Yasuo Harada and Hideyuki Hiraiwa (2012) Introduction of Hydrostatic Transmission Forklift Model FH40-1/FH45-1/FH50. Komatsu Technical Report. Vol. 58 No.165 p.1-6

BAB VII

GRADING DAN PENGAYAKAN

1. Pendahuluan

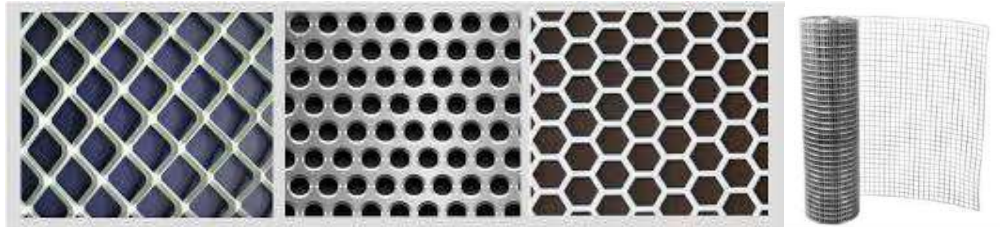
Industri pengolahan hasil pertanian memerlukan teknik separasi (pemisahan) untuk memisahkan bahan utama dari bahan baku atau satu fase dari fase lainnya. Teknik separasi dikelompokkan atas dua kelas :

- 1). *Grading* adalah klasifikasi bahan berdasarkan nilai komersial, penggunaan akhir (kualitas produk), dan standar resmi. Sebagai contoh, penilaian diperlukan untuk menghindari pengolahan lebih lanjut dari noda, manja, atau produk yang tidak memenuhi persyaratan kualitas. Penilaian sebagian besar dilakukan dengan tangan (mis. Inspeksi buah setelah dicuci), tetapi ketika fisik karakteristik juga menunjukkan kualitas produk, penilaian dapat dilakukan melalui mesin. Faktor tingkat yang berlaku dalam berbagai kombinasi untuk semua produk yang dihasilkan di pertaniandapat diklasifikasikan sebagai:
 - 1) Karakteristik Fisika :a) Kadar lembab (moisture kontent), b) Ukuran,c) Tekstur,d) Warna,e) Benda asingf) Bentuk dan g)berat jenis.
 - 2) Karakteristik kimia; a) Analisis (Komposisi), b) Ketengikan, c) indeks asam lemak bebas (untuk bahan yang mengandung lemak),d) Bau dan rasa e)Warna.
 - 3) Biologis:a) Perkecambahan, b) Jenis dan jumlah kerusakan serangga, c) Jenis dan jumlah kerusakan jamur, d) Jumlah bakteri.
- 2) *Sortasi*, merupakan cara seleksi pada produk berdasarkan kesesuaian dengan stanxard. Pada industri penyortiran adalah proses separasi dari produk dan menetapkan produk yang afkir. Pada umumnya dilakukan sortasi pada penilaian bahan baku hasil pertanian yang akan diolah, dan hasil olahan yang sesuai dengan standar.

Mekanikal separasi penggunaan yang sangat tepat pada campuran yang heterogen, dan bukan larutan homogen. Teknik operasi didasarkan pada perbedaan sifat fisika antar partikel seperti ukuran, bentuk atau density. Aplikasi separasi partikel-partikel melalui pemisahan padatan dari gas, tetesan cairan dari gas, padatan dari padatan. Ada 2 cara umum yang digunakan separasi dengan ayakan, sekat atau memberane, seperti ayakan atau filter, yang dapat menahan satu koponen dan meloloskan komponen lainnya. Separasi mekanik dipakai untuk campuran hetgerogen bukan untuk larutan homogen. Pengayakan atau (*screening*) adalah metode pada umumnya digunakan untuk memisahkan partikel semata-mata berdasarkan ukuran. Zat padat dijatuhkan atau dilemparkan ke permukaan ayakan. Partikel yang dibawah ukuran atau yang kecil (*undersize*) atau tingkat kehalusan (*ffines*) lulus melewati bukaan ayak, sedang yang diatas ukuran (*oversize*) atau buntu (tails) tidak lulus. Ayakan tunggal menghasilkan 2 fraksi, yaitu fraksi atas adalah ukuran di atas ukuran lubang dan beraneka ragam ukurannya, demikian juga bahan yang lulu memiliki ukuran lebih kecil dari lubang dengan ukuran dari kasar hingga halus.

Ayakan yang digunakan dalam industri adalah ayakan yang terbuat dari anyaman kawat logam, plastik, batangan logam atau plat logan yang berlobang (*perforated*). Logam yang dipakai beraneka ragam umumnya menggnakan baja tahan karat. Ayakan standar menggunakan ukuran 4-400 mesh. Ayakan dapat dibuat sari kawat yang dianyam, atau plat yang dilobangi atau square bar yang disusun dalam bingkai (Gambar 7.1)

Kontrol ukuran adalah proses ketepatan pemisahan bahan curah menjadi dua atau lebih produk berdasarkan ukurannya. Dalam praktik pengolahan mineral, dua metode mendominasi proses kontrol ukuran adalah: pemisahan dan klasifikasi. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.1 berikut, sedangkan penyaringan menggunakan pola geometris untuk kontrol ukuran, klasifikasi menggunakan perilaku partikel (lebih baik dari 1 mm) gerakan di udara atau cairan (air) untuk kontrol ukuran.



Gambar 7.1. Ayakan dalam satuan mesh

Tabel 7.1. Konversi Mesh dan Millimeter

Mesh	Millimeter	Mesh	Millimeter
3	6.730	45	0.354
4	4.760	50	0.297
5	4.000	60	0.250
6	3.360	70	0.210
7	2.830	80	0.177
8	2.380	100	0.149
10	2.000	120	0.125
12	1.680	140	0.105
14	1.410	170	0.088
16	1.190	200	0.074
18	1.000	230	0.063
20	0.841	270	0.053
25	0.707	325	0.044
30	0.595	400	0.037
35	0.500		
40	0.400		

Secara luas digunakan pemisahan untuk ukuran dari 300 mm ke sekitar 40 μm (mikron), meskipun efisiensinya menurun dengan cepat sejalan dengan kehalusan. Skrining kering umumnya terbatas pada bahan di atas sekitar 5 mm, sementara penyaringan basah turun menjadi sekitar 250 μm . Meskipun ada jenis ayakan yang mampu melakukan pemisahan yang efisien untuk ukuran hingga 40 p(pico)M, juga dilakukan untuk klasifikasi tertentu pada ukuran di bawah 250 pM

Ukuran efisiensi ayakan yang paling umum digunakan adalah berat kumulatif material yang telah melewati ayakan dalam interval waktu, dibandingkan dengan total berat *undersize* dalam umpan, dinyatakan dalam persentase. Probabilitas (p) bahwa setiap partikel akan melewati bukaan persegi di ayakan kawat anyaman adalah diatur oleh perbedaan antara diameter rata-rata (d) dan dimensi pembukaan (L), dan diameter kawat (t). Penemu Swedia, Dr. Fredrick Mogensen, memprediksi probabilitas dari partikel yang melewati lubang ayakan mesh persegi, jika mendekati 90 derajat ke alat dari membuka, dan tidak menyentuh kawat batas, seperti

$$p = K [(L-d) \div (L + t)]^2 \dots\dots\dots(1)$$

yang dapat dilihat bahwa kemungkinan partikel berukuran kecil melewati celah akan berkurang secara eksponensial saat diameternya mendekati dimensi pembukaan, dan meningkat secara eksponensial ketika diameter kawat (t) mendekati nol. Dapat juga dicatat bahwa, jika partikel dihilangkan ($d = 0$), persamaannya sama dengan persen area terbuka dari kawat mesh persegi ayakan $\div 100$. Jadi jika p sebanding dengan kapasitas, dalam kapasitas ayakan kawat mesh persegi harus sebanding dengan persen area terbuka, suatu hubungan yang digunakan kemudian dalam menurunkan faktor koreksi kapasitas.

Saat ayakan, yang mendukung lapisan statis dari bahan dengan rentang ukuran yang diperluas, diguncang, fenomena yang disebut "*trickle stratification*" menyebabkan partikel bergerak dari yang lebih halus di bawah ke kasar di atas. Gerakan goyang mungkin di bidang horizontal dari ayakan, melingkar atau bolak-balik, atau dengan komponen vertikal, atau mungkin getaran diterapkan langsung ke kawat ayakan. Pada contoh di atas, partikel dalam fraksi lebih kecil dari $1/8$ yang mencapai permukaan ayakan memiliki peluang melewati celah yang diungkapkan oleh fungsi probabilitas Mogenssen. Maka idealnya, untuk setiap diameter partikel rata-rata kurang dari $1/8$ ", jumlah partikel berdiameter d yang akan lulus dalam satuan waktu adalah produk dari fungsi probabilitas dikalikan dengan berapa kali sebuah partikel disajikan pada sebuah lubang (tanpa menyentuh kawat batas).

Jadi gerakan ayakan, yang diperlukan agar bisa berfungsi, juga dapat memiliki efek membatasi kapasitasnya, dalam hal tingkat kelolosan per unit area. Jenis yang berbedagerak digunakan dalam desain mesin penyaringan, dan masing-masing memiliki kekhususan karakteristik. Sebagian besar mesin skrining modern dapat dipilah menjadi empat terpisah

- a) The Gyrotory Screen: 285 rpm, dia lingkaran lingkaran 2-1 / 2".
- b) Ayakan Gemetar: 475 rpm, stroke 1 ", pitch nol, 6 derajat kemiringan.
- c) Ayakan Getar Cenderung: 1.200 rpm, 1/4 "lingkaran diameter vertikal.
- d) Ayakan Bergetar Horizontal: 840 rpm, stroke $\frac{1}{2}$ "pada 45 °.

Masing-masing memiliki dia 0.063 ", ayakan kawat dengan pembukaan jelas $1/8$ ", bergerak di bawah partikel yang bepergian pada asumsi 20 fpm, untuk A, 40 fpm untuk B., 80 fpm untuk C, dan 60 fpm untuk D. Rincian penghapusan perhitungan, perkiraan jumlah bukaan yang disajikan ke partikel per detik adalah A. 200; B. 64; C. 98; D.50. Waktu yang tersedia untuk partikel jatuh melalui pembukaan, dalam detik $\times 10^{-3}$, adalah A. 5.0; B. 15.6; C. 10.2; D. 20.0. Jika diasumsikan bahwa probabilitas lewat dari partikel berukuran kecil tunggal berbanding terbalik dengan jumlah bukaan per detik lewat di bawah, karena gangguan dengan kabel batas, probabilitas relatif dalam setiap kasus sama dengan waktu yang tersedia. Kemudian, pada premis yang disebutkan sebelumnya itu probabilitasnya berbanding lurus dengan jumlah peluang (pembukaan) per kedua, produk dari dua probabilitas persis sama untuk setiap kasus. Waktu untuk partikel teoretis ini melewati celah, dari pendekatan pada 90° dan tanpa menyentuh kawat batas, adalah 3,3 detik $\times 10^{-4}$. Rasio waktu yang tersedia di setiap kasus untuk waktu yang dibutuhkan adalah A. 15.2; B. 47.3; C. 30.9; D. 60.6, yang mengarah pada kesimpulan yang sama seperti sebelumnya. Kesimpulan yang benar adalah itu klaim kinerja yang mendukung desain tertentu, apakah Kategori A, B, C, atau D menjadi valid, harus berdasarkan hasil uji perbandingan yang ditunjukkan.

2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Ayakan

2.1 Faktor Material

Partikel dalam bahan curah kering ditemukan dalam berbagai bentuk, ukuran, permukaan, kepadatan, dan kadar air. Setiap kondisi harus diperhitungkan ketika mencoba untuk memprediksi kinerja ayakan, melalui pengaruhnya pada kapasitas dalam hal berat melewati ayakan per unit area. Efek gabungan bentuk partikel, tekstur permukaan, dan kelembaban permukaan atau internal, pada kinerja ayakan, atau "kemampuan ayakan", tidak tergantung pada variabel-variabel ini tetapi berada di luar jangkauan solusi empiris yang hanya berdasarkan ukuran dan kepadatan. Informasi yang pasti tentang pengaruhnya harus diperoleh dari pengujian laboratorium yang sebenarnya.

a. Ukuran dan Bentuk

Bentuk butiran individu dapat bersudut, bulat, asikular, ovaloid, bersisik, atau lembek, ini dapat dicampur dalam bahan yang sama, seperti serbuk kayu di serpihan kayu. Pemisahan ukuran cutpoint di sebagian besar aplikasi penyaringan berkisar dari 4 " hingga 325 mesh. Cutpoint menentukan ukuran partikel minimum yang dipertahankan di ayakan, dan maksimum melewati ukuran partikel. Kecuali jika partikelnya asikuler, platy, ovaloid atau bola sempurna, ia mungkin (tetapi tidak harus) diukur oleh dimensi terbesarnya.

b. Massa Jenis

Untuk distribusi bentuk dan ukuran tertentu, kepadatan bulk dalam lb./cu. ft. (PCF) untuk material apa saja akan berbanding lurus dengan berat jenisnya. Skrining pada dasarnya adalah volumetrik pengukuran, tetapi kapasitas, atau laju perjalanan melalui ayakan, biasanya dipetakan dalam unit berat per satuan waktu, berdasarkan kepadatan massal standar 100 PCF. Efektifitas material dengan densitas curah berbeda maka harus disesuaikan dengan rasio PCF: 100.

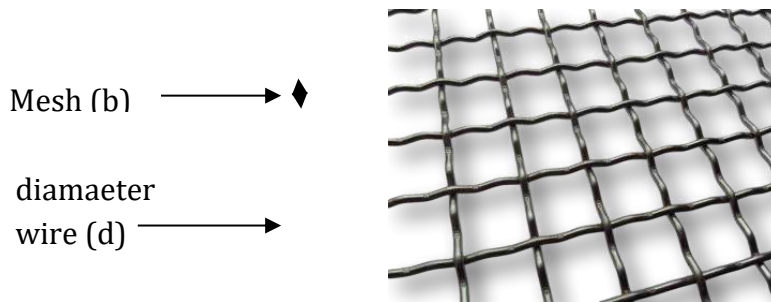
c. Kelembaban

Kelembaban partikel granular dapat diserap, diadsorpsi, atau keduanya. Kondisi mana pun bisa merusak kemampuan ayakan, tetapi toleransi serap kelembaban permukaan jauh lebih besar secara internal daripada untuk eksternal. Kelembaban permukaan menyebabkan partikel saling menempel, menahan stratifikasi. Kelembaban permukaan yang diijinkan untuk penyaringan kering granular atau pelet anorganik tanpa gangguan partikel berkisar 3% dari tulang kering untuk bukaan ayakan di bawah 20 mesh, untuk bukaan 16 mesh ". Kelembapan yang terserap di tanah yang permeabel seperti tanah liat dapat menghalangi celah ayakan dengan penumpukan kumulatif dari ekstrim yang melekat pada kabel ayakan. Butir penyerap seperti jagung, kedelai, gandum dll. akan menyaring bebas setelah pengeringan hingga 13-15% internal kelembaban. Penapisan serpihan kayu, serpihan dan serbuk gergaji tidak terganggu hingga sekitar 30% kelembaban internal; Namun, dalam uji laboratorium dengan serbuk gergaji, efisiensi berkurang hampir 60% ketika kelembaban ditingkatkan menjadi 68%.

c. Distribusi Ukuran

Distribusi ukuran partikel dalam umpan curah granular adalah karakteristik utama yang mengatur tingkat bagian yang terlalu kecil melalui pembukaan ayakan yang lebih besar dari partikel terkecil dan lebih kecil dari partikel terbesar dalam sampel representatif bahan. Distribusi ukuran diukur dengan analisis saringan, menggunakan serangkaian standar *wire mesh* ayakan dengan bukaan persegi yang maju, dalam standar Tyler yang umum digunakan skala 7, pada tingkat tetap dari 1,05 " hingga 0,0029" (200 mesh). Distribusi ukurannya dinyatakan sebagai persentase berat setiap fraksi antara saringan berturut-turut dalam suatu rangkaian. Jika beratnya diplot pada sumbu y terhadap ukuran rata-rata setiap fraksi pada x-sumbu, hasilnya akan menyerupai kurva distribusi frekuensi.

Bukaan ayakan dinyatakan dengan $a = (25.4): (\text{mesh}) - d$, dimana a = bukaan lobang, b = ukuran lobang disebut dengan mesh d = diameter wire.



Gambar 7.2. Ayakan

Ayakan Standar Tyler bukaan diberi jarak yang sama pada skala log (sumbu y), dan persen berat kumulatif dipertahankan (atau lewat) pada skala probabilitas (sumbu x). Perluasan probabilitas skala keluar dari rata-rata menekankan ekstrem dari distribusi ukuran partikel.

2.2 Faktor Mesin

a. Media Pemutaran

Banyak jenis media penyaringan. yang paling umum, tersedia dalam karbon baja, stainless atau campuran logam lainnya, adalah ayakan kawat anyaman, dibuat dengan bukaan itu bisa berbentuk persegi atau persegi panjang. Lainnya termasuk bilah profil, pelat berlubang, poliuretan dan karet Gambar 7.1. Pentingnya membuat pilihan media terbaik untuk apa pun aplikasi penyaringan tidak bisa dilebih-lebihkan. Umumnya mesin penyaringan, media akan mempengaruhi kinerja dalam hal kapasitas, efisiensi dan biaya. Produsen peralatan ayakan akan menawarkan rekomendasinya.

b. Gerakan

Penyaringan membutuhkan gerakan relatif antara saringan dan massa partikel. Dalam beberapa kasus khusus saringan diam, sebagian besar aplikasi penyaringan komersial, saringan massa partikel mengalir di atas ayakan yang diaplikasikan secara mekanis. Kecepatan laju aliran volumetrik dari massa partikel di atas saringan, dimaksudkan untuk meningkatkan aliran dan berlalunya ukuran yang lebih kecil melalui saringan. Gerakan berbeda, tergantung pada desain penapisan mesin. Mungkin melingkar di bidang horizontal; berputar, dengan osilasi goyang vertikal ditumpangkan pada gerakan melingkar; berosilasi dalam garis lurus, gerakan harmonik sederhana; bergetar dengan gerakan memutar di bidang vertikal; bergetar dengan gerakan pitching linier pada ayakan horisontal yang memiliki komponen vertikal dan horisontal; atau hanya bergetar di arah vertikal. Dalam setiap kasus, permukaannya miring seperti yang diperlukan untuk mendapatkan massa yang diinginkan mengalir, biasanya pada kecepatan antara 40 dan 100 fpm. Sebagian besar desain media ayakan, kawat anyaman, direntangkan kencang di atas bingkai pendukung dan getaran diterapkan melalui bingkai. Getarannya dipaksa, biasanya dengan memutarberat tidak seimbang digerakkan oleh motor listrik. Untuk gerakan memutar di bidang horizontal, ketidakseimbangan diputar pada sumbu vertikal. Gerakan melingkar di bidang vertikal dihasilkan oleh ketidakseimbangan berputar pada sumbu horizontal. Gerakan garis lurus dihasilkan oleh satu atau lebih dari sepasang ketidakseimbangan bertentangan pada sumbu horizontal.

Ketidakseimbangan didorong oleh motor listrik, biasanya melalui transmisi V-belt, atau dalam beberapa desain yang terhubung langsung untuk, atau dipasang pada, poros motor. Konveyor bergetar pegas dengan frekuensi alami terkadang disesuaikan versi seimbang atau tidak seimbang, untuk menyaring aplikasi. Dalam beberapa pengecualian, getaran diterapkan langsung ke media ayakan yang dipasang pada bingkai stasioner. Gaya bergetar dapat dihasilkan dengan memutar ketidakseimbangan, atau dengan vibrator elektromagnetik. Detail mekanis dan klaim kinerja untuk setiap jenis dijelaskan, lebih atau kurang akurat, dalam literatur pabrikan.

i. Gerakan Horizontal (*Shaking Grate*)

Sebagian besar desain menggunakan gerakan pada bidang horizontal, amplitudo dan frekuensi (rpm) tetap. Amplitudo berkisar dari $1/2$ " hingga $1\ 1/2$ " dalam osilasi, (garis lurus), dan diameter rata-rata hingga 3" dalam desain lingkaran dan elips. Garis lurus gerak berosilasi dihasilkan oleh satu atau lebih pasangan bobot yang tidak seimbang yang berputar berlawanan sumbu horizontal. Gerakan melingkar dihasilkan oleh bobot yang berputar pada sumbu vertikal. Sumbu mungkin sedikit condong untuk menghasilkan efek berputar. Frekuensi, atau rpm, dipilih untuk akselerasi puncak hingga $3\ 1/2$ g. Sumbu rotasi dapat berosilasi sedikit untuk menghasilkan satu gerak berputar. Dalam semua desain girratory (gerak berputar) kecuali, permukaan ayakan sedikit miring untuk mendorong atau meningkatkan aliran material. Pada kemiringan 5° , komponen gaya yang normal ke permukaan adalah satu fraksi kecil, sekitar $1/4$ hingga $1/3$, dari berat massa partikel di permukaan.

Ini adalah karakteristik yang membedakan dari semua desain gerak horizontal: massa partikel meluncur dengan lancar di atas ayakan tanpa memantul, memberikan partikel berukuran terlalu kecil yang bertingkat kesempatan terbaik untuk menemukan dan melewati celah (Gambar 7.3a). Keuntungannya agak berkurang di mana ukuran partikel bisa tersangkut di celah, menghasilkan ayakan tumpat. Untuk alasan itu, mesin-mesin ini semua harus menggabungkan beberapa cara untuk mempengaruhi permukaan ayakan dari bawah untuk mengusir partikel yang tersangkut. Yang paling umum adalah bola elastomerik (memantul), didukung di bawah ayakan oleh kawat kasar mesh, dan terkandung dalam kelompok tiga atau lebih dalam matriks area terbatas. Acak dampak bola terhadap ayakan mencegah perkembangan kebutaan progresif (lobang tertutup). Sebagai manfaat tambahan, turbulensi lokal sementara yang disebabkan oleh dampak.

ii. Gerakan di Ayakan Vertikal (*Vibrating Screen*)

Ayakan getar ditandai oleh komponen gerak di bidang vertikal mulai dari $\pm 3,5$ hingga 6 g atau lebih. Efek mengangkat dan menjatuhkan memperluas lapisan material; individu partikel memantul di atas ayakan dengan mengurangi kesempatan untuk menemukan dan melewati sebuah pembukaan. Ini adalah kerugian, dibandingkan dengan desain gerakan horizontal yang lebih halus.

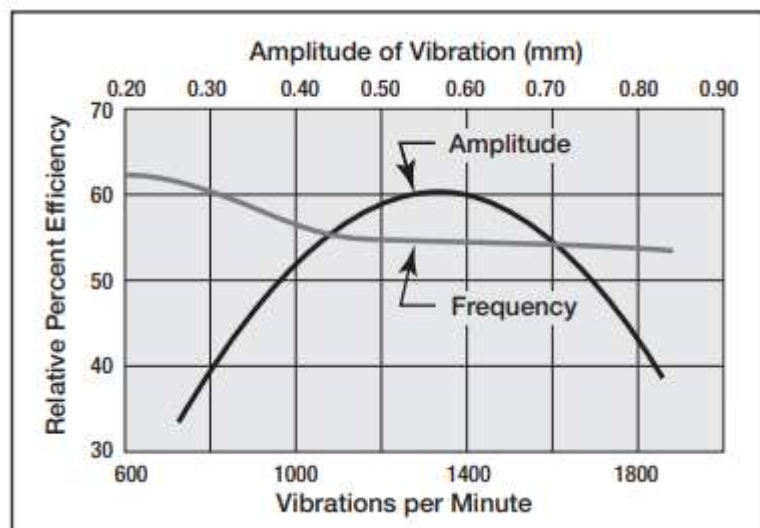
Tetapi pada sisi positifnya, komponen gaya normal yang kuat bertindak untuk mengeluarkan partikel yang mendekati ukuran terjebak di bukaan, sehingga menahan kebutaan progresif, dan ekspansi turbulen dari tempat tidur material mencegah pengepakan. Keunggulan ini mendapatkan kekuatan dengan bertambahnya kedalaman lapisan dan ukuran partikel.

Dua jenis ayakan bergetar yang paling banyak digunakan adalah ayakan miring dan horizontal. Dalam ayakan miring, ketidakseimbangan tunggal, berputar pada sumbu orizontal, menghasilkan lingkaran gerak di bidang vertikal. Karena gerakan ini tidak memiliki sifat transportasi positif, ayakan permukaan miring pada $15-20^\circ$ menyebabkan massa partikel bergerak pada kecepatan 60-100 fpm. Ayakan horizontal menggunakan sepasang ketidakseimbangan, berputar berlawanan arah secara paralel sumbu horizontal, untuk menghasilkan gerakan garis lurus bolak-balik, cenderung ke bidang permukaan ayakan pada $40-50^\circ$. Kecepatan pergerakan pada rentang permukaan horizontal antara 60 dan 80 fpm, dan dapat ditingkatkan jika perlu dengan memiringkan ayakan ke bawah hingga sekitar 10° . Kinerja ayakan yang bergetar dapat dioptimalkan untuk aplikasi apa pun dengan mengubah amplitudo dan frekuensi (cpm atau rpm).

Tes telah menunjukkan tingkat penyaringan lebih responsif terhadap perubahan dalam amplitudo daripada di frekuensi (Gambar 7.4), meskipun frekuensi yang lebih tinggi membantu dalam menahan buta ukuran dekat. Sebagai aturan umum, amplitudo harus meningkat dengan ukuran partikel, atau meningkat kedalaman bed, dan frekuensi disesuaikan untuk mempertahankan akselerasi puncak dalam kisaran normal 4 - 6. Amplitudo dan frekuensi terkait dengan akselerasi puncak harmonik sederhana gerak, atau akselerasi sentripetal dalam gerakan melingkar, dalam rumus yang disederhanakan $g = 1,42 N^2 S^*$, (2) dimana g adalah kelipatan percepatan normal karena gravitasi; N = frekuensi (rpm atau cpm) S = total stroke.

3. Karakteristik Pengayakan

Kinerja setiap mesin penyaringan dapat dinyatakan dalam dua variabel: kapasitas, dalam satuan ton atau pound per jam, dan efisiensi, sebagaimana didefinisikan sebelumnya. Ini adalah tidak independen; efisiensi biasanya, tetapi tidak selalu, bervariasi berbanding terbalik dengan pemuatan. Efisiensi "sempurna komersial" dikatakan 15 menjadi 95%, tetapi ini jarang dicapai secara aktual praktek, 85-90% menjadi lebih realistis ketika formula empiris daripada tes yang sebenarnya hasilnya digunakan untuk memprediksi (menebak) persyaratan area ayakan.



Gambar 7.3. Hubungan vibrasi permenit dengan efisiensi relatif

"Screenability" pada dasarnya adalah ukuran tingkat stratifikasi granular spesifik materi untuk dipisahkan. Ketika pengujian dengan skala sampel yang tidak layak representatif, tes laboratorium sederhana menggunakan pengocok saringan dapat melengkapi secara empiris perhitungan kapasitas untuk titik potong di bawah ini sekitar 8 mesh. Tes kemampuan ayakan hanya membutuhkan pengocok saringan laboratorium (W. S. Tyler Ro-Tap adalah lebih disukai), suatu uji saringan dengan pencocokan ayakan wire mesh-nya, atau dekat dengan, titik potongnya dievaluasi, panci pengumpul di bawah saringan dengan stopwatch. Tujuan dari tes ini adalah untuk membandingkan waktu pemulihan *undersize* pada tingkat kedalaman dasar bedengan yang berbeda ayakan. Rentang interval waktu dan kedalaman yang diuji dipilih untuk mengurung materi yang diharapkan pada kedalaman dan waktu retensi aplikasi yang diusulkan. Tes yang dilakukan diLaboratorium Triple / S Dynamics dapat digunakan sebagai contoh. Bahannya adalah pasir dari deposit pasir silika berbeda, memiliki analisis ayakan diplot pada log-probabilitas grid di Gambar. 2. Kedalaman unggun diuji, pada ayakan uji 40 mesh (US std), adalah 1/4 ", 1/2", dan 3/4 ". Sebagian representatif dari sampel asli dimuat ke kedalaman yang dipilih pada tes ayakan, lakukan dengan hati-hati untuk menghindari guncangan, dan shaker dan dioperasikan secara berurutan interval waktu, menimbang isi yang terakumulasi dalam panci berukuran kecil setelah 5, 10, 15,

dan 60 detik, dan setelah itu pada 1 menit. Interval sampai tidak ada peningkatan lebih lanjut dalam akumulasi ukuran terlalu kecil.

Kurva tidak dapat digunakan untuk memprediksi kinerja mesin penyaringan tertentu yang tidak sama persis dengan aksi pengocok saringan laboratorium, tetapi mereka memberikannya wawasan yang berguna tentang karakteristik stratifikasi sampel yang diuji. Ini memiliki hubungan langsung pada hubungan antara kapasitas dan efisiensi dalam yang diusulkan aplikasi. Waktu retensi, pada ayakan dengan panjang tertentu, berbanding terbalik dengan kecepatan massa partikel bergerak melintasi ayakan. Kedalaman bed berbanding lurus untuk memberikan laju umpan dan berbanding terbalik dengan kecepatan, yang dinyatakan oleh rumus

$$d = \frac{400 F}{\rho V W} \text{-----(3)}$$

dimana

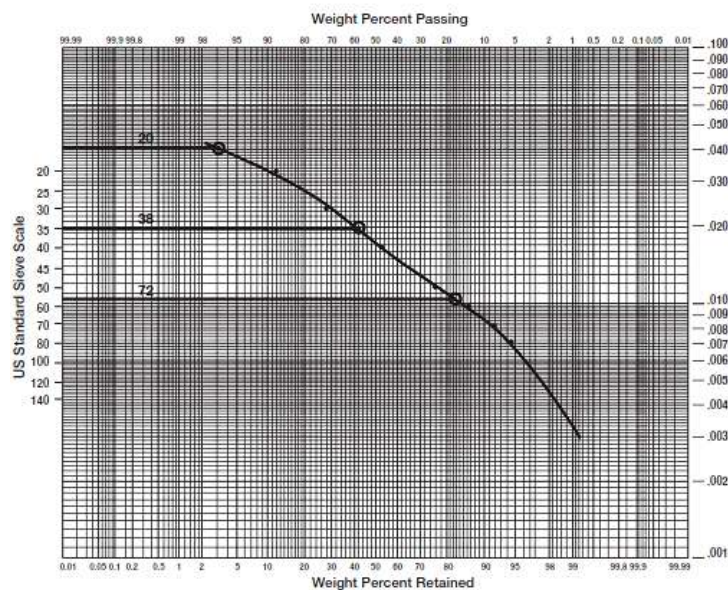
d = Bed Depth, in

F = Feed Rate, stph

ρ = Massal Kepadatan, lb./ft³ (

V = Travel Rate, ft./min.

W = Lebar Ayakan Bersih, ft.



Gambar 7.4. Pemisahan pasir Silika

Tujuan dari Uji Stabilitas adalah untuk mengevaluasi hubungan antara retensi kedalaman waktu dan wadah ayakan. Dari uji kemampuan ayakan, efisiensi pada 15 detik pada 40m. ayakan dengan kedalaman tempat tidur awal 1/4 " adalah 97%. Ketika kedalaman ditingkatkan menjadi 1/2 ", efisiensi pada 15 detik turun menjadi 78%, pengurangan 20%. Pada kedalaman 3/4 ", efisiensi adalah 37%, pengurangan 62%.

3.1 Neraca Massa Ayakan

Neraca bahan sederhana pada satu ayakan dapat dituliskan dan ini dapat digunakan untuk menghitung rasio umpan, fraksi kasar, dan limpahan bawah analisis ayak dari ketiga arus dan pengetahuan tentang diameter potong yang dikehendaki umpamakan. F = laju aliran massa, D = laju aliran massa limpahan atas, B = laju aliran massa limpahan bawah, x_F = fraksi massa bahan A di dalam umpan, x_D = fraksi massa A dalam limpahan atas, x_B = fraksi massa A dalam limpahan bawah.

Fraksi massa bahan B di dalam umpan, limpahan atas, dan limpahan bawah adalah $1 - x_F$, $1 - x_D$ dan $1 - x_B$. Oleh karena total bahan yang diumpamakan ke ayakan harus meninggalkan ayak sebagai limpahan bawah atau limpahan atas:

$$F = D + B \text{ -----(4)}$$

Bahan A di dalam umpan harus pula keluar dalam kedua arus proses

$$Fx_F = Dx_D \text{ dan } Bx_B \text{ -----(5)}$$

Eliminasi B dari Pers 1-1 dan 1-2 memberikan

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B} \text{ -----(6)}$$

$$\text{Eliminasi D menghasilkan } \frac{B}{F} = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_B} \text{ -----(7)}$$

Efektivitas ayakan adalah satu ukuran tentang keberhasilan ayak dalam memisahkan bahan fraksi A dan B secara tajam. Jika ayak itu berfungsi secara sempurna, semua bahan A akan terdapat didalam limpahan atas dan semua bahan akan terdapat didalam limpahan atas dan semua bahan B dalam limpahan bawah. U yang masuk bersama umpan. Ukuran umum efektivitas adalah rasio bahan kasar A yang sebenarnya berada didalam limpahan atas terhadap kuantitas A yang masuk bersama umpan. Kuantitas ini adalah Dx_D dan Fx_F .

$$\text{Jadi } EA = \frac{Dx_D}{Fx_F} \text{ ----- (8)}$$

Dimana EA ialah efektifitas ayak atas dasar fraksi kasar. Demikian pula efektifitas EB yang didasarkan atas bahan yang diberikan oleh:

$$EB = \frac{B(1-x_B)}{F(1-x_F)} \text{ -----(9)}$$

Efektivitas menyeluruh gabungan dapat didefinisikan sebagai hasil kali dari kedua ratio individual tersebut, dan jika dihasil kali ditandai dengan E,

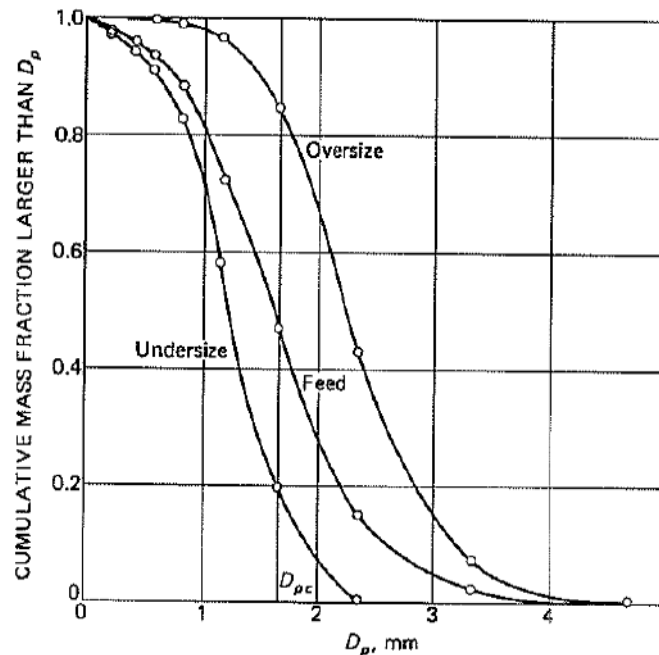
$$E = EA \cdot EB = \frac{DBx_D(1-x_B)}{F^2x_F(1-x_F)}$$

substitusi D/F dan B/F dari pers. (3) dalam persamaan itu memberikan

$$E = \frac{(x_F - x_B)(x_D - x_F)x_D(1-x_B)}{(x_Dx_B)2(1-x_F)x_F} \text{ -----(10)}$$

Soal 1. Satu campuran kuarsa yang mempunyai analisis ayak seperti pada Table 7.2. di ayak melali ayak 10 mesh. Analisis ayak kumulatif dan lipahan atas dan limpahan bawah terlihat pada tabel 7.2. Hitunglah rasio massa limpahan atas dan limpahan bawah terhadap umpan dan efektifitas menyeluruh ayak tersebut.

Penyelesaian. Analisis kumulatif umpan, limpahan atas, dan hasil dipetakan pada Gambar 7.3. Diameter titik potong ialah ukuran mesh ayak dari Tabel 7.2 ialah 1.651



Gambar 7.5. Hubungan laju aliran umpan, limpahan atas dan limpahan bawah

Tabel 7.2. Hubungan diameter dengan fraksi limpahan

Mesh	D_F , mm	Fraksi kumulatif lebih kecil dari D_F		
		Umpan	Limpahan Atas	Limpahan Bawah
4	4.699	0	0	
6	3.327	0.025	0.071	
8	2.363	0.150	0.430	0
10	1.651	0.470	0.850	0.195
14	1.168	0.730	0.907	0.580
20	0.833	0.885	0.990	0.830
28	0.589	0.940	1.000	0.910
35	0.417	0.960		0.940
65	0.208	0.980		0.975
Pan		1.000		1.000

$$x_F = 0.47$$

$$x_D = 0.85$$

$$x_B = 0.195$$

Dari persamaan 1-3 rasio limpahan atas terhadap umpan adalah

$$\frac{D}{F} = \frac{0,47-0,195}{0,85-0,195} = 0,420$$

Rasio limpahan bawah terhadap umpan ialah

$$\frac{B}{F} = 1 - \frac{D}{F} = 1 - 0,42 = 0,58$$

Efektivitasnya menyeluruh dari persamaan (7)

$$E = \frac{(0,47-0,195)(0,85-0,87)(1-0,195)(0,85)}{(0,85-0,195)^2(0,53)(0,47)} = 0,669$$

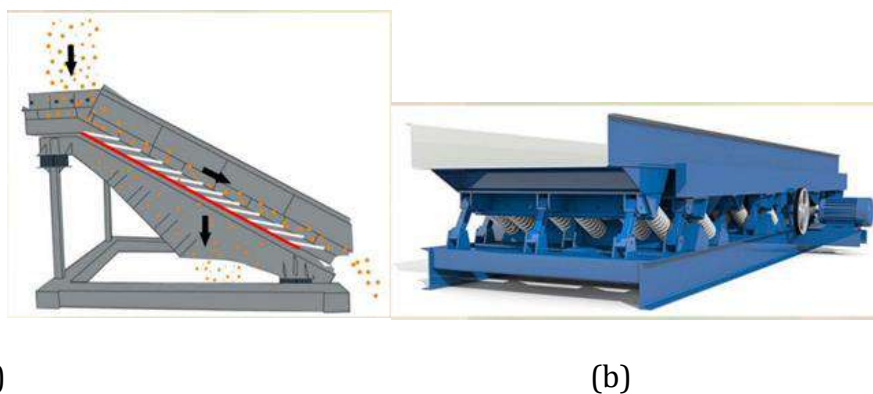
3.2 Bentuk Ayakan

3.2.1 Ayakan Stasioner dan Grizli

Grizli (Gambar 7.6a) adalah kisi-kisi yang terbuat dari batangan logam dengan posisi sejajar yang dipasang pada rangka stasioner miring. Umpan yang jatuh di sisi paling atas dan bahan yang tidak lulus akan bergelinding ke bawah melalui ujung ayakan sedang yang lolos ditampung secara khusus dan diproses lebih lanjut, sedangkan yang tidak lolos umumnya dikembalikan pada mesin giling untuk memperkecil ukuran baik dengan pemecahan maupun dengan pengupasan.

3.2.2 Ayak Gyration

Hampir semua ayakan menghasilkan fraksi berukuran, bahan-bahan yang kasar dikeluarkan terlebih dahulu, dan yang halus kemudian. Cara ini terlihat pada ayakan datar girasi (*gyrating flat screen*). Ukuran besar selalu berada di bagian atas sedang yang halus berada dibagian bawah, dilengkapi dengan alat pembuang dari bagian atas dan tampungan pada bagian bawah.



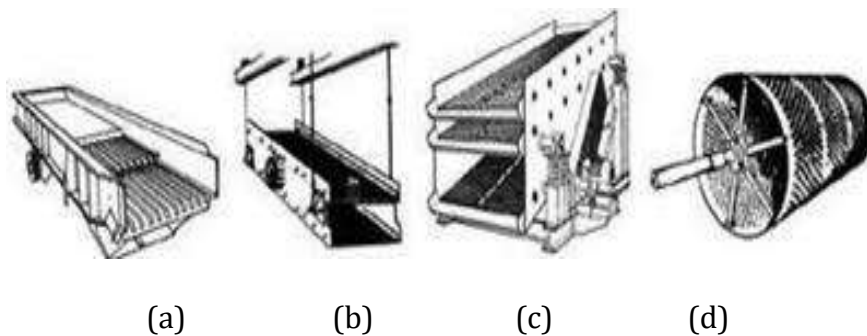
Gambar 7.6. Arah gerakan ayakan. (a) Ayakan posisi menurun dengan gaya turun naik, b) Gerakan maju mundur dan bergetar



Gambar 7.7. Ayakan bergoyang dengan 3 tingkat dan menghasilkan 3 fraksi ukuran



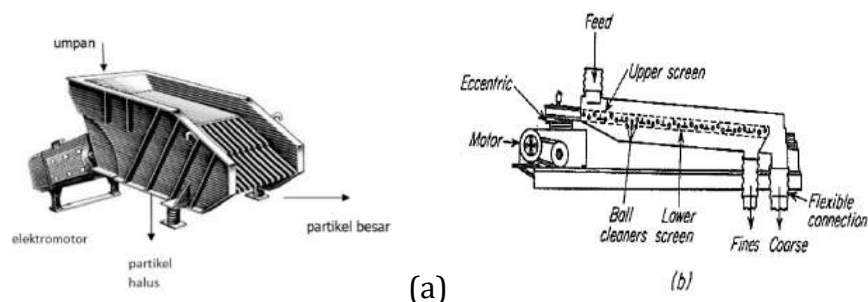
Gambar 7.8. Revolving Screen kapasitas besar



Gambar 7.9. Bentuk Screen a) Grizli screen, b) Shaking screen, c) Vibrating Screen, d) Revolving screen

3.2.3 Ayakan vibrasi

Ayakan yang digerakkan dengan cepat dengan amplitudo kecil, materi yang dipisahkan berukuran lebih kecil, ini dilakukan untuk mempermudah bahan melewati lubang halus. Gerakan ini biasanya dilakukan secara mekanik atau elektrik. Ayakan ini sering disebut dengan vibrating screen (Gambar 7.12), Ada yang bentuk dengan cara bergoyang horizontal (Gambar 7.7; 7.9b), dan ada yang bergoyang melingkar (*twist*).



Gambar 7.10. Ayak girasi (a) penggoyang vertikal mesin berat (b) penggoyang horizontal

3.2.4 Ayakan Bergetar (*Shaking Grate*)

Ayakan bergetar adalah mesin penyaringan yang paling penting dan serbaguna untuk aplikasi pemrosesan mineral. Mereka memiliki permukaan skrining persegi panjang (disebut skrining-skrining) dengan umpan dan debit di ujung yang berlawanan. Pada dinding yang bergetar, permukaan penyaringan dengan bukaan ayakan yang diinginkan (skrining penyaringan) digetarkan oleh unit vibrator / exciter. Kinerja pemisahan ukuran dari 300 mm dalam ukuran hingga 45 μm yang digunakan dalam berbagai ukuran, penilaian, scalping, dewatering, penyaringan basah, dan aplikasi mencuci. Ayakan bergetar digetarkan untuk membuang partikel dari permukaan penyaringan sehingga mereka dapat kembali ditampilkan ke ayakan, dan untuk membawa partikel di sepanjang ayakan (Gambar 7.11). Getaran juga mengangkat partikel besar keluar dari lubang (Jika partikel besar tidak diangkat, itu akan menyebabkan ayakan tertutup).



Gambar 7.11. Ayakan bergetar mobil yang dapat dipindah-pindah

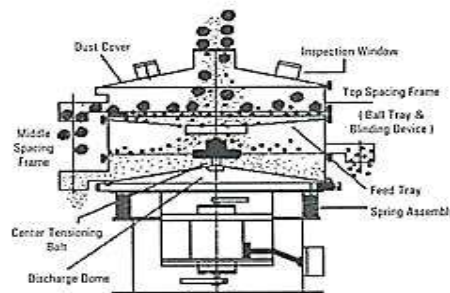
3.2.5 Ayakan Vibro (*Vibro screen*)

Getaran mengganggu bahan, untuk mengurangi gesekan internal maka dibuat ayakan putar (vibroscreen), Gambar 7.12. Oleh karena itu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, jenis getaran yang tepat juga menginduksi stratifikasi bahan umpan, yang memungkinkan kerugian dan partikel yang lebih kecil untuk bekerja melalui lapisan partikel ke permukaan ayakan sementara menyebabkan partikel yang lebih besar naik ke atas. Akibatnya, partikel yang lebih besar tetap berada di dek ayakan dan partikel yang lebih kecil jatuh melalui celah permukaan penyaringan. Dengan demikian stratifikasi meningkatkan laju perpindahan material di bagian tengah ayakan. Karena, jenis ayakan yang dominan dalam aplikasi industri adalah ayakan bergetar. Komponen ayakan bergetar, kotak bergetar terutama terdiri dari: badan ayakan (keranjang bergetar / bingkai langsung), vibrator.

Ayakan vibro dirancang berdasarkan prinsip gerak berputar. Getaran adalah *Vibro Screen generating* oleh dua bobot eksentrik yang dipasang pada motor getaran tugas berat ujung ganda yang dirancang khusus. Ini memberikan kombinasi getaran horizontal dan vertikal sedemikian rupa sehingga material bergerak di jalur tertentu, sebelum itu dikeluarkan dari mesin. Ini memberikan banyak fleksibilitas dalam mengubah mesin ke aplikasi tertentu.

Fitur Utama dari Ayakan Vibro

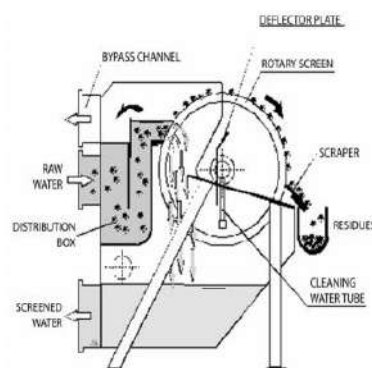
- Tidak ada ayakan sentakan dan tersentak-setak
- Debit terus menerus secara otomatis
- Operasi bebas debu
- Konsumsi daya rendah & Pemeliharaan power.
- Metode pengayakan
- Mudah dioperasikan, menghemat waktu dan tenaga kerja
- Operator tidak perlu pengalaman, produksi cepat. Mesh disesuaikan.
- Mesin mudah dirakit, dibersihkan, dan dirawat



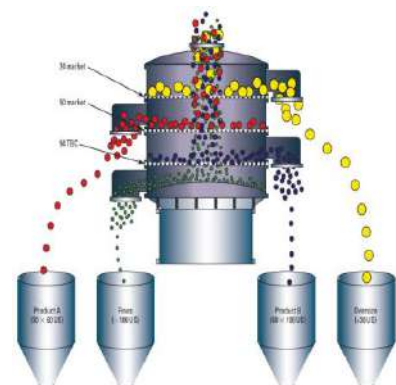
Gambar 7.12. Ayakan berputar a) Ayakan goyang (twist) dengan hasil 3 fraksi b). Arah pergerakan bahan ayakan

- Berbagai Macam Produk
- Berbagai ayakan mudah untuk diubah dan dapat digunakan untuk memisahkan jala
- Mudah dioperasikan dan dibersihkan
- Pemanasan untuk memudahkan pembersihan dan pemeliharaan.

Ayakan vibro memungkinkan dengan konstruksi 4 bed, dengan hasil 4 fraksi (Gambar 7.13b). Demikian juga ayakan menggunakan putaran dengan bantuan air untuk membawa partikel halus masuk melalui lobang drum berputar (Gambar 7.13a).



(a)

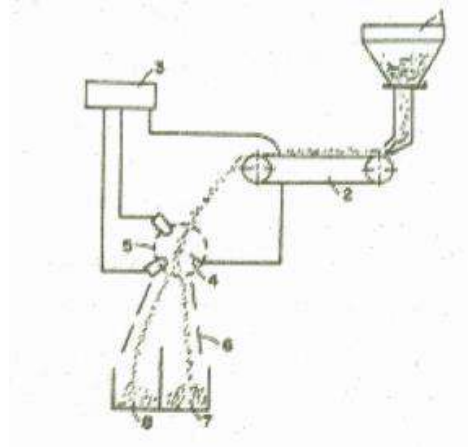


(b)

Gambar 7.13. Screening (a) Ayakan berputar dengan bantuan air, b) Ayakan bertingkat dengan hasil 4 fraksi.

3. Separator Warna

Buah dan sayuran dipilah berdasarkan warna, kerusakan, dan ukuran. Kebanyakan menyortir atas dasar warna dan kerusakan perlakuan secara manual, tetapi mata elektronik telah digunakan berhasil dalam studi percontohan, dan aplikasi umum di masa depan tampak menjanjikan. Pemisah warna memisahkan buah-buahan, sayuran atau biji-bijian karena perbedaan warna atau kecerahan. Pemisah warna umumnya digunakan untuk benih tanaman yang lebih besar seperti kacang polong dan kacang. Biji ini berbeda dalam warna karena perbedaan varietas dan juga karena ketidakdewasaan atau penyakit. Bola lumpur dan benih yang berubah warna atau cacat bisa dihapus dengan bantuan pemisah elektronik. Campuran butiran dimasukkan secara seragam ke dalam ruang optik pemisah. Dua fotosel ditetapkan pada sudut tertentu yang mengarahkan kedua balok ke satu titik parabola lintasan biji-bijian. Jarum ditempatkan di sisi lain yang terhubung dengan sumber tegangan tinggi, Gambar 7.14. Ketika sinar jatuh pada benda gelap melalui foto-elektronik. Sel, saat ini dihasilkan pada jarum. Ujung jarum menerima muatan dan memberikan ke biji gelap. Biji-bijian tersebut kemudian dilewatkan antara dua elektroda dengan tinggi perbedaan potensial di antara mereka. Benih dibandingkan dengan latar belakang yang dipilih atau rentang warna, dan dipisahkan menjadi dua fraksi sesuai dengan perbedaan warna. Sejak setiap butir dilihat secara terpisah oleh mesin ini, kapasitasnya rendah.



Gambar 7.14. Skematik diagram pemisahan berdasarkan warna, 1) Hopper, 2) Belt conveyor, 3) Amplifier, 4) Charging Needle, 5) Optical chamber, 6) Defecting electrode 7) Foreign material, 8) Desired material

DAFTAR PUSTAKA

- Amer Eissa Ayman H. and Ayman A. Abdel Khalik () Understanding Color Image Processing by Machine Vision for Biological Materials. In Structure and Function of Food Engineering p.227-274
- Brown. G.G, Donald Katz, Alan S. Froust and Richard Schneiderwind (1956). Screening, In Unit Operation John Wiley & Sons Inc, New York.Singapore, p: 931-936.
- Dierig Jeff (2006) Choosing a woven wire screen for top separation performance Sweco, Powder and Bulk Engineering Kentucky p:1-7
- Falconer Andrew, (2003) Gravity Separation: Old Technique/New Methods. Physical Separation in Science and Engineering, 2003, Vol. 12, No. 1, pp. 31-48.
- James F. Sullivan, P. E. (2013). Screening Theory and Practice, Tripple Dynamics Inc. p: 1-54.
- López Joaquín Suárez, Alfredo Jácome Burgos and Pablo Ures Rodríguez (2014). Screening/Sieving (FS-PRE-001), TECHNOLOGY Fact Sheets for Effluent Ereatment Plants in Textile industry Inditex p:1-33
- Mahendran R*, Jayashree GC and Alagusundaram K(2011). Application of Computer Vision Technique on Sorting and Grading of Fruits and Vegetables: Indian Institute of Crop Processing Technology India. J Food Process Technology India S5.p7
- McCabe W.L, Jullian C Smith and Peter Harriott (1993). Properties, Handling and Mixing of Particulate Solids: In Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill Inc. 5th Edition, p. 927-952.
- Naibaho P.M. (1988). Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, Pusat Peneitian Kelapa Sawit, Medan pp: 304
- Narendra V G Hareesh K S Sr. Lecturer (2010.) Quality Inspection and Grading of Agricultural and Food Products by Computer Vision : A Review. Manipal Institute of Technology Manipal, Karnataka, International Journal of Computer Applications India Vol 2 No.1, p: 43-58
- Seader J.D. Ernest J. Henley, and D Keith Roper (2011) Separation Process Principles Chemical And Biochemical Operations, John Wiley & Sons, Inc. pp: 1-849.
- Shah K.P (2018). Construction, Working and Maintenace of Electric Vibrators and Vibrating Screens. www.practicalmaintenance.net
- Usha.S, M.Karthik And R.Jenifer (2017). Automated Sorting And Grading of Vegetables Using Image Processing. International Journal of Engineering Research and General Science India, Vol 5, Issue 6, p 53-61

BAB VIII

SIKLON PEMISAH

1. Pengantar

Proses kimia terdiri dari tahap reaksi dan/atau tahap pemisahan di mana aliran proses dipisahkan dan dimurnikan. Pemisahan semacam itu melibatkan prinsip-prinsip fisik berdasarkan perbedaan dalam sifat-sifat konstituen dalam aliran. Campuran heterogen terdiri dari dua fase atau lebih yang memiliki komposisi berbeda. Campuran ini terdiri dari komponen yang tidak bereaksi secara kimia dan memiliki batas pemisahan yang terlihat jelas antara fase yang berbeda. Komponen campuran tersebut dapat dipisahkan menggunakan satu atau lebih teknik yang sesuai. Proses pemisahan ini meliputi pemisahan Gas-Cair (uap-cair), pemisahan Gas-Padat (uap-padat), pemisahan Cair-Cair (tidak bercampur), pemisahan Padat-Padat, dan Padat-Padat dll. Pemisahan ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan perbedaan kepadatan antara fase. Gaya gravitasi atau gaya sentrifugal dapat digunakan untuk meningkatkan pemisahan. Unit pemisahan dapat berupa horisontal atau vertikal. Teknik utama yang digunakan untuk memisahkan fase, dan komponen dalam fase, dibahas secara rinci.

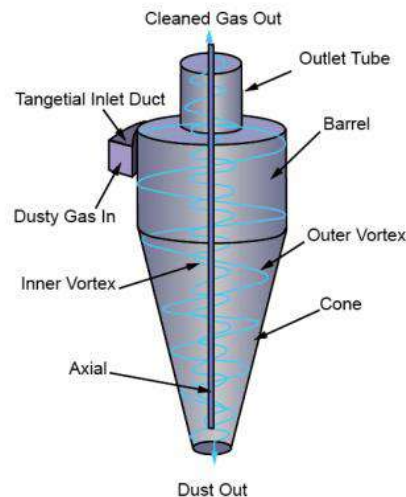
Metode untuk pemisahan campuran tersebut dapat diklasifikasikan sebagai: 1. Pemisah siklon udara, 2. Pemisah siklon padat – cair, 3. Pemisah Cair-gas.

2. Pemisah Siklon Udara

Pemisah siklon menyediakan metode menghilangkan partikel dari udara atau aliran gas lainnya dengan biaya rendah dan perawatan rendah. Siklon agak lebih rumit dalam desain daripada sistem pengendapan gravitasi sederhana, dan efisiensi penghilangannya jauh lebih baik daripada ruang pengendapan. Siklon pada dasarnya adalah pemisah sentrifugal, terdiri dari bagian silinder atas yang disebut sebagai laras dan bagian kerucut yang lebih rendah disebut cone (Gambar 8.1). Instalasi ini hanya mengubah gaya inersia dari aliran partikel gas ke gaya sentrifugal dengan cara pusaran yang dihasilkan dalam tubuh siklon. Aliran udara kandungan partikel memasuki tangensial di bagian atas laras dan bergerak ke bawah ke kerucut membentuk pusaran luar. Peningkatan kecepatan udara di vortex luar menghasilkan gaya sentrifugal pada partikel yang memisahkan mereka dari aliran udara. Ketika udara mencapai bagian bawah kerucut, ia mulai mengalir secara radial masuk dan keluar atas sebagai udara bersih/gas sementara partikel jatuh ke dalam ruang pengumpulan debu yang melekat pada bagian bawah siklon.



Gambar 8.1. (a). Siklon tangensial (b). Siklon aksial



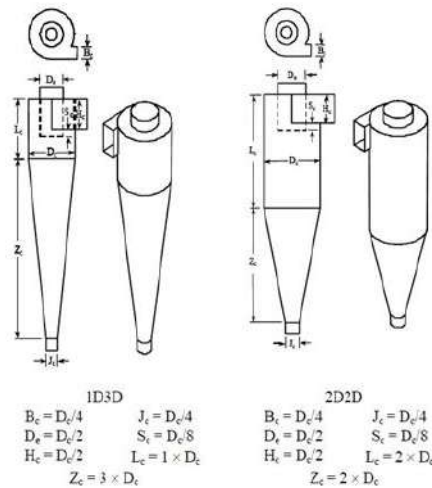
Gambar 8.2. Siklon

2.1 Jenis Siklon Udara

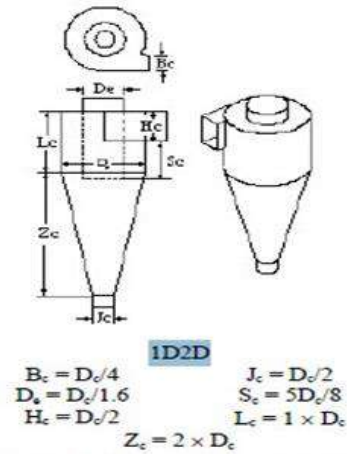
Tiga jenis siklon berbeda ditunjukkan pada Gambar 8.2, 8.3 yaitu menunjukkan siklon dengan entri tangensial. Jenis siklon ini memiliki bentuk yang khas dan mudah dikenali dan banyak digunakan dalam pembangkit listrik dan semen, pabrik pakan dan banyak industri proses lainnya. Gambar 8.3b menunjukkan siklon entri aksial, gas masuk sejajar dengan sumbu tubuh siklon. Dalam hal ini gas yang sarat debu masuk dari atas dan diarahkan ke pola pusaran oleh baling-baling yang terpasang pada tabung pusat. Unit entri aksial umumnya digunakan dalam konfigurasi multi-siklon, karena unit ini memberikan efisiensi yang lebih tinggi. Jenis lain dari pemisah siklon yang lebih besar yang ditunjukkan pada Gambar 8.2c sering digunakan setelah scrubber basah untuk menjebak partikel yang terperangkap dalam tetesan air. Dalam jenis ini, udara masuk secara tangensial di bagian bawah, membentuk titik. Tetesan air besar dipaksa menempel ke dinding dan menghilangkan aliran udara. Pengumpul siklon dapat dirancang untuk banyak aplikasi, dan mereka biasanya dikategorikan sebagai efisiensi tinggi, konvensional (efisiensi sedang), atau throughput tinggi (efisiensi rendah). Siklon efisiensi tinggi cenderung memiliki tetesan bertekanan tertinggi dari ketiga jenis siklon, sementara siklon throughput tinggi dirancang untuk mengolah volume gas yang besar dengan penurunan tekanan rendah. Masing-masing dari ketiga jenis siklon ini memiliki desain dasar yang sama. Berbagai tingkat efisiensi pengumpulan dan operasi dicapai dengan memvariasikan dimensi siklon standar.

Dalam industri pengolahan pertanian, desain siklon 2D2D (Shepherd dan Lapple, 1939) dan 1D3D (Parnell dan Davis, 1979) (Gambar 8.2) dan 1D2D (Gambar 3) adalah perangkat pengurangan yang paling umum digunakan untuk kontrol bahan partikel. Dalam penunjukan 2D2D mengacu pada diameter laras siklon. Angka-angka sebelum D berhubungan dengan panjang bagian laras dan kerucut. Sebuah siklon 2D2D memiliki panjang laras dan kerucut dua kali diameter laras, sedangkan siklon 1D3D memiliki panjang laras sama dengan diameter laras dan panjang kerucut tiga kali diameter laras.

Konfigurasi dari dua desain siklon ini ditunjukkan pada Gambar 8.2. Penelitian sebelumnya (Wang, 2000) menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan desain siklon lainnya 1D3D dan 2D2D adalah pengumpul siklon paling efisien untuk debu halus (diameter partikel lebih sedikit dari 100 μm). Mihalski et al (1993) melaporkan "cycling lint" dekat pintu keluar sampah untuk 1D3D dan Desain siklon 2D2D ketika PM dalam aliran udara masuk mengandung serat-serat. Mihalski melaporkan peningkatan yang signifikan dalam konsentrasi PM keluar untuk desain siklon efisiensi tinggi ini dan menghubungkannya dengan bola kecil "serat" berserat dekat pintu keluar sampah sehingga PM halus yang biasanya dikumpulkan akan dialihkan ke aliran keluar udara bersih. Simpson dan Parnell (1995) memperkenalkan siklon bertekanan rendah baru, yang disebut siklon 1D2D, untuk industri pembuatan kapas.



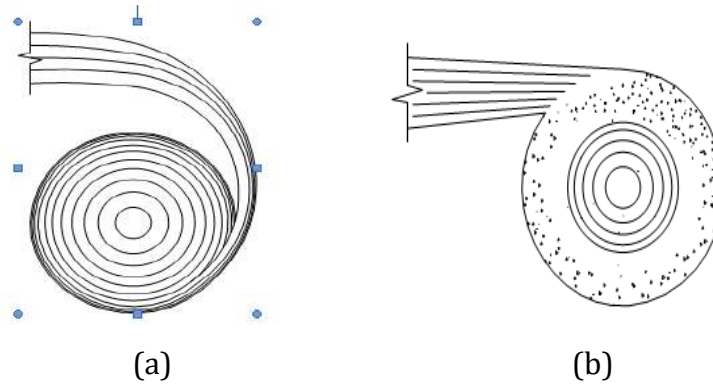
Gambar 8.3 a. Konfigurasi siklon 1D3D DAN 2D2D



Gambar 8.3 b. Konfigurasi siklon 1D2D

Siklon 1D2D adalah desain yang lebih baik untuk sampah konten serat tinggi dibandingkan dengan siklon 1D3D dan 2D2D (Wang et al., 1999). Angka 3 menggambarkan konfigurasi desain siklon 1D2D. Demikian pula, efisiensi siklon akan menurun dengan meningkatnya parameter seperti viskositas gas; diameter tubuh siklon; diameter keluar gas; area saluran masuk gas; kepadatan gas; kebocoran udara ke outlet debu. Efisiensi kolektor siklon terkait dengan penurunan tekanan di kolektor. Ini adalah ukuran tidak langsung dari energi yang dibutuhkan untuk memindahkan gas melalui sistem. Penurunan tekanan adalah fungsi dari kecepatan saluran masuk dan diameter siklon (Gambar 8.4). Dari diskusi di atas, jelas bahwa siklon kecil lebih efisien daripada siklon besar. Namun, siklon kecil memiliki penurunan tekanan yang lebih tinggi dan terbatas sehubungan dengan laju aliran volumetrik.

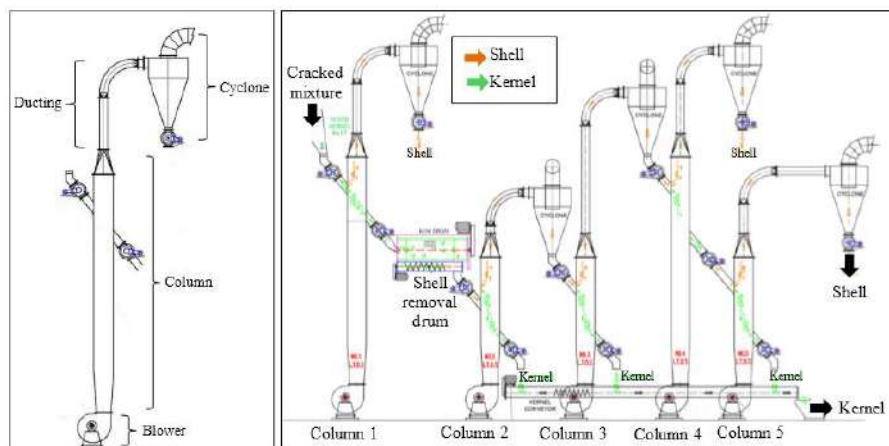
Pilihan lain adalah mengatur siklon yang lebih kecil secara seri dan / atau paralel untuk meningkatkan efisiensi pada penurunan tekanan yang lebih rendah. Keuntungan ini berakibat peningkatannya biaya dan masalah pemeliharaan. Juga jenis pengaturan ini cenderung lebih mudah dipasang. Ketika hopper umum digunakan dalam pengaturan seperti itu, aliran yang berbeda melalui siklon dapat menyebabkan masalah berulang. Dalam susunan demikian, partikel besar dapat ditangkap di siklon pertama dan siklon yang lebih kecil dan lebih efisien dapat mengumpulkan partikel yang lebih kecil (Gambar 8.5). Karena itu mengurangi pemuatan debu di siklon kedua dan menghindari masalah abrasi dan penyumbatan. Juga, jika siklon pertama dicolokkan, masih akan ada beberapa koleksi yang terjadi di siklon kedua. Penurunan tekanan tambahan yang dihasilkan oleh siklon kedua menambah penurunan tekanan keseluruhan sistem dan tekanan yang lebih tinggi dapat menjadi kerugian dalam desain sistem seri tersebut. Efisiensi siklon juga dapat ditingkatkan jika sebagian dari gas buang ditarik melalui hopper. Baling-baling tambahan atau saluran bertekanan rendah dapat menyediakan aliran ini. Namun demikian, mungkin perlu untuk resirkulasi atau memperlakukan ini sebagai pembersihan knalpot untuk menghilangkan partikel yang tidak terkumpul.



Gambar 8.4. Lintasan Umpan.(a) Bentuk Pusing,(b) Bentuk Tangensial

2.2 Desain Siklon Klasik

Prosedur desain siklon yang diuraikan dalam Cooper dan Alley (1994), selanjutnya disebut sebagai proses desain siklon klasik (DSK), dikembangkan oleh Lapple pada awal 1950-an. Proses DSK (*model Lapple*) dianggap sebagai metode standar dan telah dianggap oleh beberapa ahli dapat diterima. Namun, ada beberapa masalah yang terkait dengan prosedur desain ini. Pertama-tama, proses DSK tidak mempertimbangkan kecepatan inlet siklon dalam mengembangkan dimensi siklon.



Gambar 8.5. Pemisahan kernel dan cangkang 5 tahap

Dilaporkan (Parnell, 1996) bahwa ada kecepatan masuk yang "ideal" untuk desain cyclone yang berbeda untuk kinerja cyclone yang optimal. Kedua, DSK tidak memprediksi jumlah putaran yang tepat untuk berbagai jenis siklon. Efisiensi keseluruhan yang diprediksi oleh proses DSK Untuk menggunakan proses DSK, diasumsikan bahwa ahli desain akan memiliki pengetahuan tentang (1) kondisi aliran, (2) konsentrasi partikel (KP) dan distribusi ukuran partikel (DUP) dan (3) jenis siklon yang akan dirancang (efisiensi tinggi, konvensional, atau throughput tinggi). DUP harus dalam bentuk fraksi massa versus diameter ekuivalen aerodinamik dari KP. Jenis siklon akan memberikan semua dimensi prinsip sebagai fungsi dari diameter barel siklon (D). Dengan data yang diberikan ini, proses DSK adalah sebagai berikut:

i. Dimensi Siklon Standar

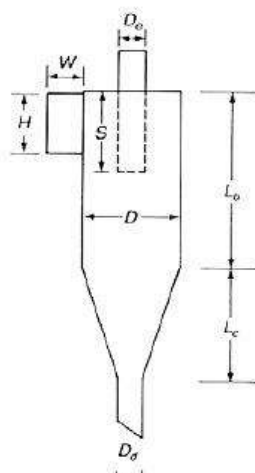
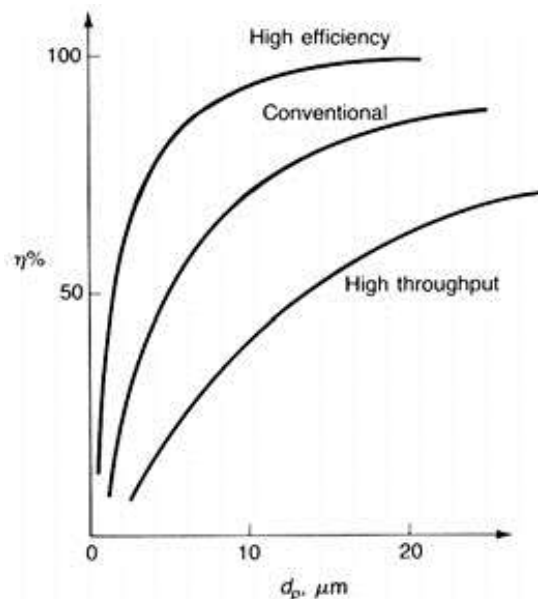
Pekerjaan yang luas telah dilakukan untuk menentukan bagaimana dimensi siklon mempengaruhi kinerja. Dalam beberapa karya klasik yang masih digunakan sampai sekarang, Shepherd dan Lapple (1939,1940) menentukan dimensi "optimal" untuk siklon. Peneliti selanjutnya melaporkan pekerjaan yang serupa, dan apa yang disebut siklon "standar" lahir. Semua dimensi terkait dengan diameter tubuh siklon sehingga hasilnya dapat diterapkan secara umum. Tabel 1 merangkum dimensi siklon standar dari ketiga jenis yang disebutkan dalam gambar sebelumnya. Sosok samping menggambarkan berbagai dimensi yang digunakan dalam Tabel 8.1.

Langkah pertama proses DSK adalah menghitung jumlah belokan efektif. Jumlah belokan efektif dalam siklon adalah jumlah putaran yang diputar gas saat melewatinya pusaran luar siklon. Semakin banyak belokan aliran udara menghasilkan koleksi yang lebih tinggi efisiensi. Model Lapple untuk N_e perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 8.1. Standar diameter siklon

Standard cyclone dimensions

	Cyclone Type					
	High Efficiency		Conventional		High Throughput	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Body Diameter, D/D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Height of Inlet, H/D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
Width of Inlet, W/D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
Diameter of Gas Exit, D_g/D	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
Length of Vortex Finder, S/D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
Length of Body, L_b/D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
Length of Cone, L_c/D	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
Diameter of Dust Outlet, D_d/D	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4

Gambar 8.6. Hubungan densitas dengan efisiensi

ii. Jumlah belokan efektif (N_e)

$$N_e = \frac{1}{H} \left(L_b + \frac{L_c}{2} \right) \dots\dots\dots(1)$$

dimana

N = jumlah putaran di dalam perangkat (tidak ada unit)

H = ketinggian saluran masuk (m atau kaki)

L_b = panjang tubuh siklon (m atau ft)

L_c = panjang (vertikal) kerucut siklon (m atau ft).

Berdasarkan persamaan, jumlah belokan yang diperkirakan untuk 4 desain siklon dihitung. Siklon 1D2D, 2D2D, dan 1D3D adalah desain siklon yang ditunjukkan pada Gambar 8.2 dan 8.3. Ini tiga desain siklon memiliki dimensi inlet yang sama (H_c dan B_c), disebut sebagai inlet 2D2D.

Tabel 8.1 memberikan perbandingan prediksi N_e vs N_e yang diamati gagal memberikan estimasi akurat untuk N_e untuk desain siklon selain desain 2D2D. Siklon 1D3D adalah desain siklon 1D3Dt tradisional, yang memiliki dimensi desain yang sama dengan 1D3D. Telah diamati bahwa model Lapple untuk N_e estimasi produksi yang sangat baik dari jumlah belokan untuk desain siklon 2D2D. Namun, model ini siklon pada Gambar 8.2 kecualidimensi saluran masuk. Siklon 1D3Dt memiliki tinggi inlet sama dengan diameter laras ($H = cD$) dan lebar saluran masuk seperdelapan dari diameter tong ($B = D / 8$). Tabel 8.1 memberikan perbandingan prediksi N_e vs. N_e yang diamati gagal memberikan estimasi akurat tentang N_e untuk desain siklon selain desain 2D2D. Pengamatan ini menunjukkan batasan untuk Model Lapple untuk memprediksi secara akurat jumlah belokan efektif. Kemudian model hanya valid untuk desain siklon 2D2D, yang pada awalnya dikembangkan oleh Shepherd dan Lapple (1939).

iii. Diameter titik potong

Langkah kedua dari proses CCD adalah perhitungan diameter titik potong. Titik potong dari siklon adalah diameter setara aerodinamis (AED) dari partikel yang dikumpulkan dengan efisiensi 50%. Dengan meningkatnya diameter titik potong, efisiensi pengumpulan menurun, Gambar 8.7 .

Tabel 8.2.Jumlah belokan yang efektif

Siklon	Lapple	Diamati
1D2D	4	N/A
2D2D	6	6
1D3D	5	6
1D3Dt	2.5	6

$$d_{pc} = \frac{[9\mu W]^{1/2}}{2\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

d_p = diameter partikel terkecil yang akan dikumpulkan oleh siklon

μ = viskositas gas (kg / m. dt) W = lebar saluran masuk (m)

$N_e = 1 / H [L_b + L_c / 2]$ = jumlah putaran

V_i = kecepatan gas saluran masuk (m / s)

ρ = kepadatan partikel (kg)/m³

ρ_a = Kepadatan cairan

Perlu dicatat bahwa dalam ungkapan ini, d_p adalah ukuran partikel terkecil yang akan dikumpulkan jika dimulai pada tepi bagian dalam saluran masuk. Jadi, secara teori, semua partikel ukuran d_p atau lebih besar harus dikumpulkan dengan efisiensi 100%. Persamaan sebelumnya menunjukkan bahwa, secara teori, diameter terkecil dari partikel yang dikumpulkan dengan efisiensi 100% secara langsung berkaitan dengan viskositas gas dan lebar saluran masuk, dan berbanding terbalik dengan jumlah belokan efektif, kecepatan gas saluran masuk, dan perbedaan kepadatan antara partikel dan gas.

iv. Waktu Tinggal Gas

Untuk dikumpulkan, partikel harus menabrak dinding dalam jumlah waktu yang dilalui gas di pusaran luar. Waktu tinggal gas di vortex luar adalah

$$\Delta t = \text{panjang jalur/kecepatan} = \pi D N / V_i \dots\dots\dots (3)$$

Dimana

Δt = waktu yang dihabiskan oleh gas selama penurunan spiral, s

D = diameter badan siklon, (m atau ft)

V_i = kecepatan inlet gas, m/s atau ft/s = Q/WH

Q = Volume aliran gas, (m³/s atau ft³/s)

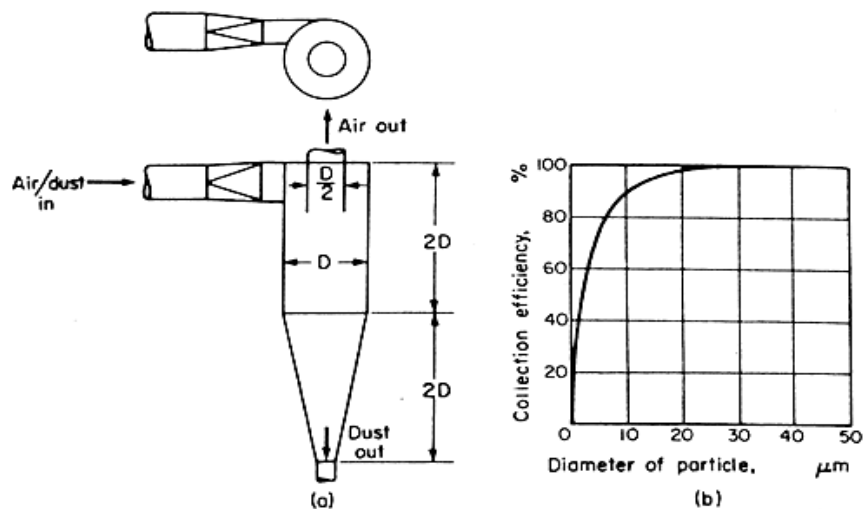
H = tinggi masukan, m atau ft

W = lebar masukan, m atau ft

Jarak radial maksimum yang ditempuh oleh partikel apa pun adalah lebar saluran masuk W . Gaya sentrifugal dengan cepat mempercepat partikel ke kecepatan terminalnya ke arah luar (radial), dengan gaya seret lawan yang setara dengan gaya sentrifugal. Kecepatan terminal yang hanya akan memungkinkan partikel awalnya pada jarak W menjauh dari dinding dikumpulkan dalam waktu adalah

$$V_i = W/\Delta t \text{ ----- (4)}$$

di mana V_i = kecepatan drift partikel dalam arah radial (m / s atau ft / s).



Gambar 8.7. a) Ukuran siklon b) Hubungan diameter partikel dengan efisiensi

Kecepatan partikel drift merupakan fungsi ukuran dari partikel. Asumsi rejim aliran Stokes = $3\pi\mu d_p V_t$ dan persoalan partikel bulat pada kekuatan sentrifugasi dengan m = massa partikel yang pada udara yang ada di udara massa tergeser $v = V_t$ dari aliran masukan dan $r = D/2$ terpenuhi.

$$V_t = \frac{(\rho_p - \rho_a) d_p^2 V_i^2}{9\mu D} \text{ ----- (5)}$$

V_t = terminal drift transverse velocity (m/s atau ft/s)

d_p = diameter partikel (m atau ft)

ρ_p = densiti paertikel (kg/m³)

ρ_a = densiti udara

μ = viskositas udara (kg/m.s)

v. Kurva Efisiensi Pecahan

Langkah ketiga proses CCD adalah menentukan efisiensi fraksional. Berdasarkan cut-point, Lapple kemudian mengembangkan model empiris untuk prediksi efisiensi pengumpulan untuk setiap ukuran partikel, yang juga dikenal sebagai kurva efisiensi fraksional:

$$\eta_j = \frac{1}{1 + (d_{pc}/d_{pj})^2} \text{ ----- (6)}$$

dpc = efisiensi pengumpulan partikel dalam kisaran ukuran j ($0 < n_j < 1$) dpj = diameter karakteristik kisaran ukuran partikel j (dalam mikron). Penurunan tekanan (ΔP). Penurunan tekanan siklon adalah parameter utama lainnya yang harus dipertimbangkan dalam proses merancang sistem siklon. Dua langkah terlibat dalam pendekatan Lapple untuk memperkirakan penurunan tekanan siklon. Langkah pertama dalam pendekatan ini adalah menghitung penurunan tekanan dalam jumlah inlet velocity head (H) dengan persamaan Langkah kedua dalam pendekatan ini adalah untuk mengkonversi angka v dari inlet velocity head ke penurunan tekanan statis (ΔP) dengan persamaan.

Ada satu masalah yang terkait dengan pendekatan ini. "Persamaan penurunan tekanan Lapple tidak mempertimbangkan dimensi vertikal sebagai kontribusi untuk penurunan tekanan" (Leith dan Mehta, 1973). Ini menyesatkan karena siklon tinggi akan memiliki penurunan tekanan yang sama dengan yang pendek asalkan siklon masuk dan dimensi outlet dan kecepatan masuk adalah sama. Telah dipertimbangkan bahwa efisiensi siklon meningkat dengan meningkatnya dimensi vertikal. Dengan model penurunan tekanan Lapple yang menyesatkan, orang dapat menyimpulkan bahwa siklon harus selama mungkin karena akan meningkatkan efisiensi siklon tanpa biaya dalam penurunan tekanan (Leith dan Mehta, 1973). Diperlukan pendekatan ilmiah untuk memprediksi penurunan tekanan siklon yang terkait dengan dimensi siklon.

$$H_v = K \frac{H}{D_e^2} \text{-----(7)}$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho_g V_i^2 H_v \text{-----(8)}$$

Dimana

H_v = penurunan tekanan, dinyatakan dalam jumlah Head kecepatan inlet

K = konstanta yang tergantung pada konfigurasi siklon dan kondisi pengoperasian (K = 12 hingga 18 untuk siklon tangensial-entri standar)

vi. Efisiensi Siklon

Efisiensi pemisahan secara keseluruhan biasanya merupakan pertimbangan terpenting dalam proses industri. Mari kita perhatikan keseimbangan massa partikel padat dalam siklon. Sebagaimana dijelaskan oleh Hoffmann dan Stein dalam buku mereka tentang siklon gas, M_f , M_c dan M_e adalah laju aliran massa umpan, laju aliran massa dari partikel yang dikumpulkan dan laju aliran massa masing-masing partikel yang lolos. Kemudian keseimbangan gaya partikel padat di atas siklon dapat dilambangkan dengan Persamaan (6).

$$M_f = M_c + M_e \text{----- (9)}$$

Efisiensi pemisahan keseluruhan dapat dihitung secara langsung sebagai fraksi massa umpan yang berhasil dikumpulkan.

$$\eta = \frac{M_c}{M_f} = 1 - \frac{M_e}{M_f} = \frac{M_c}{M_c + M_e} \text{-----(10)}$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi pengumpulan siklon. Berbagai faktor diamati mempengaruhi efisiensi siklon. Sebuah akun dari beberapa faktor penting yang disajikan oleh Schnell dan Brown dalam Handbook teknologi pengendalian pencemaran udara disajikan di sini.

Kecepatan masuk adalah faktor utama yang mempengaruhi penurunan tekanan dan karenanya efisiensi siklon. Efisiensi meningkat dengan meningkatnya kecepatan karena gaya sentrifugal meningkat tetapi ini juga meningkatkan penurunan tekanan yang tidak menguntungkan. Juga, mengurangi diameter siklon meningkatkan gaya sentrifugal dan karenanya

efisiensi. Faktor lain yang mempengaruhi efisiensi siklon adalah viskositas gas. Dengan penurunan viskositas, efisiensi meningkat. Ini karena pengurangan gaya seret dengan pengurangan viskositas. Penurunan suhu akan meningkatkan densitas gas. Seseorang mungkin tergoda untuk menyimpulkan bahwa ini akan meningkatkan efisiensi ketika viskositas berkurang. Tetapi peningkatan suhu juga menurunkan laju aliran volumetrik dan dengan demikian menurunkan efisiensi. Faktor penting lain yang mempengaruhi efisiensi adalah pemuatan partikel. Dengan pemuatan tinggi, partikel-partikel saling bertabrakan lebih banyak dan menghasilkan dorongan partikel ke dinding. Ini pada gilirannya meningkatkan efisiensi. Gambar 8.10 menunjukkan hubungan antara efisiensi dan ukuran partikel untuk siklon efisiensi tinggi yang ramping dan panjang, siklon throughput tinggi yang luas dan membuat lebih sedikit penurunan tekanan dan siklon standar konvensional.

Bahan Konstruksi

Bahan yang digunakan untuk pembuatan pemisah siklon adalah besi 26 Gauge ketebalan. Bahan tersedia di pasar dengan mudah.

Perhitungan Blower

Laju aliran volumetrik Blower = 0,058 m³ / s.

Kecepatan Saluran Masuk Udara = $V_i = Q / WH = 0,058 / 0.0762 \times 0,1524 = 5,272 \text{ m/s}$

Tekanan dinamis $= 1/2 \rho V^2 = 1/2 \times 1,22 \times 5,27^2$

$$P = 16941 \text{ pa}$$

Jumlah belokan efektif :

$$N = \frac{1}{H} \left(L_b + \frac{L_c}{2} \right)$$

$$N_e = 1/0,1524 [0,609 + 0,609/2] = 6$$

Masa tunggu gas $\Delta t = \pi D N / V_i$

$$= 3,14 \times 0,3048 \times 6 / 5,27 = 1,08 \text{ s}$$

Tabel 8.3. Standar dimensi siklon Lapple

Siklon konvensional	Dimensi	Rasio	Ukuran (m)
Diameter siklon	D	D	0,3048
Panjang Bodi	Lb	2D	0,6090
Panjang Cone	Lc	2D	0,6090
Tinggi inlet	H	D/2	0,1524
Lebar inlet	W	D/4	0,0762
Diameter Pipa masuk	d	A	0,1180
Diameter gas keluar	Dc	D/2	0,1524
Diameter debu keluar	Dd	D/4	0,0762
Panjang votex	S	0.625	0,1905
Panjang Sc	Sc	D/8	0,3081
Total Panjang siklon	Lb + L	4 D	1,2192

Kecepatan Drift Partikel

$$V_t = W/\Delta t$$

$$= 0,0762/1,08 = 0,07055 \text{ m/s}$$

Kecepatan Melintang Terminal Drift

$$V_t = (\rho_p - \rho_a) d_p^2 V_i^2 / 9 \mu D$$

$$= (1602 - 1,22) \times (0,0004)^2 \times (5,27)^2 / 9 \times 0,0000183 \times 0,3048$$

$$= 22,6830,16 \text{ m/s}$$

Diameter titik potong

$$d_{pc} = [9 \mu W / 2 \pi N V_i (\rho_p - \rho_a)]^{1/2}$$

$$= [9 \times 0,0000183 \times 0,0762 / 2 \times 3,14 \times 6 \times 5,27 \times (1602 - 1,22)]^{1/2}$$

$$d_{pc} = 6,28 \mu\text{m}$$

Penurunan tekanan :

$$\Delta P = \alpha \rho V_i^2 / 2$$

$$\alpha = 16 H W / D e^2 = 16 \times 0,1524 \times 0,0762 / 0,0232 = 9,29$$

$$\Delta P = 9,29 \times 1,22 \times 27,772 / 2 = 157,38 \text{ Pa}$$

Kebutuhan Daya :

$$W_f = Q \Delta P$$

$$= 0,058 \times 157,38 \text{ Pa}$$

$$= 9,12 \text{ J/sec}$$

Kecepatan gas keluar:

$$V_o = Q / \pi r_i^2$$

$$= 0,05806 / 3,14 \times 0,005806 = 3,184 \text{ m/s}$$

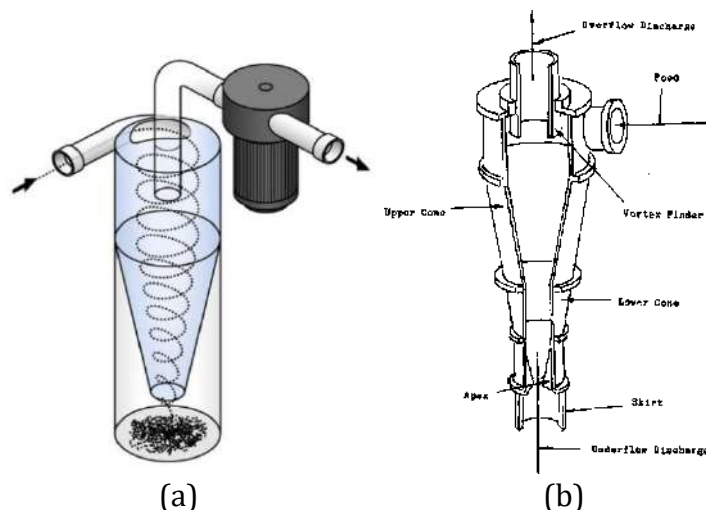
3. Pemisah Dengan Air (Hidrosiklon)

Selama bertahun-tahun, hidrosiklon, yang biasa disebut sebagai siklon, telah banyak digunakan dalam klasifikasi partikel dalam sirkuit kominusi. Rentang klasifikasi praktis untuk siklon adalah 40 mikron hingga 400 mikron, dengan beberapa aplikasi jarak jauh sehalus 5 mikron atau sekasar 1000 mikron. Siklon digunakan di sirkuit penggilingan primer dan sekunder serta sirkuit regrind. Informasi yang diberikan dalam makalah ini dimaksudkan untuk memberikan metode, setidaknya untuk keperluan estimasi, pemilihan nomor yang tepat dan ukuran siklon dan untuk menentukan tingkat variabel operasi yang tepat. Secara umum, direkomendasikan agar pemasok siklon dikonsultasikan untuk konfirmasi ukuran. Beberapa pemasok siklon menggunakan komputer digital untuk membantu dalam ukurandan pemilihan siklon.

3.1 Deskripsi Siklus dan Operasi Dasar

Gambar 8.8 menunjukkan tampilan cutaway dari siklon tipikal. Selama operasi, bubur umpan memasuki siklon di bawah tekanan melalui pipa umpan ke bagian atas ruang umpan silinder. Pintu masuk tangensial ini dilakukan oleh dua jenis desain. Karena sebagian besar penelitian telah dilakukan dengan jenis involuted, grafik dan hubungan yang ditampilkan mungkin tidak dapat diterapkan secara ketat pada desain lain. Ketika umpan memasuki ruangan, rotasi bubur di dalam siklon dimulai, menyebabkan gaya sentrifugal untuk mempercepat pergerakan partikel menuju dinding luar. Partikel bermigrasi ke bawah dalam pola spiral melalui bagian silinder dan ke bagian kerucut. Pada titik ini, partikel massa yang lebih kecil bermigrasi ke pusat dan spiral ke atas dan ke luar finder vortex, mengeluarkan melalui pipa melimpah. Produk ini, yang mengandung partikel yang lebih halus dan sebagian besar air, disebut luapan dan harus dibuang pada atau di dekat tekanan atmosfer.

Partikel massa yang lebih tinggi tetap berada di jalur spiral ke bawah di sepanjang dinding bagian kerucut dan secara bertahap keluar melalui lubang puncak. Produk ini disebut aliran bawah dan juga harus dibuang pada atau di dekat tekanan atmosfer.



Gambar 8.8. (a) Mekanisme Lintasan *Separator Hydrocyclone* (b). Konstruksi *Hydrocyclone*

3.2 Parameter Dasar untuk Standar *Cyclone*

Definisi "siklon standar" adalah siklon yang memiliki hubungan geometris yang tepat antara diameter siklon, area inlet, pencari pusaran, lubang puncak, dan panjang yang cukup menyediakan waktu retensi untuk mengklasifikasikan partikel dengan tepat. Grafik dan hubungan matematis yang ditunjukkan untuk pemilihan dan ukuran siklon yang tepat berlaku untuk geometri "siklon standar". Parameter utama adalah diameter siklon. Ini adalah diameter dalam ruang umpan silinder. Parameter berikutnya adalah area nosel saluran masuk pada titik masuk ke dalam ruang

umpan. Ini biasanya lubang persegi panjang, dengan dimensi yang lebih besar sejajar dengan sumbu siklon. Luas dasar nosel saluran masuk kira-kira 0,05 kali diameter siklon. Parameter penting berikutnya adalah finder vortex. Fungsi utama dari finder vortex adalah untuk mengontrol pemisahan dan aliran yang meninggalkan siklon. Juga, pencari pusaran cukup diperpanjang di bawah pintu masuk umpan untuk mencegah korsleting bahan langsung keluar melimpah. Ukuran pusaran sama dengan 0,35 kali diameter siklon.

Bagian silindris adalah bagian dasar berikutnya dari siklon dan terletak di antara ruang umpan dan bagian kerucut. Ini adalah diameter yang sama dengan ruang umpan dan fungsinya adalah untuk memperpanjang siklon dan meningkatkan waktu retensi. Untuk dasar siklon, panjangnya harus 100% diameter siklon. Bagian selanjutnya adalah bagian kerucut, biasanya disebut sebagai bagian kerucut. Sudut bagian kerucut yang disertakan biasanya antara 10^0 dan 20^0 dan, serupa ke bagian silinder, menyediakan waktu retensi.

Pengakhiran bagian kerucut, apakah lubang puncak dan dimensi kritis adalah diameter dalam pada titik pembuangan. Ukuran lubang ini ditentukan oleh aplikasi yang terlibat dan harus cukup besar untuk memungkinkan padatan yang telah diklasifikasikan sebagai underflow (aliran bawah) untuk keluar dari siklon tanpa mencolokkan. Minimum normal ukuran lubang akan 10% dari diameter siklon dan bisa sebesar 35%. Di bawah puncak biasanya rok splash untuk membantu mengandung bubur underflow.

3.3 Kinerja

Dalam menentukan ukuran dan jumlah siklon yang diperlukan untuk aplikasi yang diberikan, dua tujuan utama harus dipertimbangkan. Yang pertama adalah klasifikasi atau pemisahan yang diperlukan, dan yang kedua adalah volume bubur umpan yang akan ditangani. Sebelum menentukan apakah tujuan ini dapat dicapai, perlu untuk menetapkan kondisi dasar sebagai berikut:

- 1) Berikan cairan - air pada suhu 20°C .
- 2) Pakan makanan padat - partikel bola 2,65 sp gr.
- 3) Konsentrasi pakan - kurang dari 1% padatan menurut volume
- 4) Penurunan tekanan - 69 kPa (10psi).
- 5) Siklon geometri - "siklon standar" seperti dijelaskan di atas

3.4 Klasifikasi

Secara historis, klasifikasi telah didefinisikan sebagai ukuran partikel yang 1% sampai 3% masuk ke siklon melimpah dengan partikel-partikel yang lebih kasar melaporkan ke siklon melimpah. Investigasi baru-baru ini mendefinisikan klasifikasi sebagai ukuran partikel yang 50% dilaporkan ke overflow dan 50% ke underflow, atau yang disebut titik D50C. Gambar 8.8 menunjukkan hubungan khas antara diameter partikel dan persen yang pulih menjadi melimpah. Bagian dari kurva dekat tingkat pemulihan 50% cukup curam dan cocok untuk menentukan diameter partikel yang akurat. Pemeriksaan kurva pemulihan dekat tingkat pemulihan 97% hingga 99% menunjukkan bahwa kurva tersebut hampir horizontal dan perbedaan kecil dapat sangat mengubah diameter mikron.

[Catatan: Ukuran partikel ditunjukkan pada Gambar 8.8 dan juga digunakan untuk perhitungan sebagai diameter partikel minimum dari pita ukuran yang diberikan. Misalnya, partikel yang melewati layar 150 mesh (105 mikron) tetapi dipertahankan pada layar 200 mesh (74 mikron) akan benar-benar memiliki diameter antara 74 mikron dan 105 mikron. Untuk makalah ini, ukuran 74 mikron akan digunakan untuk partikel dalam kisaran ukuran ini.] Gambar 8.8 juga menunjukkan bahwa kurva pemulihan aktual tidak berkurang di bawah tingkat tertentu. Ini menunjukkan bahwa

sejumlah materi tertentu selalu dapat dipulihkan klasifikasi underflow dan bypass. Jika perbandingan dibuat antara tingkat pemulihan minimum padatan ke cairan yang diperoleh, mereka ditemukan sama. Oleh karena itu diasumsikan bahwa satu persen dari semua fraksi ukuran langsung ke aliran bawah sebagai padatan yang dilewati dalam proporsi yang sama dengan pemisahan cair. Maka setiap fraksi ukuran dari kurva pemulihan aktual adalah disesuaikan dengan jumlah yang sama dengan cairan pemulihan untuk menghasilkan "pemulihan terkoreksi" kurva ditunjukkan pada Gambar 8.8. Saat titik D50C berubah dari satu aplikasi ke aplikasi lain, kurva pemulihan bergeser, di sepanjang sumbu horizontal. Untuk menentukan grafik tunggal yang mewakili kurva pemulihan terkoreksi, ukuran partikel dari setiap fraksi ukuran dibagi dengan nilai D50C dan kurva "pengurangan pemulihan" dapat diplot, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.4. Investigasi telah menunjukkan bahwa kurva ini tetap konstan pada berbagai diameter siklon dan kondisi operasi ketika diterapkan pada bubur yang mengandung padatan dari gravitasi spesifik tunggal dan distribusi ukuran khas atau normal seperti yang ditemui di sebagian besar sirkuit penggilingan. Persamaan 11 memberikan matematikahubungan yang dapat digunakan untuk menghitung pemulihan berkurang. Pemulihan ini, bersama dengan padatan yang dilewati, digunakan untuk memprediksi distribusi ukuran lengkap untuk produk underflow alam mendesain sirkuit kominusi, tujuannya adalah untuk menghasilkan luapan dari siklon yang memiliki distribusi ukuran tertentu, biasanya didefinisikan sebagai persentase tertentu yang melewati ukuran mikron tertentu.

$$R_r = \frac{e^{4x} - 1}{e^{4x} + e^4 - 2} \text{----- (11)}$$

dimana : R_r = Recovery to underflow berdasarkan koreksi.

X = Diameter partikel / diameter partikel D50C.

Hubungan empiris yang ditunjukkan pada Tabel 8.4 digunakan untuk menghubungkan distribusi ukuran luapan ke D50C yang diperlukan untuk menghasilkan pemisahan yang ditentukan. Hubungan tabel ini adalah untuk distribusi ukuran gerinda tipikal atau rata-rata dan mungkin sedikit berbeda tergantung pada karakteristik penggilingan bijih itu sendiri. Pemisahan yang dapat dicapai oleh siklon dapat diperkirakan menggunakan Persamaan 12. D50C (dasar) untuk siklon diameter tertentu dikalikan kali serangkaian faktor koreksi yang ditunjuk oleh C_1 , C_2 , dan C_3 .

$$D50C \text{ (aplikasi)} = D50C \text{ (basis)} \times C_1 \times C_2 \times C_3 \text{----- (12)}$$

Contoh: Menghasilkan luapan sebesar 80% melewati 149 mikron (100 mesh), pada Tabel 8.4 dengan kelulusan 80% = 1,25. Ukuran mikron untuk aplikasi = 149 mikron (100 mesh). D50C diperlukan = $1,25 \times 149 = 186$ mikron untuk aplikasi D50C (dasar) ini adalah ukuran mikron yang dapat dicapai oleh "siklon standar" dalam kondisi dasar dan diberikan dalam Gambar 8.15 atau dihitung dari Persamaan (13).

Tabel 8.4. Hubungan D50C dengan Distribusi Ukuran Overflow

Dibutuhkan Overflow Persentase yang lewat dgn ukuran Mikron	Pengganda Akan Dikalikan Ukuran Mikron Ukuran Mikron
98,8	0,54
95.0	0.73
90,0	0,91
80.0	1.25
70.0	1.67
60.0	2.08
50.0	2.78

Misalnya, diameter 25,4 cm (10 in.) siklon memiliki titik D50C dasar 24 mikron. Gambar 8.6 dan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (14). Gambar 8.9 menunjukkan bahwa tingkat persen padatan sangat penting dalam menentukan pemisahan yang tepat, karena semakin tinggi konsentrasi semakin kasar pemisahan. Harus ditunjukkan bahwa koreksi ini adalah ukuran relatif dari viskositas bubuk dan dipengaruhi oleh hal-hal seperti ukuran partikel juga ada bentuk partikel.

$$D50C \text{ (basis)} = 2.84 \times D^{0.66} \text{ -----(13)}$$

dimana : D = Diameter siklon dalam cm.

Koreksi pertama (C_1) adalah untuk pengaruh konsentrasi padatan yang terkandung dalam bubuk umpan. Representasi grafis dari koreksi ini ditunjukkan pada mengandung sejumlah besar tanah liat akan cenderung menggeser kurva ini ke kiri dan menghasilkan pemisahan yang lebih kasar, sedangkan tidak adanya denda akan menggeser kurva ke kanan dan menghasilkan pemisahan yang lebih halus. Banyak lainnya variabel seperti viskositas cair juga mempengaruhi koreksi ini.

$$C_1 = \left(\frac{53-V}{53} \right)^{-1.43} \text{ -----(14)}$$

dimana : C_1 = Koreksi untuk pengaruh konsentrasi umpan siklon

V = kandungan padatan umpan (%)

Koreksi kedua adalah untuk pengaruh penurunan tekanan melintasi siklon yang diukur dengan mengambil perbedaan antara tekanan umpan dan luapan tekanan. Penurunan tekanan adalah ukuran energi yang digunakan dalam siklon untuk mencapai pemisahan. Direkomendasikan bahwa penurunan tekanan, sedapat mungkin, dirancang dalam kisaran 40 hingga 70 kPa (5 hingga 10 psi) untuk meminimalkan kebutuhan energi serta mengurangi tingkat keausan. Ini terutama berlaku untuk pemisahan kasar yang biasanya dikaitkan dengan sirkuit penggilingan primer atau sekunder. Koreksi untuk penurunan tekanan ditunjukkan pada Gambar 8.12 dan dapat dihitung dari Persamaan 15. Seperti yang ditunjukkan, penurunan tekanan yang lebih tinggi akan menghasilkan pemisahan yang lebih halus dan penurunan tekanan yang lebih rendah dalam pemisahan yang lebih kasar.

$$C_2 = 3.27 \times \Delta P^{-0.28} \text{ -----(15)}$$

dimana : C_2 = Koreksi pengaruh penurunan tekanan

ΔP = penurunan tekanan Pa

Koreksi berikutnya adalah untuk efek gravitasi spesifik padatan dan cairan terhadap pemisahan. Karena siklon tidak benar-benar mencapai pemisahan ukuran melainkan pemisahan massa, gravitasi spesifik dari partikel sangat penting dalam menentukan pemisahan. Ini sangat berarti dalam aplikasi di mana mineral memiliki gravitasi spesifik yang lebih tinggi daripada bahan gangue yang memungkinkan lebih baik pembebasan partikel mineral pada ukuran pemisahan keseluruhan yang lebih kasar.

Telah ditemukan bahwa hukum Stoke dapat diterapkan untuk menentukan diameter partikel yang akan menghasilkan terminal yang sama kecepatan pengendapan untuk partikel yang diketahui gravitasi spesifik dalam cairan spesifik yang diketahui gravitasi dibandingkan dengan partikel 2,65 spesifik gravitasi dalam air. Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 8.8 dan dapat dihitung menggunakan Persamaan (16).

$$C_3 = \left(\frac{1.65}{G_S - G_L} \right)^{0.5} \text{ -----(16)}$$

Diameter siklon, bersama dengan tiga koreksi persen padatan, penurunan tekanan, dan berat jenis, adalah variabel utama yang diperlukan untuk ukuran awal dan pemilihan siklon. Variabel lain, seperti vortex finder dan ukuran saluran masuk, juga berpengaruh pada pemisahan. Sebagai contoh, ukuran finder vortex yang lebih besar akan cenderung untuk kasar pemisahan, sedangkan ukuran yang lebih kecil akan cenderung mencapai pemisahan yang lebih baik. Karena kenyataan ini, sebagian besar siklon memiliki pencari pusaran yang dapat diganti dengan berbagai ukuran yang tersedia. Diameter pencari pusaran bervariasi dari minimum sekitar 25% dari diameter siklon maksimum sekitar 45%. Area masuk juga menunjukkan efek yang sama dengan vortex finder, tetapi tidak disebut.

Ukuran puncak juga memiliki efek pada pemisahan tetapi efeknya kecil kecuali jika puncaknya terlalu kecil dan menjadi kendala fisik, memaksa material masuk ke luapan. Waktu retensi siklon juga merupakan faktor kecil yang mempengaruhi kinerja siklon. Dalam batas, peningkatan waktu retensi akan membantu mencapai pemisahan yang lebih baik; sedangkan pengurangan waktu retensi akan membuat pemisahan menjadi lebih kasar. Waktu retensi siklon dapat diubah dengan mengubah panjang bagian silinder atau dengan mengubah sudut kerucut. Ada banyak variabel lain yang juga memiliki efek pemisahan; Namun, variabel-variabel ini relatif kecil dan dapat diabaikan untuk ukuran awal dan pemilihan siklon.

3.5 Tingkat Aliran

Tujuan utama kedua yang harus dipertimbangkan adalah untuk menyediakan kapasitas siklon yang memadai untuk aplikasi tersebut. Volume bubur pakan yang dapat ditangani oleh siklon terkait dengan penurunan tekanan di siklon. Hubungan antara laju aliran dan penurunan tekanan untuk beberapa ukuran berbeda dari siklon standar ditunjukkan pada Gambar 14. Seperti yang ditunjukkan, laju aliran meningkat seiring penurunan tekanan meningkat. Untuk memanfaatkan grafik ini, penurunan tekanan yang digunakan untuk menghitung pemisahan digunakan untuk menentukan laju aliran untuk diameter siklon yang juga digunakan untuk menentukan pemisahan. Laju aliran kemudian dibagi menjadi aliran total untuk aplikasi spesifik untuk menentukan jumlah unit yang diperlukan.

Karena laju aliran yang diberikan pada Gambar 14 adalah untuk air daripada bubur, harus disebutkan bahwa bubur biasanya meningkatkan kapasitas siklon yang ditunjukkan untuk air; namun, untuk perkiraan awal faktor ini bisa diabaikan. Ini akan menghasilkan jumlah siklon yang dihitung sedikit lebih tinggi dari yang sebenarnya dibutuhkan. Sekitar 20% hingga 25% siklon siaga direkomendasikan untuk fleksibilitas operasional dan pemeliharaan. Ukuran penemu vortex dan area saluran masuk siklon juga berpengaruh pada laju aliran volumetrik yang dapat ditangani oleh siklon. Pencari vortex yang lebih besar atau area saluran masuk akan meningkatkan kapasitas, sedangkan wilayah vortex yang lebih kecil atau area saluran masuk akan mengurangi kapasitas. Area yang diarsir pada Gambar 14 yang sesuai dengan setiap siklon standar memberikan kisaran kapasitas perkiraan untuk setiap siklon.

3.6 Seleksi Ukuran Puncak

Pemilihan ukuran puncak yang tepat sangat penting untuk kinerja siklon yang tepat. Untuk setiap aplikasi biasanya diberikan sirkulasi yang menetapkan jumlah padatan yang harus melewati siklon underflow. Pengalaman memiliki menunjukkan bahwa kepadatan aliran bawah 50% ke 53% padatan berdasarkan volume adalah tipikal untuk sirkuit penggilingan primer, sedangkan kepadatan aliran bawah 40% hingga 45% volume adalah normal untuk sirkuit regrind. Oleh karena itu, kepadatan aliran bawah dapat diasumsikan yang menetapkan laju aliran total yang harus dilaporkan melalui setiap puncak siklon. Angka Gambar 8.15 menunjukkan perkiraan laju aliran untuk lubang puncak diameter yang diberikan.

a. Pertimbangan Operasional dan Desain

Salah satu pertimbangan terpenting adalah memastikan bahwa siklon dipasang dengan benar. Daftar terperinci "Do's and Don'ts" diberikan pada bab selanjutnya.

b. Pipa dan Distribusi Umpan

Pertimbangan yang paling penting untuk sistem siklon yang diberikan adalah pengiriman lumpur yang tepat ke siklon atau siklon. Telah ditemukan bahwa ukuran pipa yang menghasilkan kecepatan garis 200 hingga 300 cm / detik (7 hingga 10 kaki / detik) cukup tinggi untuk mencegah partikel dari menetap, bahkan di bagian horisontal, tetapi cukup rendah untuk meminimalkan keausan. Biasanya untuk instalasi siklon tunggal ukuran pipa saluran masuk dari rekomendasi pabrikan menghasilkan kecepatan di area ini.

Jika bubur itu akan didistribusikan ke sejumlah siklon yang beroperasi secara paralel, perhatian yang sangat harus diberikan pada desain sistem distribusi, dan jenis manifold radial direkomendasikan. Ini adalah sistem di mana siklon diumpankan dari ruang melingkar pusat. Ketika dirancang dengan baik, ruang pusat menjadi area pencampuran dan kecepatan garis harus diturunkan menjadi sekitar 60 hingga 90 cm / detik (2 hingga 3 kaki / detik). Ini akan membantu memastikan bahwa setiap siklon diumpankan dengan konsentrasi bubur yang sama serta distribusi ukuran partikel yang sama dan juga akan mengurangi tingkat keausan. Menggunakan bermacam-macam radial juga memudahkan untuk memasang siklon siaga jika jenis berjenis inline digunakan, siklon tidak akan menerima yang baik distribusi. Ini adalah tipikal bahwa partikel bermassa tinggi atau partikel kasar cenderung melewati siklon pertama dan melaporkan ke siklon akhir. Ini menghasilkan siklon terakhir menerima konsentrasi pakan yang lebih tinggi dari partikel kasar, yang mempercepat keausan siklon terakhir serta menghasilkan pemisahan yang lebih kasar karena kepadatan umpan yang lebih tinggi. Juga, siklon terakhir, setelah mati, menjadi sulit untuk memulai kembali karena padatan akan cenderung untuk dimasukkan ke dalam pipa umpan. Untuk aplikasi yang pemisahannya tidak kritis atau konsentrasi umpannya sangat rendah, manifold inline dapat diterima dan jauh lebih murah daripada tipe radial.

c. Bahan Konstruksi

Konstruksi Siklon sangat bervariasi dari satu produsen ke produsen lain, tetapi sebagian besar desain mencakup rumah logam dengan pelapis yang dapat diganti dengan pelapis yang dapat diganti dengan yang paling cocok bahan liner bervariasi dari satu aplikasi ke aplikasi lainnya. Juga umum untuk menggunakan beberapa bahan lapisan yang berbeda di dalam siklon yang sama untuk mengoptimalkan karakteristik keausan.

Karet getah alam adalah bahan yang paling umum digunakan karena biayanya yang relatif rendah, keausan yang sangat baik, kemudahan penanganan, dan memang demikian tidak rapuh. Aplikasi di mana karet gusi tidak cocok adalah yang di mana suhunya melebihi 600C atau ada sejumlah besar hidrokarbon hadir dalam bubur seperti minyak atau bahan kimia berbahaya lainnya.

Bahan keramik telah ditemukan sebagai liner siklon untuk lubang puncak serta daerah lain yang menunjukkan abrasi parah. Ini termasuk area-area seperti cone liner bawah dan vortex finder.

Nihard juga telah terbukti sebagai bahan aus yang dapat diterima, terutama untuk pencari vortex dan area lain yang membutuhkan kekuatan serta ketahanan abrasi. Bahan elastomer lain seperti neoprene dan nitrit juga digunakan ketika hidrokarbon hadir atau ketika suhu melebihi 600C. Urethane memilikiditerima, terutama di daerah di mana padatan relatif baik.

Perhitungan penurunan tekanan

$$M = \frac{\Delta P \times 0.102}{G} \text{-----} (17)$$

Di mana M = Meter, bubuk.

ΔP = Penurunan tekanan, kPa. G = Sp gr bubuk.

Sebagaimana dinyatakan, direkomendasikan bahwa produk-produk overflow dan underflow dibuang pada tekanan atmosfer. Jika luapan dialirkan ke kepala positif, beberapa fluida yang biasanya terjadi luapan dipaksa. Ini tidak punya efek utama pada klasifikasi tetapi meningkatkan jumlah padatan bypass dan mengurangi kepadatan underflow. Jika limpahan dibuang pada titik yang lebih rendah dari pintu masuk umpan, siphon yang mungkin dapat dibuat yang akan menyebabkan kerusakan dalam klasifikasi dan dapat membawa partikel yang lebih besar ke dalam luapan. Efek siphon yang besar sebenarnya bisa menghilangkan liner yang aus yang pada gilirannya akan pasang pipa melimpah. Siphon dapat dicegah dengan memasang pipa ventilasi pada pipa luapan masing-masing siklon. Aliran bawah juga harus dibuang pada atau di dekat tekanan atmosfer. Jika aliran bawah dilepaskan pada tekanan negatif, efeknya akan serupa dengan tekanan positif pada luapan siklon. Jika underflow dibuang terhadap tekanan positif, jumlah aliran dikurangi dan puncak yang lebih besar harus dipilih untuk memastikan bahwa padatan yang diklasifikasikan dapat melepaskan secara bebas.

d. Desain Sump / Pump

Bab lain membahas pemilihan dan ukuran pompa lumpur dan harus dikonsultasikan untuk informasi lebih rinci mengenai desain pompa / bak. Secara khusus seperti disebutkan sebelumnya, penurunan tekanan melintasi siklon diukur dengan mengambil perbedaan antara tekanan umpan dan tekanan luapan. Jika luapan dilepaskan pada tekanan atmosfer dekat seperti mengenai aplikasi siklon, bubuk umpan yang dikirim ke siklon harus sekuat mungkin berkenaan dengan laju aliran volumetrik dan kepadatan bubuk. Kondisi pakan yang tidak stabil seperti lonjakan pompa yang parah atau variasi ekstrim dalam kepadatan lumpur sangat merusak kinerja siklon yang baik. Secara umum, sistem bah / pompa untuk aplikasi siklon harus memiliki bak dengan kedalaman sedalam mungkin dan luas penampang minimum yang konsisten dengan waktu retensi yang direkomendasikan pabrik pompa. Bah desain ini biasanya akan menghilangkan lonjakan pompa dengan memungkinkan variasi kecil dalam tingkat bah jauh di atas tingkat hisap pompa minimum. Area penampang kecil akan mengurangi penumpukan padatan di bagian bawah bak dan membantu mencegah sebagian besar padatan yang menempel mengendap ke dalam hisap pompa dan menyumbat saluran umpan siklon atau puncak siklon. Oleh karena itu, bah tinggi dengan area penampang kecil memberikan operasi yang lebih lancar.

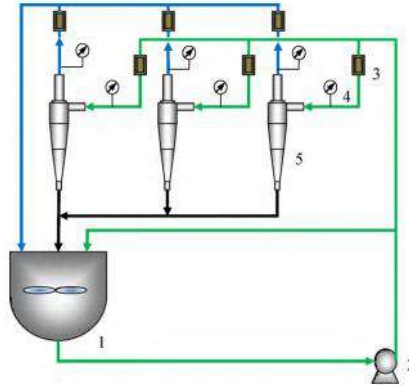
e. Pola Pembagian Puncak

Bagian penting dari operasi siklon adalah dapat mengamati jenis pola bahwa puncak siklon memproduksi. Puncak yang beroperasi pada tekanan atmosfer harus menghasilkan pelucutan berbentuk kerucut dengan sudut 200 hingga 300 dan pusat berlubang. Jika siklon secara konsisten menghasilkan semprotan kerucut sudut tinggi, lubang puncak harus dikurangi ukurannya untuk memaksimalkan kepadatan bubuk yang dibuang. Di sisi lain, jika semprotan kerucut batal dari pusat berlubang dan menyerupai "tali", maka apeks terlalu kecil dan material yang terlalu besar mungkin melapor ke luapan siklon. Dalam hal ini, lubang puncak yang lebih besar harus dipasang.

Bagian-bagian dari siklon dan geometri yang mana terdiri dari silinder standar yang dijelaskan. Kinerja siklon, serta variabel mendasar dari diameter siklon, konsentrasi pakan, penurunan tekanan, dan gravitasi spesifik, telah dijelaskan. Representasi grafis dan hubungan matematika telah diberikan untuk masing-masing variabel mendasar, dan kapasitas siklon dan puncak telah disajikan. Informasi desain dan pemasangan lainnya seperti sistem distribusi pakan,

bahan konstruksi, perhitungan penurunan tekanan, desain bak / pompa, dan pola puncak dibahas. Contoh masalah untuk rangkaian penggilingan batang gilingan / ball mill primer juga diberikan.

Meskipun metode untuk menentukan ukuran yang tepat dan pemilihan hidrosiklon dalam makalah ini telah terbukti cukup akurat, ahli harus tetap menyadari fakta bahwa variasi dalam karakteristik bijih berdampak pada kinerja siklon. Dalam kasus di mana karakteristik bubuk dipertanyakan, informasi pilot plant harus digunakan untuk memberikan ukuran dan seleksi siklon yang lebih akurat (Gambar 9).



Gambar 8.9. Skematik diagram dari percobaan 1) tangki Pengaduk 2) pompa, 3) flow meter, 4) pengatur tekanan dan 5) hydrocyclone

4. Separator Siklon Gas - Abu

4.1 Single Dust Collector

Instalasi pemisahan debu dapur boiler disebut dengan “dust collector” di mana sebagian besar debu terkonsentrasi ke bagian gas dengan penggunaan perangkat inersia, dengan final koleksi diselesaikan oleh siklone. Kolektor seperti itu biasanya dirancang sedemikian rupa sehingga sekitar 10 atau 15% dari aliran gas utama melewati shunt sirkuit dan siklon. Efisiensi fraksional (α_1) dari bagian berkonsentrasi kolektor adalah fungsi dari rasio aliran umpan gas (shunt) dan aliran gas, dengan fraksi yang lebih tinggi efisiensi yang diperoleh dengan lebih besar aliran shunt. Efisiensi total bagian konsentrator sendiri adalah, 0% ketika tidak ada shunt mengalir, dan 100% ketika semua gas lewat melalui sirkuit shunt. Efisiensi fraksional dari siklon (α_2) meningkat dengan aliran volume gas yang lebih besar, dan beban debu yang lebih tinggi seperti pada instalasi siklon biasa. Lebih lanjut jelas bahwa debu tertangkap di bagian konsentrator harus kembali dikumpulkan oleh siklon sebelum sepenuhnya dihapus dari aliran gas. Karena itu pecahan efisiensi kolektor lengkap harus kurang dari salah satu siklon atau konsentrator. Memiliki telah ditunjukkan oleh H. van der Kolk bahwa efisiensi pengaturan kolektor debu secara keseluruhan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$ET = 1 - \frac{\beta}{\alpha_1 + \beta} - \frac{\beta}{\alpha_2 + \beta} + \frac{\beta}{\alpha_1 + \alpha_2 + \beta}$$

Gambar 10 adalah penggunaan siklon separator dalam pembersihan gas buang boiler yang menggunakan bahan bakar padatan, dengan komposisi gas dan partikel halus yang dapat mengotori lingkungan. Alat tersebut dust collector yaitu partikel halus jatuh kebawah sedang kan gas bersih akan naik melalui chimney. Efisiensi disini adalah ratio di mana : α_1 dan α_2 berlaku untuk primer konsentrator dan siklon. pengumpul, masing-masing. Dalam instalasi khas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.10, kipas shunt, berjalan pada a kecepatan konstan akan mempertahankan cukup volume gas konstan mengalir melalui sirkuit shunt, terlepas dari apapun perubahan kuantitas gas yang memasuki konsentrator utama. Karenanya, jika kuantitas aliran gas

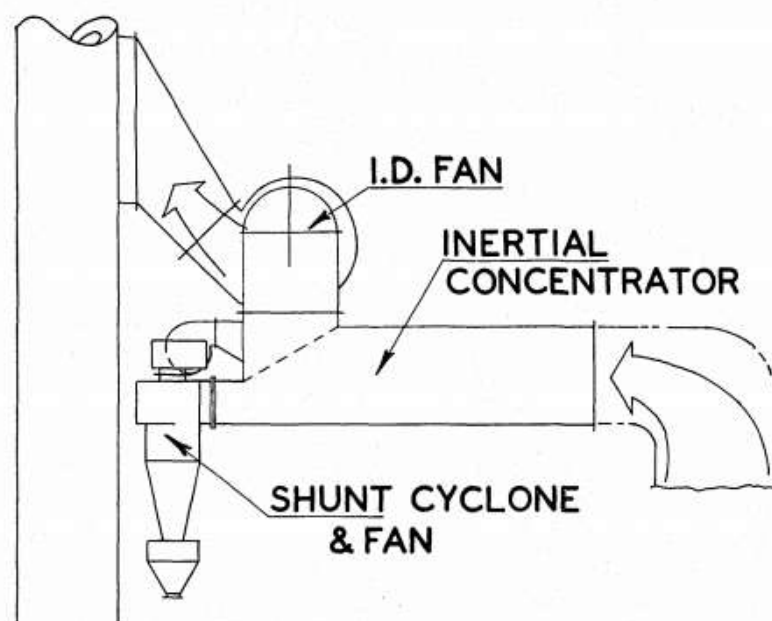
utama berkurang karena untuk pengurangan beban boiler, misalnya, aliran shunt menjadi persentase yang lebih besar dari aliran utama, dan nilainya dari α meningkat, menyebabkan peningkatan dalam efisiensi keseluruhan. Jika arus utama akan menurun ke titik di mana semua gas buang melewati shunt sirkuit (sekitar 10% -15% dari beban) efisiensi pengumpul akan sama seperti siklon (Gambar 11)

$$E_r = 1 - [\alpha^2 / (\alpha^2 + \beta)],$$

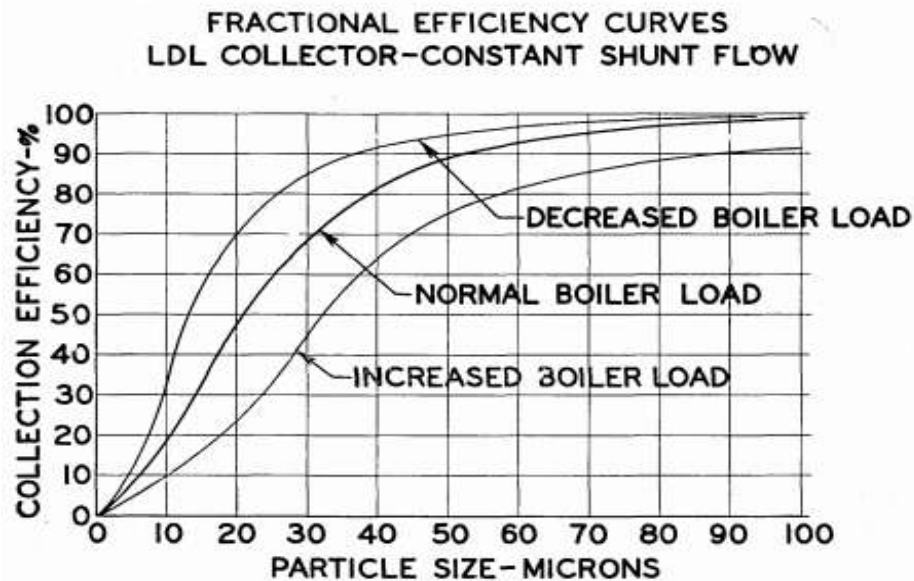
yang merupakan maksimum efisiensi untuk kolektor. Jika aliran utama meningkat dengan aliran shunt konstan, efisiensi kolektor berkurang karena pengurangan α . Efisiensi total kolektor akan mendekati nol sebagai aliran utama mendekati tak terhingga.

4.2 Multi dust collector

Instalasi multi dust collector umumnya dikembangkan pada industri boiler yang menggunakan biomas sebagai bahan bakar yang menghasilkan abu yang sangat berpengaruh pada lingkungan. Instalasi ini digunakan pada boiler kapasitas moderate dan besar serta menghasilkan abu yang cukup tinggi, kandungan abu semakin tinggi jika proses pembakaran kurang efektif. Instalasi dust collector dipasang tersusun pada bidang datar pada out let cerobong asap dengan hisapan Induction Draft Fan (IDF) dengan tujuan agar abu partikel halus terhisap dan jatuh ke bawah *air lock* (Gambar 8.12)

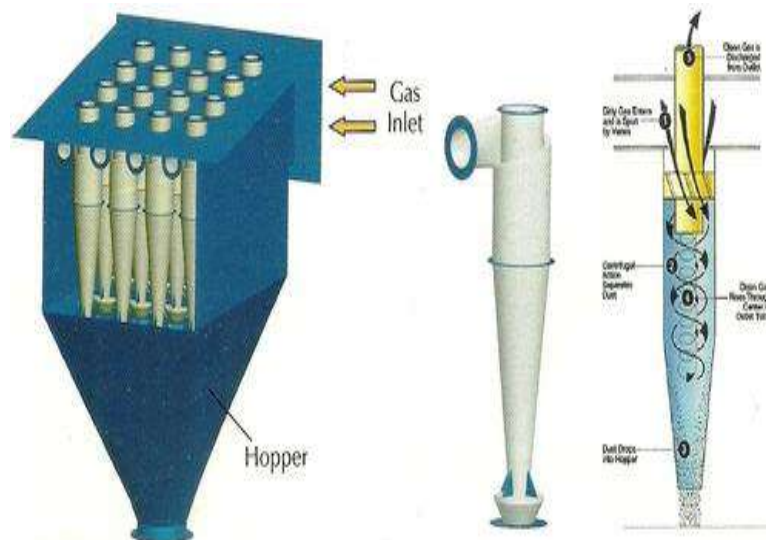


Gambar 8.10. Siklon Separator Gas-Abu



Gambar 8.11. Hubungan antara Efisiensi pengutipan debu dengan ukuran partikel

Mekanisme kerja cyclone sama dengan kerja separator pemisah tunggal, hanya dalam instalasi ini berdiameter lebih kecil +/- 4-6" tergantung kapasitas umpan yang akan dibersihkan. Partikel abu yang halus mudah terbang oleh pengaruh angin dalam penagannannya, maka dalam proses pencegahan dilakukan pengakapan dalm bak yg berisi air.



Gambar 8.12. Multi dust collector

5. Scrubber

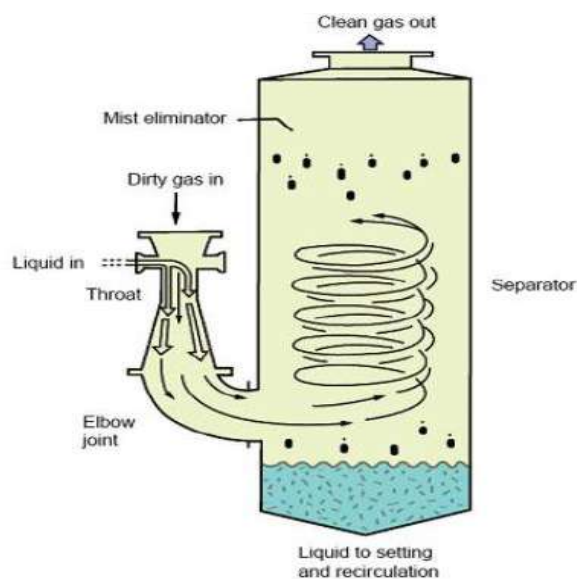
Scrubber (pemicu) paling sering digunakan sebagai alat kontrol polusi udara untuk menghilangkan partikel bahan dan bahan kimia dari aliran gas buangan dari sumber titik pembakaran. Scrubber di gunakan juga untuk menangkap partikel halus dan baghan kimia dalam bentuk gas, seperti menangkap gas ClO. Juga hal yang sama juga diterapkan di mana bubur digunakan di bagian lain dari proses atau di mana campuran berada dalam bentuk bubur sehingga reaksi kimia akan dihasilkan dalam aksi scrubbing.

5.1. Orifice Scrubber

Dalam orifice scrubber juga dikenal sebagai scrubber impaksi, aliran gas mengalir di atas permukaan genangan cairan pembersih. Saat udara menyentuh permukaan air, ia masuk tetesan cairan. Aliran gas limbah kemudian mengalir ke atas dan memasuki lubang dengan pembukaan yang lebih sempit dari saluran. Lubang membawa turbulensi dalam aliran yang mana menyemprotkan tetesan yang entrained. Tetesan yang diatomisasi menangkap partikel di aliran udara. Kecepatan udara di scrub orifice dapat dikendalikan dengan menggunakan adjustable lubang. Keuntungan utama dari jenis scrubber ini adalah tidak perlu pompa resirkulasi untuk cairan pembersih, yang merupakan kontributor utama operasi biaya untuk sebagian besar scrubber. Kerugiannya adalah kesulitan dalam membuang lumpur dihasilkan selama proses scrubbing. Dalam sebagian besar desain scrubber limbah terus menerus mengalir dari bawah. Orifice scrubber terdiri dari kolam statis untuk membersihkan cairan, jadi limbah yang dihasilkan dihilangkan dengan ejector lumpur, yang beroperasi seperti ban berjalan.

5.2. Venturi Scrubber

Venturi scrubber memiliki bagian konvergen menyimpang, dalam sistem jenis ini persilangan luas penampang saluran menurun kemudian bertambah sepanjang panjang saluran. Area tersempit dalam saluran disebut sebagai tenggorokan. Dalam venturi scrubber, cairan adalah diperkenalkan sedikit ke hulu tenggorokan atau langsung ke bagian tenggorokan. Dalam Pada bagian yang konvergen berkurangnya luas menyebabkan kecepatan aliran gas buang dan turbulensi meningkat (Gambar 8.13). Cairan pembersih dikabutkan oleh udara berkecepatan tinggi streaming dan meningkatkan kontak udara-cair. Lebih lanjut campuran udara - cair melambat sebagai ia bergerak melalui bagian yang berbeda, yang membantu menciptakan dampak tetesan partikel dan aglomerasi tetesan. Pemisahan tetesan cairan dari udara aliran terjadi di bagian entrainment. Bagian entrainment biasanya terdiri dari pemisah siklon dan eliminator kabut (*mist eliminator*). Untuk efisiensi pengumpulan venturi scrubber untuk partikel halus lebih tinggi tetapi peralatan lebih mahal daripada menara semprot, scrubber siklon atau menara baki. Kecepatan udara dan turbulensi yang tinggi dalam scrubber ventura tenggorokan menghasilkan efisiensi pengumpulan tinggi mulai dari 70 hingga 99% untuk partikel yang lebih besar berdiameter 1 μm dan lebih besar dari 50% untuk partikel submikron. Meningkatkan penurunan tekanan meningkatkan efisiensi pengumpulan, tetapi permintaan energi sistem juga meningkat yang mengarah ke biaya operasional yang lebih tinggi.



Gambar 8.13. Scrubber Pemisah partikel halus dalam gas buang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhuiyan Zaman (2020). Design analysis of Dust collection system. University of Manitoba, Winnipeg, Canada pp:27
- Brown. G.G, Donald Katz, Alan S. Froust and Richard Schneiderwind (1956). Separation from Gases, In Unit Operation John Wiley & Sons Inc, New York.Singapore, p: 9-22.
- Davailles Aurélien, Eric Climent And, Florent Bourgeois (2012). Fundamental understanding of swirling flow pattern in hydrocyclones Separation and Purification Technology, China, vol. 92 . pp. 152-160.
- Eck Markus , Holger Schmidt , Martin Eickhoff³ and Tobias Hirsch (2006) Field Test Of Water-Steam Separators For The Direct Steam Degeneration Process 1 German Aerospace Center (DLR), Institute of Technical Thermodynamics, Pfaffenwaldring. Solas Spaces Germany p.1-9.
- Gallaer C. A. and J. W. Schindeler (1963) Mechanical Dust Collectors. Journal of the Air Pollution Control Association. Detroit, Vol 13 No. 12 p: 574-580
- Harmond Jesse E., N. Robert Brandenburg, and Leonard M. Klein (1968), Cleaning and Handling. Agriculture Handbook No. 354, USDA Origin Agricultural Experiment Station. Origin. p; 1-58.
- Krishna H. Ch, P. Srinivasa Rao and P.V. Gopal Singh (2006) Studies on the Performance of Air Cyclone Separator for Removal of Particulate Matter : Proceedings of the International Seminar on Mineral Processing Technology - 2006, Chennai, India. pp. 352 - 357.
- Lingjuan Wang (2004) Theoretical study of Cyclone Design , A Dissertation Doctor of Philosophy . Texas A&M University. P: 1-151
- McCabe W.L, Julian C Smith and Peter Harriott (1993). Separation of solids from Gases : In Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill Inc. 5th Edition, p. 1060-1062.
- Naibaho, P.M. (1988). Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan pp:304
- Nakkaei Moh., Bona Lu, Yujie Tian, Wei Wang, Kim Dam-Johansen and Hao Wu (2019). CFD Modelling of Gas-Solid Cyclone Separators of Ambient and Elevated Temperatures. Journal MPPI, Processes . Denmark. p 1-26.
- Vieira L.G.M, E.A. Barbosa, J.J.R.Damasceno and M.A.S. Barrozo (2005) Performance Analysis and Design of Filtering Hydrocyclones. Brazilian Journal of Chemical Engineering Vol. 22, No. 01, pp. 143 – 152
- Yang Qiyang , Hua-lin Wang, Yi Liu, and Zhi-ming Li (2010) Solid/Liquid Separation Performance of Hydrocyclones with different cone combinations. In Separation and Purification Technology China 74, 271-279.
- Zhiyi Xiong, Zhongli Ji , Xiaolin Wu.(2014). Investigation on the Separation Performance of a Multicyclone Separator for Natural Gas Purification , Aerosol and Air Quality Research, Taiwan 14: 1055–1065

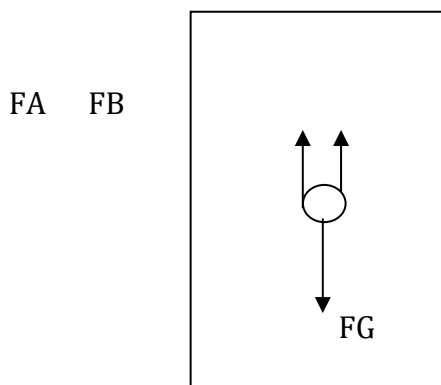
BAB IX

SEDIMENTASI

1. Pendahuluan

Sedimentasi ialah proses pemisahan zat padat, yang berbentuk dispersi, dan suspensi dalam cairan berdasarkan perbedaan berat jenis sebagai fungsi gravitasi. Perbedaan berat jenis semakin nyata jika dibantu dengan perlakuan sentrifugasi. Pemisahan dengan menggunakan mekanisme sentrifugasi, yaitu meningkatkan perbedaan lemparan massa akibat berat jenis massa yang berbeda. Zat yang memiliki berat jenis (*specific gravity*) yang lebih tinggi akan terlempar ke dinding alat sentrifugasi, sedang yang lebih ringan akan berada dekat as sentrifuse. Sentrifuse terdiri dari 2 type yaitu type vertical dan horizontal.

Prinsip pada sedimentasi atau sentrifuge $a =$ gaya untuk mengapung $B =$ gaya tarik atas (gaya geser), $G =$ gravitasi



Gambar 9.1. Posisi partikel dalam proses sedimentasi (diam)

Tipe sentrifuse didasarkan pada kecepatan putar per menit, yaitu type rendah < 8.000 rpm, type sedang $8.000 - 30.000$ rpm, type kecepatan tinggi $30.000-80.000$ rpm dan kecepatan ultra centrifuge > 80.000 rpm.

2. Gaya oleh Gravitasi

Sejalan dengan daya tarik bumi maka gaya gravitasi

$$FG = mg \text{ -----(1)}$$

dimana m massa partikel dinyatakan dalam kg dan percepatan tarik bumi g dinyatakan 9.81 m.s^{-2} . Persamaan ini tidak dapat langsung membantu dalam perehitungan partikel halus. Maka kita menggunakan prinsip densiti yaitu mass per volume,

$$\rho = m V \text{ -----(2)}$$

dimana $\rho =$ densitas of partikel (in kg.m^{-3}), $m =$ mass (kg), $V =$ Volume (m^3),

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ -----(3)}$$

Dimana r = radius bola, π = perbandingan keliling dengan radius (3,14), V = volume (m^3). Gabungan persamaan (1), (2) and (3) menghasilkan persamaan (4).

$$F_G = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_p g \text{ ----- (4)}$$

Dimana p = density of a particle (expressed in $kg.m^{-3}$)

3. Gaya Apung

Gaya apung (F_B) sesuai dengan hukum archimedes pada partikel dengan radius r dicelupkan dalam cairan dengan *density* ρ_s , pengapungan F_B seperti pada Persamaan 5

$$F_B = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s g \text{ -----(5)}$$

dimana ρ_s = densitas cairan yang dipindah ($kg.m^{-3}$)

4. Gaya Tarik ke Atas

Gaya F_D pada gerak partikel cairan yang dinyatakan gaya geser pada cairan pada Persamaan 6.

$$F_D = 6\pi r \eta v \text{ -----(6)}$$

Dimana r = radius partikel bergerak (units m), η = viscosity of the solution (Units $Pa.s$), v = velocity partikel bergerak sphere (Units $m.s^{-1}$). Symbol η dari kekentalan dari larutan yang diukur aliran cairan dinyatakan dengan units of Pascal seconds dan SI system of units. Catatan Hukum Stokes' digunakan dalam aliran seperti butiran halus.

5. Sedimentasi Butiran Halus Dalam Air

Sedimentasi bola kecil dalam air menggabungkan hasil dari teori sedimentasi yang diuraikan di atas, berarti jika partikel seperti partikel halus tersuspensi dalam wadah air, akan segera mengalami gaya ke bawah karena gravitasi dan gaya ke atas karena daya apung. Dengan asumsi kepadatan partikel lebih besar daripada larutan di sekitarnya, gravitasi akan dominan dan partikel akan mulai jatuh ke bagian bawah. Begitu partikel mulai bergerak, seret, akan mulai beroperasi melawan gerakan. Ketika partikel berakselerasi, maka gaya hambat meningkat, hingga gaya hambat ini hanya menyeimbangkan perbedaan gravitasi dan daya apung. Hukum Stokes hanya berlaku untuk aliran lamella, di satu daerah cairan bergerak dengan lancar melewati satu sama lain. Bandingkan ini dengan aliran turbulen di mana partikel cairan bergerak secara acak. Asumsi aliran lamella dapat terbukti valid untuk partikel halus yang bergerak melalui air. Pada tahap ini partikel akan terus jatuh melalui larutan menuju bagian bawah wadah bergerak dengan kecepatan terminal konstan v_T . Nilai ini dapat ditentukan dengan menyamakan tiga gaya seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_p - \rho_s) g = 6\pi r \eta v_T \text{ -----(7)}$$

Persamaan tersebut memberikan kecepatan terminal dari butiran halus, Persamaan 8.

$$v_T = \frac{2r^2(\rho_p - \rho_s)g}{9\eta} \text{ -----(8)}$$

Mengacu pada Gambar 1, diasumsikan kedalaman larutan yang mengandung butiran halus adalah 1 meter. Jadi waktu untuk semua butir serbuk halus dalam larutan untuk bermigrasi ke bagian bawah fluida di bawah gravitasi, T , lihat Persamaan 9.

$$T = \frac{l}{\eta} \frac{2r^2}{9} (\rho_p - \rho_s) g \text{ -----(9)}$$

di mana Simbol T waktu untuk semua partikel jatuh (detik) l = kedalaman larutan (meter).

6. Perhitungan Waktu Pengendapan Partikel Halus

Contoh perhitungan waktu pengendapan untuk partikel halus mengingat persamaan yang dikembangkan, sekarang saatnya untuk memasukkan beberapa nilai ke dalamnya dan memperkirakan waktu penyelesaian untuk partikel halus dalam larutan madu. Nilai tipikal adalah sebagai berikut simbol deskripsi Nilai d kedalaman larutan 8 cm (0,08 m), η = viskositas air (pada 20°C) $1,002 \times 10^{-3}$ Pa.s, Radius butiran partikel halus 20×10^{-6} m ρ_p . Kepadatan partikel halus terhidrasi 1250 kg.m^{-3} , ρ_s kepadatan air 1000 kg.m^{-3} . Menggunakan Persamaan (9) memprediksi waktu untuk semua butir halus untuk mengendap di bagian bawah tabung menjadi 368 detik atau hanya lebih dari 6 menit. Ini tampaknya waktu yang sangat singkat karena praktik yang biasa dilakukan adalah meninggalkan larutan koloid (seperti madu) dalam jangka waktu beberapa jam untuk memungkinkan butiran serbuk sari tertutup untuk endapan. Namun nilai-nilai di atas tidak terlalu realistis, khususnya;

➤ Viskositas larutan

Nilai viskositas dianggap sama dengan air murni pada suhu 20°C. Namun larutan madu jauh lebih kental karena mengandung sejumlah besar gula terlarut. Selain itu nilai viskositas sangat bergantung pada suhu, naik dengan cepat seiring turunnya suhu.

➤ Densitas larutan

Melihat Persamaan 9 dapat diketahui bahwa waktu untuk butiran halus untuk menyelesaikan berbanding terbalik dengan perbedaan kepadatan partikel halus dan larutan, dan untuk prediksi akurat waktu sedimentasi.

➤ Kepadatan partikel halus

Kepadatan partikel halus tidak dapat diterima begitu saja, sehingga prediksi waktu sedimentasi yang lebih akurat akan membutuhkan penyelidikan lebih lanjut untuk mengukur bagaimana viskositas dan kepadatan suatu larutan yang bervariasi dengan jumlah madu yang larut dan dengan perubahan suhu. Namun ini adalah masalah untuk waktu lain dan mungkin kertas lain.

7. Sedimentasi Pemisahan Makromolekul

Gaya sentrifugal seperti yang dialami oleh partikel dalam sentrifuse sebenarnya mencerminkan kecenderungan alami partikel untuk bergerak dalam garis lurus tanpa adanya eksternal kekuatan. Melihat percobaan di laboratorium, diamati bahwa partikel dibelokkan dari lintasan linear oleh gaya sentripetal (diarahkan ke poros tengah rotor). Namun, mempertimbangkan gerak partikel sehubungan dengan kerangka acuan (berputar) rotor, tampak bahwa pada setiap saat partikel mengalami gaya luar atau sentrifugal: Mengabaikan efek daya apung untuk saat ini, besarnya gaya sentrifugal (yang, dalam referensi berputar rotor, adalah nyata seperti gaya lain)

$$F_{centrif} = \frac{m_{object} \cdot v_{tang}^2}{r} = m_{object} \cdot r \omega^2 \text{ -----(10)}$$

di mana r adalah jarak dari sumbu rotasi, v tang adalah kecepatan linier setiap saat (dalam arah tegak lurus terhadap sumbu radial) dan ω adalah kecepatan sudut (dalam radian detik-1 - perhatikan bahwa $1 \text{ rpm} = 2\pi / 60 \text{ rad detik-1}$). Besarnya gaya ini dapat dibandingkan dengan gaya gravitasi di permukaan bumi: di mana G adalah konstanta gravitasi universal ($= 6.67 \times 10^{-8} \text{ g-1 cm}^3 \text{ dt-2}$) dan r adalah jari-jari bumi ($= 6,37 \times 10^8 \text{ cm}$) dan massa ($5,976 \times 10^{27} \text{ g}$), masing-masing

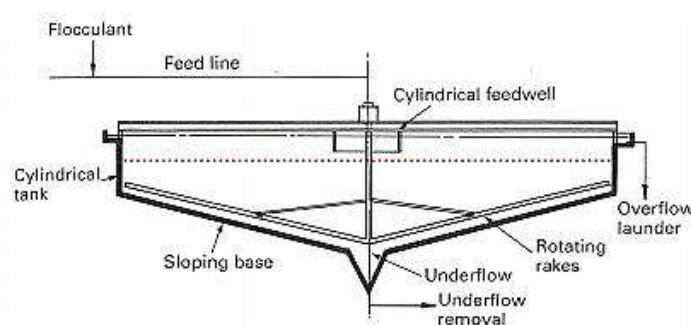
$$F_{grav} = \frac{G \cdot (m_{earth}) \cdot (m_{object})}{r_e^2} \text{-----(11)}$$

8. Instalasi Sedimentasi

Instalasi sedimentasi yang dikembangkan dalam bentuk yang tergantung dari proses pemisahan dan bahan yang akan dimurnikan dengan dasar sedimentasi. Dalam pengolahan hasil pertanian proses ini dikembangkan baik untuk proses pengolahan, pemurnian air atau proses pengendalian limbah cair antara lain; instalasi rotary Clarifier, Bak Sedimentasi, Settling Tangk dan Clarifier

8.1 Instalasi Rotary Clarifier

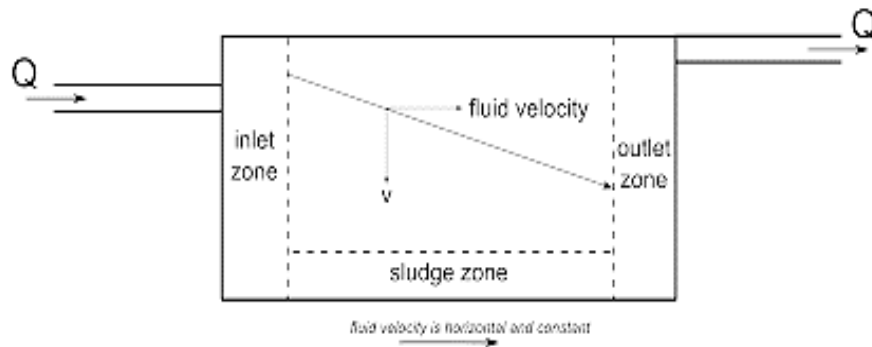
Alat ini bentuk silinder yang dilengkapi dengan scraper untuk pemekatan lumpur dibagian dasar (Gambar 9.2). Instalasi ini banyak digunakan dalam pengolahan limbah dengan tujuan untuk mengurangi padatan pada badan penerima.



Gambar 9.2. Pengendapan dengan alat *rotary* untuk memisahkan sedimen

8.2 Bak Sedimentasi

Instalasi yang menerapkan penerapan gravitasi (Gambar 3), yang beroperasi secara alami, yang banyak digunakan pada effluent treatment. Cairan masuk melalui talang inlet dan setelah memasuki tangki pengendap, terjadi aliran. Partikel yang mengapung akan mengalir secara garis lurus, sedangkan partikel dengan berat jenis yang lebih bnesar akan ,mengendap di dasar tangki.

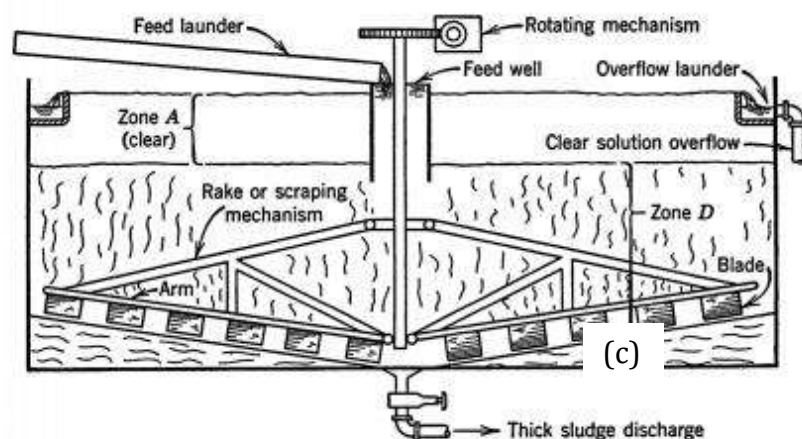


Gambar 9.3. Mekanisme aliran berdasarkan gravitasi

8.3 Tangki clarifier

Tangki clarifier berbentuk *cylinder* yang dikembangkan dalam pemurnian air minum atau air bersih, air pengolahan dan untuk umpan boiler. Mekanisme pemisahan butiran flok dan partikel halus dengan cara sedemintasi (aplikasi gravitasi). Instalasi ini dilengkapi dengan scraper yang terdiri dari blade yang berputar untuk mengumpulkan flok dan partikel halus. Umpan masuk kedalam silinder yang berada ditengah tangkai cylinder diameter 1 m, sedangkan diameter silinder mencapai 8-10 m. Air umpan akan keluar dari bagian bawah silinder, kemudian terpisah flok akan turun ke bagian dasar sedang air murni naik ke bagian atas tangka clarifier. Selain untuk pengelolaan air minum juga dikembangkan pada pengelolaan limbah untuk pencapaian kualitas air yang dapat diterima badan lingkungan.

This unit operates on a continuous basis (at/close to **steady-state**)

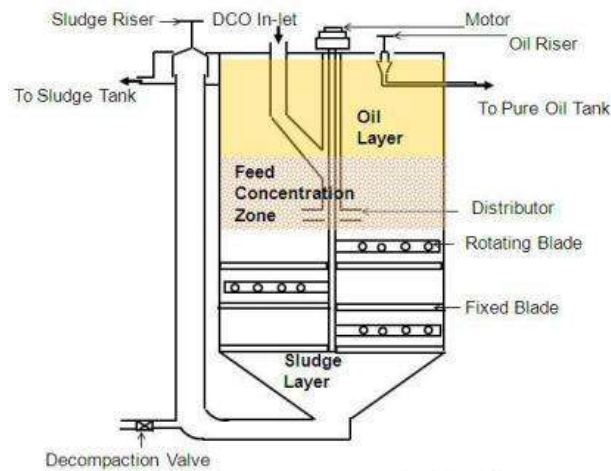


Gambar 9.4. Pengendapan lumpur halus dengan sistem clarifier

8.4 Settling Tank

Instalasi ini berperan memisahkan padatan dengan cairan berdasarkan berat jenis, banyak dikembangkan pada water treatment, dan industri pemisahan minyak dalam klarifikasi (oil plant), Gambar 9.5. Settling tank ada yang berbentuk silinder dan berbentuk kotak. Pemisahan dapat dilakukan dengan *batch* dan kontinu tergantung dari kapasitas instalasi. Instalasi pemurnian minyak dilengkapi dengan; i) alat penyemprot uap (steam injection) berperan untuk memecahkan emulsi, suhu yang digunakan umumnya berkisar 90-95°C, setelah gumpalan minyak dan lumpur dipecahkan dengan baik atau merata maka penyemprotan uap dihentikan, ii) pemanas bentuk koil yang dioperasikan selama proses untuk mempertahankan kondisi proses pada suhu 90-95°C, iii)

alat pengaduk (*stirrer*) dengan kecepatan 2 rpm untuk memecahkan endapan di dasar settling tank (cone) Pemisahan dilakukan dengan 2 saluran keluar yaitu dari bagian atas untuk mengeluarkan bagian atas yang murni (minyak) dan bawah berupa sludge atau lumpur yang akan diolah lebih lanjut untuk mengutip minyak yang berbentuk emulsi.



Gambar 9.5. Bak pengendapan (settling tank) dengan masuknya umpan menuju bagian tengah dasar tangki dan lumpur akan keluar dari samping

DAFTAR PUSTAKA

- Balley J.E and David F. Oillis (1986). Sedimentation In Biochemical Engineering Fundamentals McGraw-Hill Book Company. New York p: 734-738.
- Brown. G.G, Donald Katz, Alan S. Froust and Richard Schneiderwind (1956). Sedimentation In Unit Operation John Wiley & Sons Inc, New York. Singapore, p:110-120.
- Burger,Raimund and Wolfgang L. Wendland (2001), Sedimentation and suspension flows: Historical perpective and some research developments Journ.of Engineering Mathematics, 41.101-116. Netherlands
- Duo Zhang (2014) Optimize sedimentation tank and lab flocculation unit by CFD Master Thesis by Norwegian University of Life Sciences Ås, Norway, p 1-105,
- George Ross Arana Bell (2013) Analysis and Development of a Decanter Centrifuge Power consumption analysis, development of a composite bowl, and feed accelerator analysi, A thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering at the University of Canterbury p. 1-128
- Kay Ohlendieck and Stephen E. Harding (2017). Centrifugation and Ultracentrifugation in Basic Principle of Sedimentation 424-452
- Lei Jiang, Yue Tu, Xiangmin Li, Haixiang Li (2018) Application of reverse osmosis in purifying drinking water College of Environmental Science and Engineering , Guilin University of Technology , Guilin 541006, China p: 1-6
- Lotta Sorsamäki and Marja Nappa (2015). Design And Selection Of Separation Processes, Research Report VTT-R-06143-15 p:1-68.
- McCabe W.L, Jullian C Smith and Peter Harriott (1993). Garvity Settling Process: In Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill Inc. Singapore. 5th Edition, p. 1048-1060.
- Naibaho, P.M.(1988). Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.Medan pp:306
- Serena Conserva, Fabio Tatti, Vincenzo Torretta, Navarro Ferronato, and Paolo Viotti (2019). An Integrated Approach to the Biological Reactor–Sedimentation Tank System Resources MDPI p:1-19.
- Seyfang Bernhard C, Andreas Klein and Thomas Grützner (2019) Extraction Centrifuges— Intensified Equipment Facilitating Modular and Flexible Plant Concepts Chemical Engineering.MPDI p:1-11
- Sorsamäki Lotta ,and Marja Nappa (2015) Design and selection of separation processes . Research Report VTT-R-06143-15.

BAB X

DEKANTASI DAN SETRIFUGASI

1. Pendahuluan

Sentrifugasi dan dekantasi (sedimentasi, pengendapan, pengapungan) adalah proses untuk pemisahan campuran heterogen dari fase yang berbeda satu sama lain dalam kepadatan (density) bahan. Prinsip fisik yang mengatur proses ini adalah sama. Dekantasi terjadi di bawah pengaruh gravitasi bumi. Dalam kasus sentrifugasi, pemisahan dipercepat dimungkinkan oleh efek gaya sentrifugal, yang mungkin berkali-kali lebih kuat dari gravitasi bumi.

Sentrifugasi dan dekantasi dapat digunakan untuk memisahkan partikel padat dari cairan atau dua cairan yang tidak bercampur dengan densiti berbeda satu sama lain, atau keduanya. Pemisahan sentrifugal dicapai tidak hanya dengan sentrifugal tetapi dalam sistem apapun di mana gerakan rotasi diberikan ke campuran. Salah satu perangkat untuk pemisahan sentrifugal tanpa sentrifugal mekanis adalah siklon, dibahas secara singkat di akhir bab ini. Namun, bagian utama dari bab ini akan membahasnya hanya dengan sentrifugasi mekanik dan sentrifugal.

Sentrifugal adalah mesin yang relatif mahal, baik dalam investasi maupun dalam biaya operasi (konsumsi energi, keausan bagian yang bergerak cepat, kebutuhan untuk konstruksi kokoh yang mampu menahan gaya dan tekanan yang sangat tinggi).

Terlepas dari biayanya, sentrifugal digunakan secara luas di industri. Mengikuti perkembangan aplikasi sentrifugasi mekanis dalam industri makanan:

- Pemisahan susu: salah satu penggunaan sentrifugal tertua dan paling luas dalam industri makanan adalah pemisahan susu murni menjadi susu skim dan krim. Sentrifugal yang digunakan untuk tujuan ini dikenal sebagai 'pemisah' (Walstra et al., 2005)
- Produksi keju: di pabrik susu modern, sentrifugal digunakan untuk mempercepat proses pemisahan dadih dari whey
- Kontrol pulp dalam jus buah dan sayuran : sentrifugasi digunakan untuk mengurangi kandungan pulp dalam jus buah dan untuk produksi jus bening secara total pengangkatan pulp
- Pemrosesan minyak nabati: beberapa operasi dalam produksi dan pemurnian minyak nabati melibatkan pemisahan minyak dari fase berair. Sentrifugasi adalah metode pengolahan minyak nabati yang disukai: beberapa operasi dalam produksi dan pemurnian minyak nabati melibatkan pemisahan minyak dari fase berair. Sentrifugasi adalah metode pemisahan yang disukai
- Pemulihan minyak atsiri: minyak atsiri buah jeruk diperoleh kembali secara sentrifugal pemisahan campuran berair yang terbentuk selama ekstraksi jus
- Produksi pati: salah satu metode pemisahan pati dari suspensi adalah sentrifugasi mekanis
- Produksi ragi: sentrifugal digunakan untuk pemisahan komersial ragi dari media pertumbuhan cair.

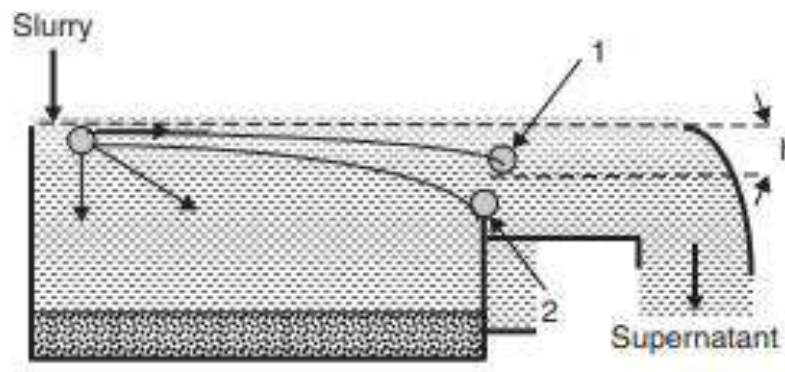
2. Prinsip Dasar

Sebagaimana dinyatakan di atas, sentrifugasi adalah proses dekantasi yang dipercepat". Oleh karena itu menguntungkan untuk menganalisis terlebih dahulu proses dekantasi 'alami' di lapangan dengan pemanfaatan gravitasi bumi. Pembahasan berikut membahas kondisi kritis untuk pemisahan partikel padat dari cairan. Alasan yang sama dan hasil yang sama juga berlaku untuk pemisahan tetesan cairan yang terdispersi dalam cairan. Isu teknik khusus mengenai pemisahan cair-cair akan dibahas secara terpisah.

2.1 Tangki Pengendapan Kontinu

Pertimbangkan tangki pengendapan terus menerus yang ditunjukkan pada Gambar 10.1. Suspensi partikel padat terus diumpungkan di salah satu ujung tangki. Kepadatan partikel menjadi lebih tinggi dari media cair, partikel tenggelam ke dasar tangki. Cairan bening mengalir keluar dari tangki melalui bendung. Pertimbangkan partikel padat di permukaan cairan pada waktu $t = 0$. Apa kondisi partikel untuk dipisahkan (yaitu dipertahankan dalam tangki dan tidak mengalir keluar melalui bendung dengan cairan)

Menjadi lebih berat dari cairan, partikel tenggelam dengan kecepatan u (m.s^{-1}), sementara pada saat yang sama bergerak dengan sebagian besar cairan menuju outlet dengan kecepatan v (m.s^{-1}). Jika jarak antara permukaan cairan dan ujung bendung adalah h (m), partikel akan disimpan dalam tangki jika waktu tinggalnya t dalam cairan di atas bendung memenuhi kondisi yang ditetapkan pada Persamaan. (1).



Gambar 10.1. Continuous Settling Tank

$$t \geq \frac{h}{u} \quad \text{----- (1)}$$

Dimana, V (m^3) menjadi volume massa cairan di atas bendung, A (m^2) luas penampang horizontal dan Q ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) laju alir volumetrik suspensi. Kemudian:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{ah}{Q} \quad \text{----- (2)}$$

Oleh karena itu laju alir maksimum yang dapat memenuhi kondisi dalam Persamaan (1) adalah:

$$Q_{\max} = uA \quad \text{----- (3)}$$

Dengan asumsi bahwa partikel berbentuk bola dan hukum Stoke berlaku, akhir kecepatan tenggelam u diberikan oleh

$$U = \frac{d_p^2(\rho_s - \rho_l)g}{18\mu} \quad \text{----- (4)}$$

Substitusi dengan persamaan (3)

$$Q_{\max} = A \frac{d_p^2(\rho_s - \rho_l)g}{18\mu} \quad \text{----- (5)}$$

dimana:

d_p = diameter partikel, m

ρ_L, ρ_S = kepadatan cairan dan padat, masing-masing, kg.m^3

μ = viskositas cairan, Pa.s

g = percepatan gravitasi, m.s^{-2}

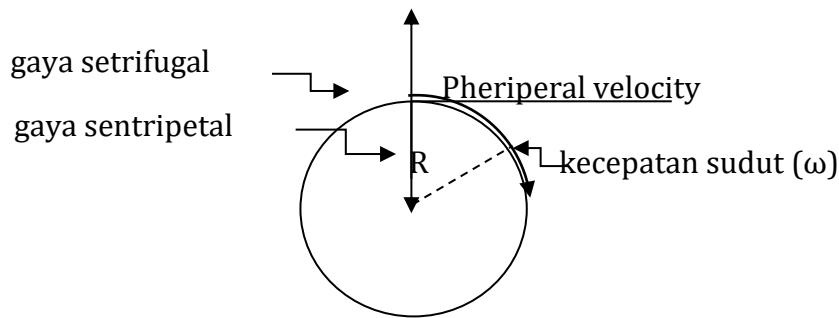
Persamaan (5) menunjukkan bahwa laju umpan maksimum yang diperbolehkan dari suatu pengendapan tangki untuk pemisahan semua partikel berdiameter d atau lebih besar, adalah $Q_{\max}$. Sebaliknya Persamaan (5) dapat digunakan untuk menghitung ukuran minimum partikel yang dapat dijumlahkan secara total dipertahankan dalam tangki pengendapan dengan luas penampang A , diumpankan pada laju volumetrik sebesar

2.2 Teori Dasar Sentrifuse

Pemisahan dengan sentrifugasi banyak dijumpai dalam industri pemisahan lemak yaitu dalam proses pemisahan susu full cream demikian juga pada pengolahan bahan campuran heterogen yang terdiri dari berbagai senyawa dengan berat jenis yang berdekatan sulit dipisahkan, yang dapat menyebabkan senyawa yang lebih berat mengendap dengan kecepatan yang lambat. Beberapa campuran senyawa yang memiliki sifat seperti ini adalah koloid, seperti emulsi. Salah satu teknik yang dapat dipergunakan untuk memisahkan campuran ini dengan teknik sentrifugasi, yaitu metode yang digunakan untuk mempercepat proses pengendapan dengan memberikan gaya sentrifugasi pada partikel-partikelnya. Gaya sentrifugal adalah gaya yang terjadi akibat adanya putaran, arah gayanya adalah dari titik pusat ke putaran keluar menuju jari-jari luar. Pemisahan dengan menggunakan gaya ini umumnya pada fase cair dan padat. Pemisahan dengan menggunakan gaya ini dilakukan apabila perbedaan densitas antara kedua fasa tidak terlalu besar, bisa dalam bentuk campuran suspensi.

Sentrifuse adalah perangkat (mungkin engkol tangan tetapi biasanya digerakkan oleh motor) yang digunakan untuk memutar fluida dengan kecepatan tinggi. Efek sentrifugal yang dihasilkan menyebabkan partikel yang tersuspensi dalam fluida bermigrasi ke bagian bawah tabung sebagai endapan (pelet), dan cairan yang mengarah pada atas, jika dalam tabung terdapat pada lapisan atas disebut supernatan. Sentrifugal hadir dalam berbagai ukuran, dengan kecepatan maksimum berbeda dan kegunaan berbeda.

Sentrifuse pada Gambar 10.2 yang menunjukkan putaran yang mengelilingi poros, bahan yang memiliki spesifik gravitasi yang lebih besar akan menuju lingkaran luar dan gaya yang terjadi disebut dengan gaya sentrifugal dan bahan dengan spesifik gravitasi yang lebih rendah akan menuju ke dalam disebut dengan gaya sentripetal. Bahan akan cenderung terlempar keluar yang disebut dengan *peripheral velocity*. Karena lemparan keluar dibatasi oleh dinding atau terikat dengan poros, maka bahan akan bergerak mengikuti lingkaran dengan kecepatan yang setara dengan perubahan sudut. Teori operasi sentrifuse dapat dikembangkan sebagai berikut. Pada sentrifuse laboratorium yakni bahan terdapat dalam tabung sentrifuse dengan panjang 10 meter dan luas penampang $A \text{ m}^2$ diisike ketinggian 1 meter dengan fluida kepadatan $\frac{1}{2}\rho$. Biarkan cairan mengandung asuspensi partikel bulat radius r meter dan kepadatan $\frac{1}{2}\rho \text{ kg.m}^{-3}$. Lihat Gambar 10.2, tabung dimasukkan ke dalam sentrifuse dan perangkat dioperasikan.



Gambar 10.2. Putaran sentrifuse

Sebagai putaran rotor, gaya sentrifugal yang terlihat bekerja pada sampel fluida dan partikel di dalamnya, mendorong kedua radial ke arah luar menuju sisi tabung sentrifuse. Besarnya gaya sentrifugal, FC dapat ditunjukkan pada Gambar 2, dan diberikan oleh persamaan (6).

$$FC = m \omega^2 R \text{ -----(6)}$$

Dimana FC gaya sentrifugal (unit Newton), ω = Kecepatan sudut sentrifuse (unit radians - 1); R = Radius dari gerakan melingkar sentrifuse (unit meter), m = Massa partikel dipintal.

Ini bisa berupa massa solusi total, atau massa butiran partikel halus tergantung pada konteks diskusi. Kecepatan linear v dari tabung saat bergerak dalam lingkaran diberikan oleh Persamaan 7

$$v = \omega R \text{ ----- (7)}$$

Gaya FC bekerja pada partikel dalam sampel fluida, mendorongnya menuju bagian luar tabung sentrifuse dan kemudian menyebabkan mereka meluncur turun tabung untuk membentuk pelet di bagian bawah. Kekuatan ini memainkan hal yang sama peran seperti yang ditunjukkan oleh gravitasi dalam sedimentasi yang dijelaskan sebelumnya. Sekali lagi ada kekuatan daya apung FB yang diberikan oleh persamaan analog dengan sudah diturunkan. Namun dalam hal ini daya apungnya bertindak berlawanan arah dengan gaya sentrifugal daripada ke arah permukaan cairan. Juga ada lagi gaya seret FD, sebagai solusinya menolak aliran partikel dan sekali lagi ini bertindak untuk menentang gerakan partikel. Menyamakan semua gaya, kita menemukan bahwa ketika partikel-partikel tersuspensi mencapai kecepatan terminal, mereka berperilaku seperti yang diperkirakan oleh Persamaan 3.

$$\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_p - \rho_s) \omega^2 R = 6 \pi r \eta v_T \text{ -----(8)}$$

Semua partikel mengumpulkan ke dalam pelet dalam tabung sentrifuse T dengan demikian diberikan dengan membagi l, kedalaman fluida dalam tabung sentrifuse dengan v_T , kecepatan terminal, lihat Persamaan 9.

$$T = \frac{9 l \eta}{2 r^2 (\rho_p - \rho_s) \omega^2 R} \text{ -----(9)}$$

dimana

T = waktu yang diambil untuk mengendapkan semua partikel tersuspensi (satuan detik), ω = kecepatan sudut sentrifuse (unit radian s - 1), r = radius partikel tersuspensi (m), η = viskositas solusi (unit Pa.s), ρ_p = kepadatan partikel tersuspensi (kg m^{-3}), ρ_s = kepadatan larutan (kg m^{-3}) dan R = radius dari gerakan melingkar sentrifuse (unit meter)

2.2.1 Gaya Sentrifugal

Gaya sentrifugal dapat dinyatakan dengan persamaan: $F = m r \omega^2$, m = massa partikel (g), r = jari-jari rotasi (cm), ω = kecepatan sudut (rad / s). Gaya sentrifugal relatif (rcf) , rasio gaya sentrifugal dan gravitasi terestrial, dalam $g = m / s^2$: r = jari-jari rotasi (dalam cm) $Rcf = r (2 \pi \{rpm\} / 60)^2 / (980 \text{ cm/s}^2)$ atau $Rcf = 11,18 \cdot r \cdot (rpm / 1000)^2$ rpm = revolusi per menit Gaya (f_1) untuk mengendapkan partikel berbentuk bola dalam larutan yang kurang padat adalah; $F_1 = (\text{volume partikel}) \cdot (\text{kepadatan relatif}) \cdot (\text{gaya sentrifugal})$ $F_1 = 1/6 \cdot \pi d^3 \cdot (\sigma - \rho) \cdot r \omega^2$, d = diameter partikel (cm), σ = densitas partikel (g / cm³), ρ = densitas larutan (g / cm³)

2.2.2 Gaya Gesek

Gaya gesek (f_2) memperlambat pengendapan partikel (di sini: bola), seperti: $f_2 = 3 \pi d \eta v$, d = diameter partikel (cm), η = viskositas larutan (poise) = g. cm⁻¹. s⁻¹ v = kecepatan pergerakan partikel (cm / s). Ketika $f_1 = f_2$ (sedimen partikel pada kondisi tetap kecepatan) $F_1 = f_2 \Leftrightarrow 1/6 \pi d^3 (\sigma - \rho) \cdot r \omega^2 = 3 \pi d \eta v \Leftrightarrow$ Jika solusinya homogen $[d^2 / 18 [(\sigma - \rho) / \eta]]$ adalah konstanta proporsional (s , disebut koefisien sedimentasi) dinyatakan dalam detik. Untuk kenyamanan s biasanya dikalikan dengan 10¹³ dan dinyatakan sebagai unit Svedberg (S), dengan demikian $s = S$. Kecepatan sudut $\omega = 2\pi \text{ rev.min}^{-1} / 60$, $G = r \omega^2 \rightarrow G = 4\pi^2(\text{rev. min} - 1)$.

3. Operasi Sentrifuse

3.1 Gaya Sentrifugal Relatif

Gaya yang diberikan pada suatu partikel dalam larutan ketika disentrifugasi bergantung pada kecepatan rotasi ω dan pada jari-jari rotor sentrifuse R , lihat persamaan (11). Karena model sentrifuse yang berbeda membuatnya sulit untuk membandingkan waktu dan kecepatan sentrifuse di perangkat yang berbeda. Masalah ini diselesaikan dengan menerapkan gaya sentrifugal relatif (RCF) daripada kecepatan rotasi. RCF didefinisikan sebagai rasio gaya yang bekerja pada partikel dengan sentrifugasi terhadap gaya yang bekerja pada partikel dengan gravitasi. Dengan demikian nilai RCF mengatakan berapa banyak kekuatan gravitasi yang dialami partikel ketika diproses dalam sentrifuse. Persamaan untuk gaya pada partikel karena gravitasi diberikan dalam persamaan (1) dan gaya sentrifugal diberikan oleh persamaan (6). Membagi ini memberikan persamaan untuk RCF, lihat persamaan (10).

$$RCF = \omega^2 R / g \text{ -----(10)}$$

di mana ω = kecepatan rotasi (unit rad s⁻¹), R =radius dari rotor sentrifuse (unit meter), g =percepatan gravitasi (unit meter s⁻²).

Namun persamaan (10) biasanya ulang ke bentuk yang ditunjukkan (11).

$$RCF = 1,118r (RPM / 1000) \text{ -----(11)}$$

di mana RPM = adalah kecepatan rotasi (unit putaran per menit) r =radius sentrifuse rotor (unit milimeter). Mengingat sentrifuse EBA 20 memiliki jari-jari rotor 86 mm dan kecepatan rotasi maksimum 6.000 rpm, mengikuti persamaan (6) bahwa sentrifugal relatif gaya yang diberikan adalah 3461 g, yaitu hampir 3500 kali gaya gravitasi. Sekarang sentrifuse EBA 20 menampung delapan tabung sampel dan batas operasi adalah bahwa setiap tabung dapat menampung 15 ml cairan dengan kepadatan 1.200 kg m⁻³, yaitu 18 gram sampel. Karena massa tabung sentrifuse adalah 12,2 gram, ini berarti total massa masing-masing sampel dapat mencapai 30,2 gram. Jari-jari rotor adalah 86 mm. Jadi dari persamaan (6) dapat disimpulkan bahwa gaya sentrifugal satu tabung dan isinya adalah 1025 newton, atau sekitar 105 kg. Energi E yang disimpan dalam sampel tunggal pemintalan massa m pada kecepatan tertinggi dalam sentrifuse EBA 20 dihitung dengan

persamaan (12) sebagai 44,09 Joule. Oleh karena itu energi yang tersimpan dalam delapan sampel adalah 352,7 Joule. Jika mungkin untuk menangkap semua energi ini dan menerapkannya pada massa 1kg tunggal, itu akan cukup untuk melemparkannya sekitar 35 meter secara vertikal ke udara.

$$E = \frac{1}{2} m (\omega r)^2 \text{ -----(12)}$$

di mana E = Energi kinetik rotasi (unit Joule), r = Radius sentrifuse rotor (unit meter), ω = kecepatan rotasi sentrifuse (unit rad s⁻¹).

3.2 Sentrifugasi Sampel Padat

- Sentrifuse biasanya akan dinilai dengan informasi berikut
- Jumlah sampel maksimum yang dapat dipegang Ini akan ditentukan dengan jumlah lubang pada rotor, nilai tipikal adalah 8.
 - Volume maksimum yang diizinkan dari setiap sampel V Untuk sentrifuse EBA 20 dengan rotor E1624 nilai ini adalah 15 ml.
 - Densitas sampel fluida maksimum yang diizinkan, ρ_0 Untuk EBA 20 ini adalah 1200 kg m⁻³.

Kecepatan sudut maksimum yang dapat dioperasikan sentrifuse, ω_0 Untuk EBA 20 ini adalah 6000 rpm atau 200 π radian s⁻¹. Timbul pertanyaan, jika ada kebutuhan untuk sentrifuse cairan dengan densitas ρ_l sedemikian rupa sehingga $\rho_l > \rho_0$, berapakah kecepatan maksimum sentrifuse sehingga sentrifuse dapat beroperasi dengan aman. Ini diberikan dengan menghitung gaya sentrifugal yang diberikan oleh fluida berkepadatan lebih tinggi dan memastikan ini tidak melebihi batas kerja yang aman dari perangkat, yaitu

$$\rho_0 V \omega_0^2 r = \rho_l V \omega_l^2 r \text{ ----- (13)}$$

Yang pada pengaturan ulang memberikan persamaan (14)).

$$\omega_l = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_l}} \omega_0 \text{ ----- (14)}$$

di mana ω_l = Kecepatan rotasi maksimum rotor dengan fluida densitas tinggi ω_0 = Kecepatan rotasi maksimum untuk penggunaan sentrifuse tanpa batas ρ_0 Kepadatan sampel maksimum untuk penggunaan sentrifuse tanpa pembatasan ρ_l Kepadatan sampel di mana $\rho_l > \rho_0$ Jadi jika ada adalah kebutuhan untuk memusatkan sampel cairan dengan kepadatan 1600 kg m⁻³, kecepatan aman maksimum untuk operasi ω_l akan diberikan oleh

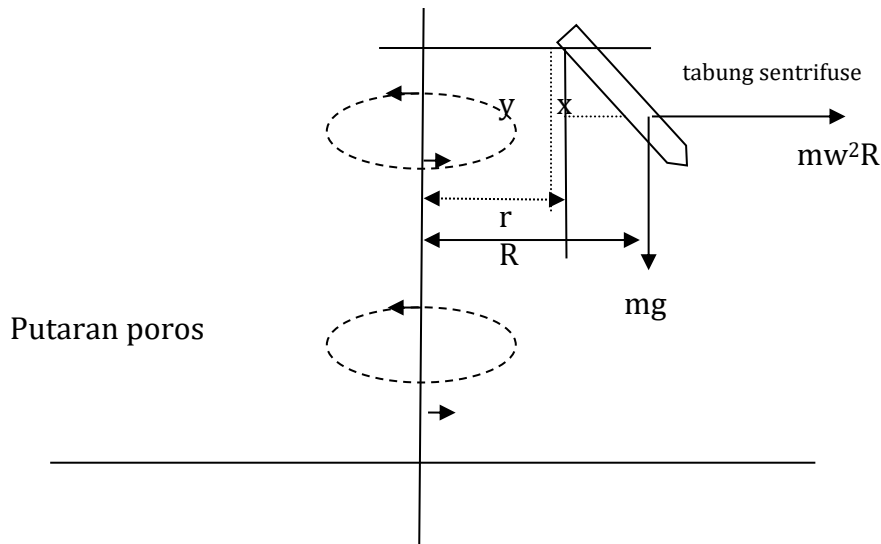
$$\omega_l = \sqrt{\frac{1200}{1600}} 6000 \text{ -----(15)}$$

yaitu, 5196 rpm.

Kemiringan Ember Ayun

Teori yang dikembangkan sejauh ini berkaitan dengan perangkat yang menahan tabung sentrifuse pada kemiringan tetap. Jadi jari-jari sentrifuse adalah tetap dan kita dapat menggunakan persamaan (10) untuk menghitung RCF. Namun dengan sentrifuse bucket berayun, jari-jari efektif bervariasi dengan kecepatan perangkat. Ini diilustrasikan pada Gambar 10.3 di mana, ketika kecepatan rotasi meningkat, 'ember' cenderung ke horizontal dan nilai jari-jari R meningkat. Kita perlu menurunkan persamaan yang memprediksi kecenderungan ember ke vertikal sebagai fungsi kecepatan sentrifugasi.

Mengacu pada Gambar 10.3, pertimbangkan tabung sentrifuse yang diisi dengan sampel fluida dan dipintal pada sudut hitung ayunan kecepatan rotasi sentrifuse dari $\omega \text{ rad.s}^{-1}$. Akibatnya, tabung membuat sudut θ ke vertikal. Hal ini disebabkan oleh aksi dua gaya yang bekerja pada pusat massa tabung yaitu gaya gravitasi mg yang bekerja secara vertikal ke bawah dan gaya 'sentrifugal' $m\omega^2 R$ yang bekerja secara horizontal.



Gambar 10.3. Perhitungan ayunan sentrifuse

Perhatikan jari-jari sentrifugasi R sekarang memiliki dua komponen yaitu r , jari-jari rotor dan x perpindahan karena kemiringan tabung. Namun dari diagram, dapat dilihat bahwa $x = l \sin \theta$ Dimana l adalah jarak pusat massa tabung sentrifuse dari titik suspensi, O . Pada kesetimbangan, momen belok dari kedua gaya ini sama dengan titik O , di mana tabung sentrifuse terhubung ke rotor. Itu adalah momen balik searah jarum jam dari gaya gravitasi mgx sama dengan putaran searah jarum jam Dimana nilai x dan y adalah perpindahan garis aksi gaya dari O . Menyamakan gaya-gaya ini dan mencatat lagi dari gambar 5 bahwa $y = l \cos \theta$ memberikan persamaan (16).

$$mg \sin \theta = m\omega^2 (r + l \sin \theta) l \cos \theta \text{ -----(16)}$$

Mengatur ulang (dan mengingat bahwa $\sin \theta \cos \theta = \tan \theta$) mengarah ke ekspresi berikut (17)

$$g \tan \theta = \omega^2 (r + l \sin \theta) \text{ ----- (17)}$$

Penulis tidak dapat segera memberikan solusi analitik untuk persamaan ini 22 dan karenanya solusi numerik diperoleh dengan menggunakan Newton. Metode berulang (*iteratif*) Raphson yang biasanya dinyatakan sebagai persamaan(22) di bawah ini.

$$x_{n+1} = x_n - f(x)/f'(x) \text{ -----(18)}$$

Namun dalam analisis ini, variabel independen adalah μ daripada x dan jadi persamaannya akan ditulis sebagai (19).

$$\theta_{n+1} = \theta_n - f(\theta)/f'(\theta) \text{ -----(19)}$$

Metode berulang penyelesaian persamaan hasil sebagai berikut :

- Persamaan yang akan dipecahkan (20) disusun kembali sama dengan nol, dan initermasuk dalam rumus (21) sebagai istilah $f(\theta)$. Ditetapkan kembali fungsi $f(\theta)$ yaitu $f(\theta) = g \tan \theta - \omega^2 (r + l \sin \theta) = 0$

- Persamaan dibedakan sehubungan dengan θ , untuk memberikan hasilnya istilah $f_0(\theta)$

$$f_0(\mu) = g \text{ detik } 2\mu - l \cos \mu$$

- Dugaan θ_0 dibuat dari solusi persamaan $f(\theta)$. Rumus dari (14) digunakan untuk menghasilkan tebakan yang lebih baik dari solusi θ_1 . Untuk sebuah konvergensi cepat, masuk akal untuk memilih perkiraan awal yang mendekati dengan kondisi yang sebenarnya.

Karena gaya sentrifugal biasanya lebih besar dari gaya gravitasi, nampaknya sudut θ akan mendekati 90° (bahwa tabung sentrifuse akan hampir horisontal). Karenanya akan diambil sudut θ sebagai $89,99^\circ$. Mengingat perlu nilai θ dalam persamaan iteratif (ulangan), kita perlu mengubah nilai ini menjadi radian dan $89,99^\circ \approx 1,5706$ radian.

Tebakan yang diperbaiki kemudian disubstitusi kembali dalam formula iteratif, untuk menghasilkan tebakan yang lebih baik, dan seterusnya hingga solusi diperoleh ke tingkat akurasi yang diperlukan. Untuk solusi persamaan (17), kita perlu mengganti ekspresi diturunkan di atas untuk memberikan persamaan (20)

$$\theta_{n+1} = \theta_n - (g \tan \theta - \omega^2 (r + l \sin \mu) / (g \sec^2 \theta - \omega^2 l \cos \theta) \text{ -----(20)}$$

Untuk mendapatkan solusi, ambil serangkaian nilai berikut nilai deskripsi simbol ω = kecepatan putar = 1000 rpm = $104,7 \text{ rad.s}^{-1}$

l = panjang tabung sentrifuse setengah $\rightarrow 5,5 \text{ cm} = 0,055 \text{ m}$

r = jari-jari rotor 8 cm $\rightarrow 0,08 \text{ m}$

g = percepatan karena gravitasi $9,81 \text{ m.s}^{-2}$

Oleh karena itu persamaan (20) direduksi menjadi persamaan (21) dan ini dapat diselesaikan secara iteratif menggunakan asumsi awal $\theta_0 = 1.5706$. hasil perhitungannya ditampilkan di bawah.

$$\theta_{n+1} = \theta_n - \frac{9.81 \tan \theta - 877.28 - 603.13 \sin \theta}{9.81 \cos^2 \theta - 603.13 \cos \theta} \text{ -----(21)}$$

3.3 Contoh Perhitungan Waktu Sentrifugasi Untuk Partikel Halus

Mengingat persamaan dikembangkan memprediksi waktu untuk pemisahan partikel halus, dimasukkan beberapa nilai tipikal dengan memperkirakan waktu pemisahan butiran partikel halus dari larutan madu.

Nilai tipikal adalah sebagai berikut :

l = kedalaman larutan 8 cm (0,08 m)

ν = viskositas air (pada 20°C) $1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$

r = radius butiran serbuk sari (kecil) $20 \times 10^{-6} \text{ m}$

ρ_P = kepadatan serbuk sari terhidrasi 1250 kg.m^{-3}

ρ_s = kepadatan air 1000 kg.m^{-3}

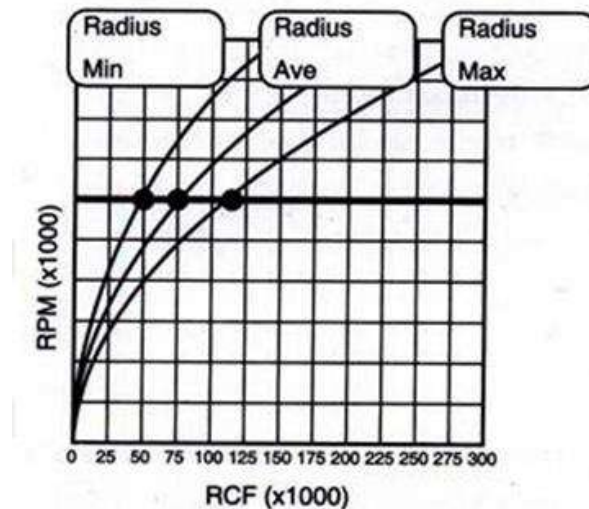
R = Radius putaran 86 mm

ω = Kecepatan sudut 209 rad s^{-1} (2000 rpm)

Nilai untuk revolusi sudut sentrifuse ω diturunkan dengan mengambil ν kecepatan tipikal untuk operasi sentrifuse (2000 rpm) dan mengubahnya menjadi radian per detik. Formula untuk mengubah revolusi per menit menjad radian per detik adalah persamaan 22.

$$\text{radian} = 2\pi \text{RPM} / 60 \text{ -----(22)}$$

karena satu revolusi adalah 2π radian dan dibagi menjadi 60 menit untuk konversi detik. Jadi 2000 rpm adalah $209 \text{ radian.s}^{-1}$. Nilai-nilai substitusi memberi waktu untuk mengekstraksi partikel halus dari larutan madu hanya lebih dari satu detik. Namun, dalam praktiknya dibutuhkan sekitar 15 detik sentrifuse untuk mempercepat ke kecepatan yang dibutuhkan dan jumlah yang sama saatnya melambat. Dengan demikian prediksi sekitar 30 detik operasi harus cukup untuk memisahkan serbuk sari dari larutan. Pemisahan paertikel halus dengan sentrifuse didasarkan pada RCF dan RPM), Gambar 10.4.



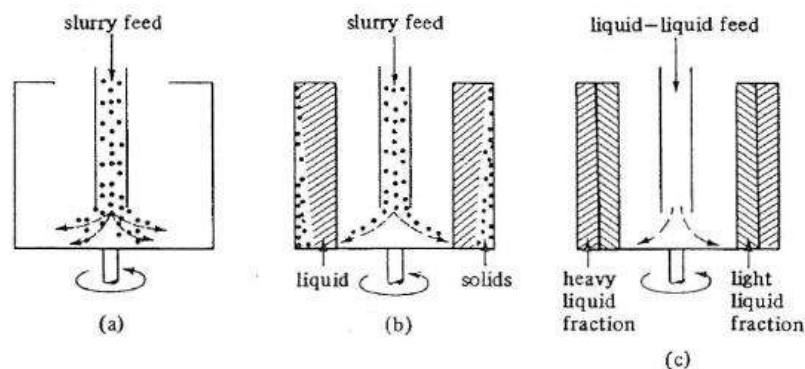
Gambar 10.4. Hubungan *Relatif Centrifugal Force* (RCF) dan RPM

4. Mesin Sentrifuse Industri

4.1 Sludge Separator

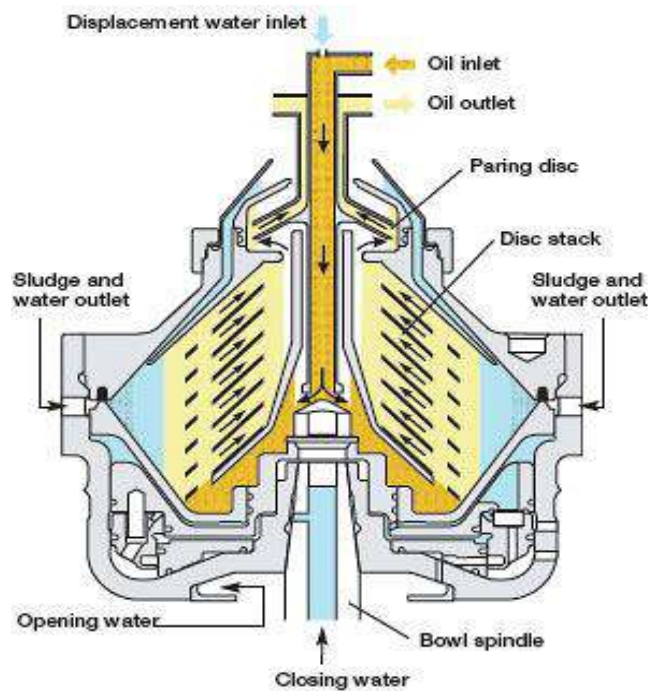
Mesin ini banyak dipakai dalam proses pengolahan minyak sawit, yaitu pada stasiun klarifikasi untuk memisahkan fase ringan (minyak dan air) dan fase berat (*sludge*), dan ada memisahkan menjadi tiga fase disebut dengan three fase separator (Gambar 10.5 dan 10.6). Untuk sentrifuse horizontal umumnya terdiri dari dua fase, sedangkan sentrifuse vertikal memisahkan umpan menjadi 3 fraksi ini umumnya pada decanter. Sludge separator terdapat 2 tipe yaitu :

- Low speed, yaitu putaran 1500 rpm
- High speed, yaitu ddengan putaran 6000 rpm.



Gambar 10.5. Tahapan sentrifuse a). proses awal pengisian, b) proses pemisahan berat dan ringan, c) Pemisahan fraksi berat dan ringan.

Untuk mempertahankan cairan lama dalam mesin, maka nozzle tempat sludge keluar ditetapkan diameter lobang yaitu 1,46 mm. Akibat lumpur yang dipisahkan mengandung pasir, maka lubang nozzle bertambah waktu akan bertambah besar dapat mencapai sampai 2,1 mm. Perlu diketahui bahwa kandungan minyak dan cairan sludge dalam mesin sangat mempengaruhi terhadap efisiensi pemisahan lumpur dengan cairan minyak. Untuk mempermudah pemisahan minyak dan lumpur dalam proses sentrifuse amaka dilakukan penambahan air panas dengan ratio 40 - 60 % pada saat umpan masuk. NOS). Smakin besar lobang nozzle menyebabkan tahanan berlkurang sehingga fase ringan ikut terlempar keluar atau kedinding (casing), kemudian keluar melalui nozzle. Maka untuk meningkatkan efisiensi pengutipan minyak dengan memperkecil ukuran nozzle dan perbandingan antara umpan dengan air pengencer. Nozzle terbuat dari intan yang tahan akan goresan pasir, semakin tinggi putaran maka tekanan akan lebih tinggi menyebabkan nozzel akan lebih mudah haus, dan memerlukan penggantian segera, oleh sebab itu stock alat tetap tersedia untk pengganti agar alat dapat beroperasi. Rasio air panas yang diberikan tergantung pada kandungan padatan bukan minyak (nonoil solid/NOS). Sluge separator sangat peka terhadap kandungan NOS yang semakin tinggi akan menyebabkan disc cepat tumpat sehingga disck sulit berputar maka proses pemisahan tidak berlangsung dengan baik. Maka untuk mengatasi hal ini, dilakukan pembilasan (washing) dengan melakukan flashing dengan air panas, kemudian dioperasikan. Flashing dilakukan setiap 2 jam, akan tetapi setiap pertukaran shift (12 jam) dilakukan break down pada instrumen pemisah untuk membersihkan disc, bowl, pharink dan nozzle.

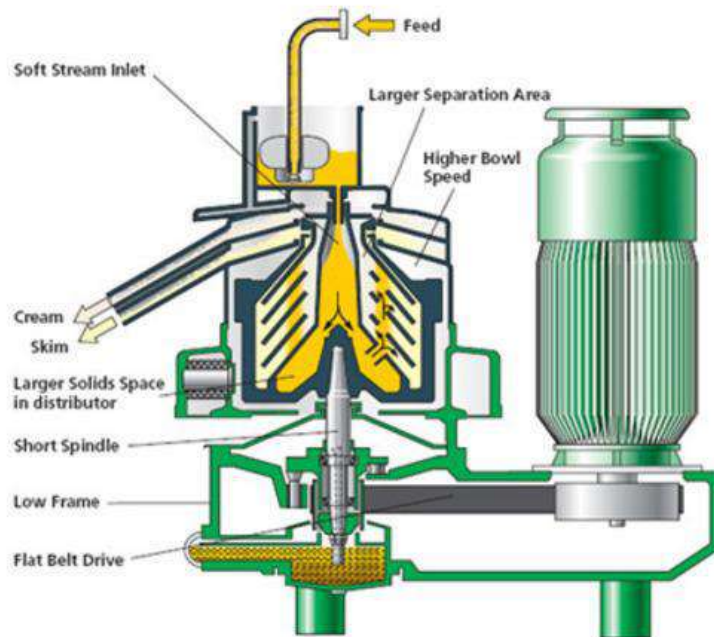


Gambar 10.6. Sludge sentrifuse type vertical

4.2 Oil Separator

Mesin berfungsi untuk memisahkan minyak dengan air dengan prinsip yang sama dengan sludge separator (Gambar 10.7). Alat ini umumnya digunakan untuk memisahkan air dari minyak, sehingga yang keluar adalah minyak yang bersih dari air dan partikel halus (berat jenis sama dengan air atau lebih bedsar ari minyak). Dalam proses ini tidak dilakukan penambahan air, berbeda halnya dengan sludge sepatrator, hanya dalam proses ini dilakukan pemanasan minyak dengan tujuan agar viskositas minyak meningkat. Air yang terdapat dalam minyak dalam bentuk

emulsi, akibat putaran tinggi maka terjadi pemecahan emulsi, yaitu gaya lempar lebih tinggi daripada daya affinity, maka air meninggalkan kumpulan minyak dan keluar melalui nozzle.

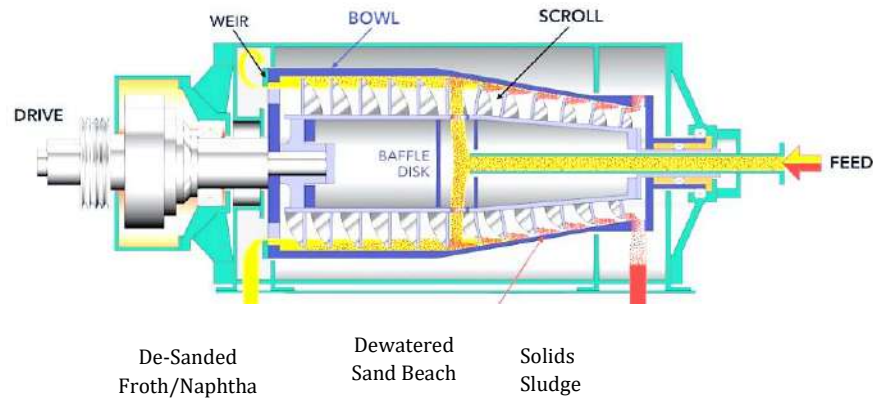


Gambar 10.7. Oil Separator

4.3 Mesin Decanter

Mesin berfungsi memisahkan bahan berdasarkan daya tarik gravitasi dengan percepatan putaran sehingga bahan cenderung terlempar jauh dan mengendap pada bagian pinggir dari decanter. Decanter dapat memberdakan zat padat butiran halus dan cairan serta senyawa lain yang memiliki berat jenis yang berbeda-beda seperti minyak, lumpur dan air. Mesin ini berdasar kan produnya dapat dibagi dengan 2 jenis yaitu 1) 2 fase terdiri dari fase ringan dan fase berat 2) tiga fase yang terdiri dari fase ringan (fase minyak) , fase air dan fase berat (lumpur). Alat ini banyak diterapkan dalam kilang minyak bumi dan pabrik kelapa sawit yang menghasilkan limbah 40 % dari tandan sawit yang diolah. Mesin decanter efektif bekerja jika posisi dar worm balance, jika tidak maka proses pemisahan tidak dapat berlangsung dengan efektif. Alat ini posisi horizontal sehingga dapat dibuat dednngan kapasitas besar. Decantger three-phase dilengkapi dengan alat bantu yaitu trailer untuk membuang fraksi berat (solid decanter) ke tempat yang sudah ditetapkan seperti landfill. Decanter di pabrik kelapa sawit sering memiliki fungsi tergantung pada penempatannya jika ditempatkan dihilu klarifikasi maka dia berfungsi sebagai sand cyclon dan strainer, yaitu mengutamakan pemisahan solid seperti pasir, lumpur dana serat, jika ditempatkan mengolah sludge maka berfungsi sebagai sludseparator, jika ditempatkan setelah oil tank maka berfungsi sebagai oil purifier (Gambar 10.7), dan alat ini dapat dikombinasikan dengan sludge separator (Gambar 10.6)

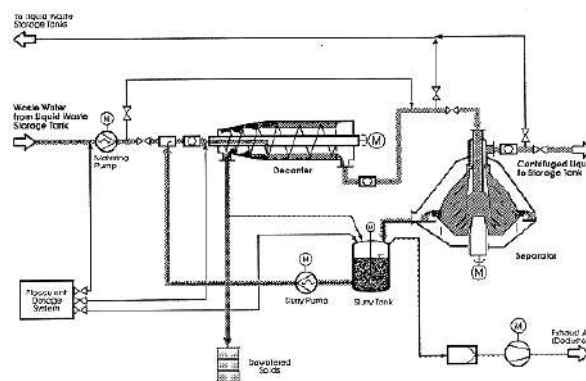
Proses pemisahan fraksi ringan, air dan berat terpisah menuju dinding, fase ringan akan bergerak menuju sumbu dan masuk kedalam pila outlet minyak, sedangkan fraksi befrat akan bergerak menuju dinding tanung dan dikeluarkan dengan ulir scroll, sedangkan air berada antara fase ringan dan berat (Gambar 10.8 dan 10.9)



Gambar 10.8. Sentrifuse Dekanter

4.4 Methyl Ester Separator

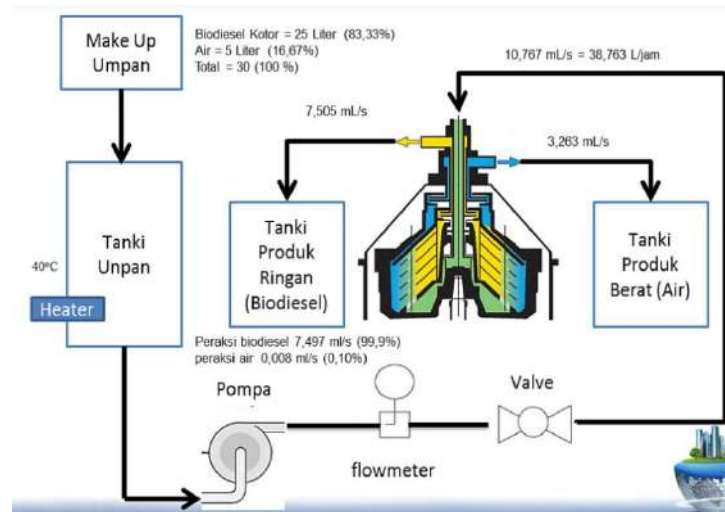
Kandungan air pada bahan bakar sangat mempengaruhi calor bakar yang dihasilkan, air yang terdapat dalam biodiesel sebagian besar dapat dipisahkan dengan pengendapan, tetapi air dalam bentk emulsi sangat sulit dipisahkan, kecuali dengan sentrifugasi. Pemisahan ester dengan air seperti yang dilakukan dalam proses pembuatan bio diesel dari minyak nabati seperti minyak sawit dilakukan pemisahan dengan sentrifuse (Gambar 10.10).



Gambar 10.9. Flow Chart Operasi Decanter dan Sludge Separator

Contoh Soal

Larutan kental yang mengandung partikel dengan kerapatan $\rho = 1461 \text{ kg/m}^3$ dapat diklarifikasi dengan sentrifugasi. Densitas larutan $\rho = 801 \text{ kg/m}^3$, dan viskositasnya adalah 100 cp. Centrifuge memiliki mangkuk dengan $r_2 = 0,02225 \text{ m}$, $r_1 = 0,00716$, dan tinggi $b = 1.790 \text{ m}$. Hitung diameter partikel kritis dari partikel terbesar di aliran keluar jika $N = 23000$ putaran/menit dan laju aliran $q = 0,002832 \text{ m}^3/\text{jam}$. Volume adalah $V = \pi b(r_2^2 - r_1^2)$



Gambar 10.10. Pemisahan biodiesel dengan sentrifuse

Solusi

Gunakan rumus $\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi 23000}{60} = 2410 \text{ rad/s}$.

Volume mangkuk V adalah

$V = b(r_2^2 - r_1^2) = (0,1970) [(0,02225)^2 - (0,00716)^2] = 2,747 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, Kosentrasi $\mu = 100 \times 10^{-3} = 0,100 \text{ Pa.s} = 0,100 \text{ kg/m.s}$.

Laju aliran q_c adalah, $q_c = 7.87 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$

Gunakan persamaan

$$q = \frac{\omega^2(\rho_p - \rho)D_p^2}{18\mu \ln \frac{r_2}{r_1}} (V) = \frac{\omega^2(\rho_p - \rho)D_p^2}{18\mu \ln \frac{r_2}{r_1}} [\pi b(r_2^2 - r_1^2)]$$

$$D_{pc} \text{ dengan } q_c = \frac{0.002832}{3600} = 7.87 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_c = \frac{(2410^2)(1461-801)D_{pc}^2(2747 \times 10^{-4})}{18(0.100) \ln [2 \times 0.002225 / (0.00176 + 0.002225)]}$$

$$D_{pc} = 0.746 \times 10^{-4} \text{ m atau } 0.746 \mu\text{m}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Andreoli Cleverson Vitorio, Marcos von Sperling and Fernando Fernandes (2007) Centrifuges: In Sliusge Treatment and Disposal Biological Wastewater Treatment Series. iwa Publishing London p:99-118
- Berk Zeki (2009). Food Processing and Technology Institute Technology Israel Elsevier, Singapore: pp: 622
- Budiman Agus (2009) Centrifugation Method for the separation of Biodiesel in the washing process. Jurnal Reseach Industri Vol III No.3 pp: 173-178
- Cardozo R. Lopes, J. Vaccarezza and S. Vanuzzi (1966) SludgeCconcentration with a Centrifugal Separator. Joint Nuclear Research Centre, Italy. pp: 1-20
- Chang Y.Y., C.J. Lee, W.C. Huang, W.J. Huang, M.L. Lin, W.Y. Hung, and Y. H. Lin (2013). Use of centrifuge experiments and discrete element analysis to model the reverse fault slip. International Journal ofGeotechnical Engineering. Taiwan. Vol 11 No.2 pp 79-89.
- Holland Applied Technology (2015) Separation in the Dairy Industri. Seital Separation Tecnology Holland pp: 1-5
- Naibaho, P.M.(1988). Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.Medan pp:306
- Nwogu Chukwunonso (2015). Design and development of and industrial centrifuge for small and medium scalde industri. Nigeria. Vol 6 N0.10. pp:1-8
- Sule Salil S, Aliaksei L. Petsiuk and Joshua M. Pearce (2019) Open Source Completely 3-D Printable Centrifuge. Instrumen 34,30. Pp: 1-20

BAB XI

FILTRASI

1. Pendahuluan

Filtrasi adalah operasi dimana partikel padat dipisahkan dari cairan atau gas, dengan memaksa campuran melalui media berpori yang menahan partikel. Ahli membedakan dua mode filtrasi: filtrasi permukaan dan filtrasi kedalaman. Dalam filtrasi permukaan, fluida dipaksa melalui media berpori (media filter) yang menahan partikel di permukaannya. Partikel yang lebih besar dari bukaan permukaan berpori dipertahankan. Operasi filtrasi laboratorium yang sudah dikenal melalui kertas saring adalah contoh filtrasi permukaan. Media filter meliputi kertas, kain, keramik berpori, kaca sinter (kaca kuarsa berpori) atau logam, membran dll.

Dalam filtrasi kasus akibat kedalaman, campuran mengalir melalui lapisan tebal bahan berpori dari struktur berserat (wol kaca, wol batuan) atau partikel (pasir). Partikel padat dari campuran tertahan sebagai hasil tumbukan dengan serat atau partikel media filter atau dengan adsorpsi. Bagian yang tersedia untuk mengalir jauh lebih besar daripada partikel yang tertahan. Retensi bersifat probabilistik dan tidak absolut. Jenis filtrasi ini terjadi pada filter udara, filter lapisan pasir, atau filter oli yang sudah dikenal di mobil.

Tujuan filtrasi untuk menghilangkan partikel padat yang tidak diinginkan dari produk cair (misalnya penjernihan anggur) atau, sebaliknya, pemulihan produk padat dari campuran padat/cair (pemisahan kristal gula dari larutan induk).

Berikut adalah beberapa contoh penerapan filtrasi dalam pengolahan makanan:

- Klarifikasi jus buah: dalam produksi jus apel bening, jus mentah diolah dengan enzim pektolitik (enzim golongan pectinase) yang menyebabkan flokulasi partikel koloid dalam suspensi. Ini kemudian dipisahkan dengan filtrasi dalam satu atau beberapa tahap.
- Klarifikasi anggur: anggur juga dapat mengandung partikel koloid dalam suspensi. Dalam satu proses, sejumlah kecil larutan protein ditambahkan ke anggur yang keruh. Protein bergabung dengan tanin anggur untuk menghasilkan kompleks yang tidak larut. Kompleks mengendap, membawa partikel koloid ke bawah. Endapan biasanya dipisahkan dengan filtrasi.
- Pemutihan minyak nabati: banyak minyak nabati yang tidak dimurnikan mengandung kandungan yang tidak diinginkan pigmen. Dalam proses pemutihan, minyak dicampur dengan padatan adsorben (bleaching earth) yang menyerap pigmen dengan adsorpsi. Minyak yang diputihkan kemudian dipisahkan dari padatan dengan filtrasi.
- Filtrasi adalah operasi yang sangat penting dalam pembuatan gula. Proses pemurnian gula, dari sari buah mentah hingga pemulihan kristal gula, terdiri dari banyak tahapan penyaringan, dengan menggunakan berbagai jenis peralatan.
- Penyiapan air garam dan sirup untuk digunakan sebagai media cair untuk makanan kaleng merupakan cara pengolahan umum dalam industri makanan. Praktik pembuatan yang baik mengharuskan cairan ini disaring sebelum digabungkan dengan produk utama, dengan maksud untuk menghindari masuknya benda asing (pasir, rambut, dll.). Jumlah padatan yang akan dipisahkan dari cairan tersebut biasanya sangat kecil, filtrasi dapat dimungkinkandengan alat 'strainer'.
- Filtrasi adalah langkah penting dalam pengolahan air minum dan air yang digunakan dalam penyiapan minuman ringan.

- Filtrasi udara sangat penting dalam proses yang membutuhkan lingkungan yang sangat bersih atau aseptik. Penerapan teknologi 'ultra-bersih' dalam industri makanan semakin meluas.

Pemurnian dengan filtrasi atau penyaringan adalah pemisahan partikel zat padat dari fluida dengan melewatkan fluida tersebut melalui satu alat penyaring (septum) di mana zat padat akan tertahan. Fluida yang dimasukkan dapat berbentuk cairan dan berbentuk gas. Fluida melalui medium saringan disebabkan perbedaan tekanan oleh gravitasi atau karena bantuan tekanan maka sebagian akan lewat melalui pori atau lobang. Oleh sebab itu filter beroperasi dapat dibagi; (1) beroperasi pada tekanan diatas tekanan udara atmosfir disebelah hulu medium filter (2) dihilir tekanan atmosfer tetapi dihilir kondisi vacuum. Tekanan dihilir dapat disebabkan akibat perbedaan tinggi dari pengumpan dan medium filter, pemakaian pompa, blower atau gaya sentrifugal. Kebanyakan filter industri adalah filter tekanan atau filter vakum, yang kontinu dan ada yang tidak kontinu, tergantung pada cara mengeluarkan zat padatnya. Filter kontinu, aliran zat cair melalui media filter adalah kontinu pada sebagian besar siklusnya, tetapi cairan fluida dibuat secara periodik, guna memungkinkan zat padat yang terkumpul dikeluarkan. Dalam filter kontinu pengeluaran zat padat dan zat cair berjalan kontinu tidak terputus-putus selama beroperasi. Filter dapat dikelompokkan menjadi dua golongan yaitu filter klarifikasi (*clarifying filter*) dan filter ampas (*cake filter*).

2. Pembersihan Bahan Utama dari Partikel Halus

2.1 Penyaringan Air

Air industri yang digunakan dapat berasal dari air permukaan atau air tanah, yang pada umumnya mengandung bahan anorganik dan organik, sehingga tidak dapat digunakan langsung sebagai air proses atau umpan boiler. Untuk meningkatkan kualitas air dilakukan pemurnian yaitu operasi pemisahan zat padat dari cairan atau gas yang jumlahnya kecil sehingga diperoleh cairan atau gas yang berkualitas lebih baik. Kualitas air sangat penting dalam industri sehingga diperlukan beberapa persyaratan antara lain:

- a. Bebas dari kandungan senyawa yang mempengaruhi kualitas produk.
- b. Kualitas air yang digunakan tidak mengganggu jalannya operasi produksi
- c. Kualitas air tidak bersifat korosif pada mesin dan atau instalasi pabrik, seperti kandungan bahan oksidatif.
- d. Tidak mengandung bahan yang mudah membentuk senyawa baru yang dapat mengganggu proses seperti kandungan mineral karena dapat membentuk kerak dalam boiler.

Untuk mengurangi pengaruh negatif kandungan air seperti kotoran (impurities) diupayakan penyaringan sesuai dengan kebutuhan yaitu penyaringan lebih efektif antara lain dengan menggunakan saringan zeolit atau arang aktif (Gambar 11.1).

2.2 Filter Hampan Tebal

Filter ini juga dikenal dengan filter hampan tebal" (*deep bed filter*), karena zat padat terperangkap dalam medium filter, biasanya tidak ada lapisan zat padat pada permukaan medium filter. Klarifikasi dengan system filter hampan tebal memisahkan zat padat jauh lebih besar partikel zat padat yang dipisahkan dibandingkan dengan penapisan pori medium filter walaupun tidak menyebabkan pori tumpat (Gambar 11.2).



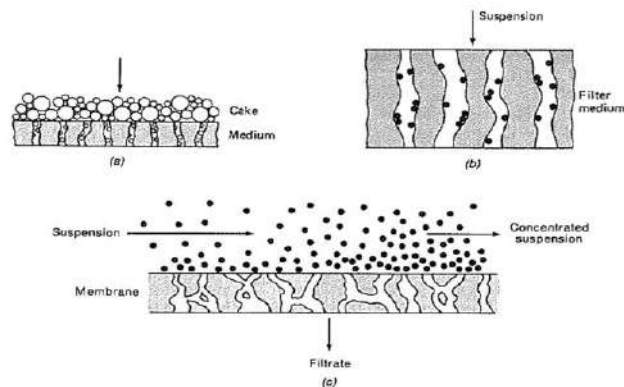
Gambar 11.1. Saringan (a) Saringan mangan zeolit (b) saringan arang aktif

2.3 Klarifikasi Zat Cair

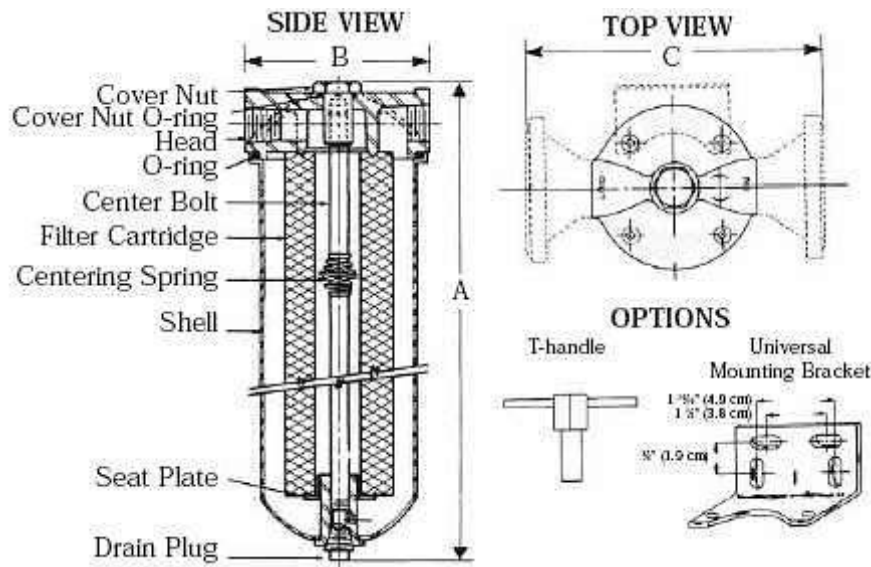
Penggunaan filter dalam proses klarifikasi zat cair meliputi filter hamparan gravitasi untuk pembersihan air sebagaimana disinggung terdahulu dengan berbagai jenis filter *cartridge* yang berisi elemen filter terdiri dari berbagai macam rancang dan konstruksi. Umumnya filter *cartridge* yang digunakan untuk memisahkan zat padat dalam kuantitas kecil dari proses fluida, seperti filter yang terlihat pada Gambar 11.3.

3. Pembersihan Gas

Filter untuk membersihkan gas seperti filter bantalan untuk debu atmosfer, dan hamparan butiran dan filterkarung untuk debu proses. Udara dibersihkan dengan melewati lintas pulp selulosa, kapas, gelas wool, atau kasa logam, bantalan bahan kering atau disalut dengan minyak viskos yang berfungsi sebagai penangkap debu. Filter hamparan butiran mempunyai hamparan diam atau bergerak dengan ukuran berkisar antara 30-8 mesh pada beberapa rancangan hingga dari $\frac{1}{2}$ -1 $\frac{1}{2}$ in. Gas yang penuh dengan debu biasanya masuk karung itu dari bawah dan mengalir ke atas dan meninggalkan debu dalam karung.



Gambar 11.2. Mekanisme filtrasi (a) Klarifikasi, (b) filter ampas, (c) crossflow filter.

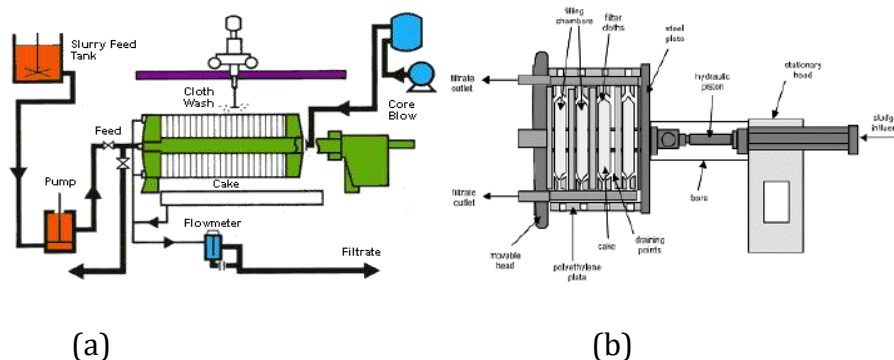


Gambar 11.3. *Cartridge Filter* bekerja dengan bantuan tekanan, hal ini banyak digunakan dalam industri dan saringan oli atau bahan bakar.

4. Filter Press

4.1 Filter Cloth Press

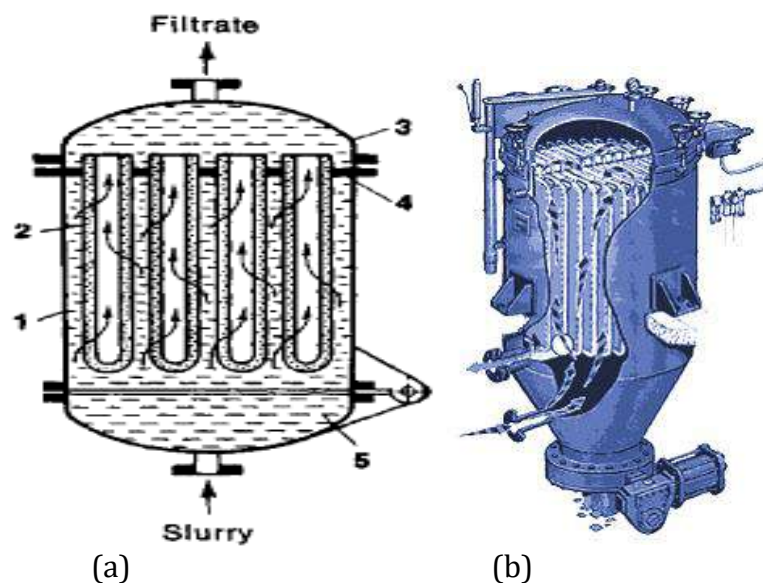
Alat ini terdiri dari sekat-sekat kain, dengan lobang ukuran halus, yang banyak digunakan untuk memisahkan dispersi larutan dengan bantuan tekanan. Karena menggunakan kain saring (Gambar 11.4), filter dibuat sedemikian rupa dengan tekanan kerja hingga 20 bar, tergantung pada kandungan dispersi. Alat ini juga banyak digunakan untuk memisahkan minyak berdasarkan titik cair (*melting point*) setelah melalui pendinginan, sehingga minyak yang terdiri dari asam lemak jenuh akan membeku sedangkan asam lemak tidak jenuh tetap cair (misalnya pemisahan olein dan stearin). Minyak yang beku berada pada celah filter press dan ini dikeluarkan dengan menggunakan uap panas. Untuk mempertahankan daya saring *filter cloth* dilakukan kontrol yaitu *backwash* dengan air panas atau steam.



Gambar 11.4. *Filter Press* (a) Posisi *filter Press* dalam Proses (b) Mekanisme Penyaringan

4.2 Niagara Filter

Penyaringan dengan mesin Niagara Filter yang dilengkapi dengan saringan dari wiremesh yang terdiri dari logam *stainless steel* (Gambar 11.5). Mekanisme filtrasi dilakukan untuk memisahkan dispersi halus dengan sistem tekanan, sehingga aliran cairan melalui filter dapat berlangsung dengan cepat. Untuk mengeluarkan padatan dari filter dengan cara getaran tiba-tiba (*shock*) sehingga padatan yang menempel pada dinding luar filter akan lepas. Lintasan aliran dapat dilihat pada Gambar 11.5(a), yaitu cairan diisi ke dalam bejana (1) melalui pipa inlet (bottom up), kemudian cairan masuk ke dalam filter (2), dan filtrat yang berada dalam (2) dikeluarkan melalui top, dan residu bagian bawah akan lebih kental (5). Untuk pembersihan bejana maka dibuat *top dish* (3) dapat dibuka untuk mengeluarkan filter no (2). Berbeda halnya pada 4(b) cairan dipompakan langsung ke dalam bejana dan residu ke luar dari bagian bawah dengan sistem getaran. Ini banyak digunakan dalam pemisahan absorbent pada proses bleaching earth (pemucatan minyak nabati).



Gambar 11.5. Niagara Filter (a) mekanisme aliran, (b) dibagian bawah dilengkapi dengan alat getar yang digerakkan elektromotor

5. Membran

5.1 Tipe Filtrasi Membran

5.1.1 Membran Filter Press

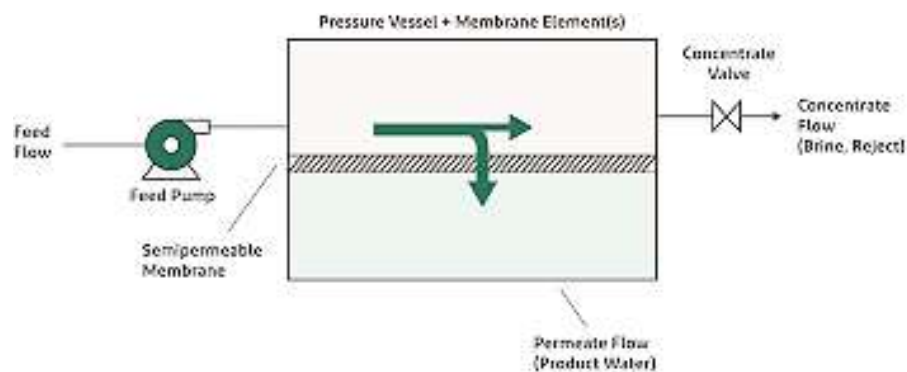
Proses filtrasi membran yang digerakkan oleh tekanan yang meliputi mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), dan reverse osmosis (RO). Ketika umpan dimasukkan ke dalam sistem pemisahan dengan membrane, memisahkan larutan menjadi retentate (hasil yang tertahan filter, kadang-kadang disebut konsentrat), fraksi yang ditahan oleh membran, dan menyerap (juga disebut filtrat), fraksi yang melewati membrane disebut dengan permeate (bahan yang melewati filter) atau di kedua aliran.

Kata 'tekanan-driven' berarti bahwa kekuatan pendorong utama untuk pemisahan proses ini adalah tekanan transmembran (TMP=Trans Membrane Pressure), yang merupakan perbedaan tekanan antara sisi retentat dan sisi meresap. Secara umum, ukuran pori (atau cut-off berat molekul = *molecular weight cut off*= MWCO dalam kasus NF dan RO) dari membran menurun dalam urutan dari MF ke RO. Namun, prinsip pemisahan tidak didasarkan pada ukuran pori saja. Khususnya di UF dan NF muatan molekul/zat terlarut dan afinitasnya untuk membran filter juga penting. MF biasanya digunakan untuk pemisahan partikel tersuspensi dan mikroorganisme dari

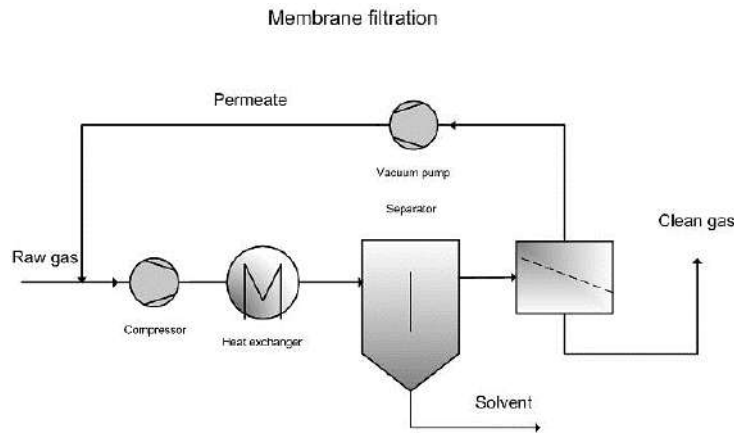
komponen larutan umpan. UF dapat diterapkan untuk memisahkan makromolekul larutan seperti protein dan peptida. NF diterapkan untuk demineralisasi parsial dan, pada saat yang sama terjadi pemekatan. Pada dasarnya, NF memungkinkan garam monovalen melewati sementara ia mempertahankan garam multivalen. Nilai TMP operasional meningkat dari MF ke RO. Misalnya, dalam aplikasi MF TMP yang diterapkan jarang lebih tinggi dari 3 bar. Sedangkan untuk UF biasanya berkisar antara 3-7 bar dan untuk NF 10-30 bar. Membran RO, secara teoritis, hanya memungkinkan air meresap. Ini berarti bahwa proses RO bekerja melawan perbedaan potensial kimia, yaitu tekanan osmotik. Karena alasan ini, TMP operasional yang diterapkan dalam RO biasanya jauh lebih tinggi (mis. 10-75 bar) dari pada dalam proses pemisahan lain yang digerakkan oleh tekanan. Membran RO, umumnya, menolak 95% NaCl.

Definisi dan istilah agar lebih mudah mengikuti bagian-bagian berikut dari naskah ini, beberapa definisi dan istilah umum diberikan di sini.

Dalam *penyaringan buntu*, biasanya vektor tekanan dan aliran umpan normal ke membran sementara dalam crossflow (CF) atau juga disebut *penyaringan tangensial*. Umpan dipompa paralel dengan membran dan dimungkinkan untuk resirkulasi retentate kembali ke aliran umpan (Gambar 11.6). Dibandingkan dengan filtrasi buntu, filtrasi CF adalah, karena gerakan tangensial dari umpan, ditandai dengan tingkat polarisasi konsentrasi dan pengotoran membran yang lebih rendah. Dua fenomena ini adalah dua kendala utama yang menyebabkan penurunan kinerja pemisahan membran. Polarisasi konsentrasi menyatakan peningkatan konsentrasi zat terlarut makromolekul (ditahan oleh membran) pada permukaan membran dibandingkan dengan fase massal. *Membrane fouling* (lapisan endapan) menunjukkan pengendapan zat terlarut / partikel pada permukaan (eksternal fouling) dan / atau ke dalam pori-pori membran (internal fouling). Komponen yang menyebabkan pembusukan selaput disebut *foulant*. Diafiltrasi (diafiltration DF = pengenceran dengan air bersih) dilakukan dengan mengencerkan retentate dengan pelarut murni, biasanya air atau penyangga, dan konsentrasi kembali retentate yang diencerkan. Tujuan utama DF adalah untuk meningkatkan kemurnian membran yang ditolak komponen (retentate components) dan DF dapat dilakukan baik dalam batch atau secara berkelanjutan. Parameter pemisahan membran: Pemisahan debu pada gas dilakukan seperti pada pada Gambar 11.7. Definisi lain bersama dengan rumus perhitungan diberikan pada Tabel 11.1.



Gambar 11.6. Skema unit pemisahan membran crossflow



Gambar 11.7.Perkiraan ukuran partikel dan proses pemisahan gas.

5.1.2 Mikrofiltrasi - Membran

Mikrofiltrasi secara longgar didefinisikan proses pemisahan menggunakan (milimeter), sebuah molekul weight cut-off (batas berat molekul = MWCO) lebih besar dari 1000.000 dalton (1 dalton = $1,661 \times 10^{-18}$ mikrogram) dan air umpan yang relatif rendah tekanan operasi sekitar 100 hingga 400 kPa (15 hingga 60 psi). Material yang dilepaskan oleh MF antara lain pasir, lumpur, tanah liat, kista *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium*, ganggang, dan beberapa bakteri jenis. MF bukan penghalang mutlak terhadap virus. Namun, bila digunakan bersamaan dengan desinfeksi, MF tampaknya dapat mengendalikan mikroorganisme tersebut dalam air.

Dalam operasi normalnya, MF menghilangkan sedikit atau tidak ada bahan organik. Namun, ketika pretreatment diterapkan, peningkatan penghapusan bahan organik dapat terjadi. MF dapat digunakan sebagai pretreatment ke RO atau NF untuk mengurangi potensi fouling. Kedua RO dan NF miliki secara tradisional digunakan untuk menghilangkan garam atau menghilangkan kekerasan dari air tanah.

5.1.3. Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi memiliki ukuran pori sekitar 0,002 hingga 0,1 mikron, satu MWCO dari sekitar 10.000 hingga 100.000 dalton, dan tekanan operasi sekitar 200 hingga 700 kPa (30 hingga 100 psi). UF akan menghapus semua spesies mikrobiologis yang dihapus oleh MF (penghapusan sebagian bakteri), serta beberapa virus (tetapi bukan penghalang mutlak terhadap virus) dan bahan humic. Disinfeksi dapat memberikan penghalang kedua terhadap kontaminasi dan oleh karena itu direkomendasikan. Keuntungan utama dari proses membran UF tekanan rendah dibandingkan dengan proses klarifikasi dan desinfeksi konvensional (pasca-klorinasi) adalah: Tidak perlu bahan kimia (koagulan, flokulan, desinfektan, penyesuaian pH).

Nanofiltrasi-Membran

Membran nanofiltrasi memiliki ukuran pori nominal sekitar 0,001 mikron dan MWCO 1.000 hingga 100.000 dalton (1 dalton = $1,661 \times 10^{-18} \mu g$). Mendorong air melalui pori-pori membran yang lebih kecil ini membutuhkan tekanan operasi yang lebih tinggi daripada MF atau UF. Tekanan operasi biasanya mendekati 600 kPa (90psi) dan dapat mencapai 1.000 kPa (150psi). Sistem ini dapat menghilangkan hampir semua kista, bakteri, virus, dan bahan humus. Karena membran NF juga menghilangkan alkalinitas, air produk dapat bersifat korosif, dan langkah-langkah, seperti campuran air baku dan air produk atau menambahkan alkalinitas, mungkin diperlukan untuk mengurangi korosivitas. NF juga menghilangkan kekerasan dari air, yang menyebabkan membran NF kadang-kadang disebut "membran pelembut." Namun, lebih banyak energi yang dibutuhkan untuk NF daripada MF atau UF.

5.1.4 Reverse Osmosis

Reverse osmosis (RO) secara efektif dapat menghilangkan hampir semua kontaminan anorganik dari air. RO juga secara efektif dapat menghilangkan radium, zat organik alami, pestisida, kista, bakteri dan virus. RO sangat efektif bila digunakan secara seri dengan banyak unit. Disinfeksi juga dianjurkan untuk memastikan keamanan air.

Modul membran reverse osmosis (Gambar 11.3) untuk mengolah air dibagi menjadi tiga, yaitu 1) membran air tawar, 2) membran air payau dan 3) membran air asin/laut. Masing masing jenis membran tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda, baik operasionalnya yang ditentukan dengan tekanan operasi maupun kemampuan dalam menahan partikel garam. Membran air tawar mampu mengolah air dengan kandungan TDS sampai 500 ppm dengan tekanan operasi sampai 5 kg/cm², membran air payau mampu mengolah air dengan membran air asin/laut mampu mengolah air dengan kandungan total dissolved solid (TDS) sampai 40.000 ppm dengan tekanan operasi sampai 50 kg/cm. Kapasitas olah membran ditentukan oleh luas permukaan modul membran, yaitu dengan variabel dimensi membran (diameter dan panjang) maupun jumlah modul membran yang digunakan dengan penyusunan seri, paralel maupun kombinasi seri dan paralel.

Beberapa keuntungan dari RO adalah:

- Menghapus hampir semua ion kontaminan dan non-ion terlarut,
- Relatif tidak sensitif terhadap aliran dan total padatan terlarut (tingkat TDS dan cocok untuk sistem kecil dengan tingkat fluktuasi musiman yang tinggi dalam permintaan air.
- RO beroperasi segera, tanpa periode pembobolan minimum,
- Konsentrasi efluen yang rendah mungkin terjadi,
- Bakteri dan partikel juga dihilangkan, dan
- Kesederhanaan dan otomatisasi operasional memungkinkan minimalisasi pemakaian tenaga operator dan RO yang cocok untuk aplikasi sistem kecil.
- Beberapa batasan RO adalah:
- Modal tinggi dan biaya operasional,
- Mengelola air limbah (larutan air garam) merupakan masalah potensial,
- Diperlukan tingkat pretreatment yang tinggi dalam beberapa kasus,
- Membran rentan terhadap fouling dan
- Menghasilkan air limbah terbanyak di antara 25-50 persen umpan.

Prinsip dasar pengolahan air asin dengan membran reverse osmosis ditunjukkan seperti Gambar 11.8. Pada prinsipnya apabila dua buah larutan dengan konsentrasi encer dan pekat dipisahkan oleh membran semi permeabel, maka larutan dengan konsentrasi yang encer akan terdifusi melalui membran semi permeabel tersebut dan masuk ke dalam larutan yang pekat sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi. Fenomena tersebut disebut proses osmosis.

Prinsip dasar proses osmosa dan proses osmosa balik tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 11.8 (Prinsip desalinasi dengan membran) dan Gambar 11.9 (Prinsip dasar osmosis & reverse osmosis). Dalam pengolahan air asin, air tawar sebagai larutan dengan konsentrasi encer dan air asin disebut dengan larutan dengan konsentrasi pekat dipisahkan dengan membran semi permeabel, maka air tawar akan terdifusi ke dalam air asin melalui membran semi permeabel tersebut, sehingga terjadi kesetimbangan. Apabila diberikan tekanan yang lebih besar dari tekanan osmosisnya, maka aliran air tawar akan berbalik yakni dari air asin ke air tawar melalui membran semi permeabel, sedangkan garamnya tertahan di dalam larutan garamnya sehingga menjadi lebih pekat. Proses tersebut dikenal dengan proses Reverse Osmosis (osmosa balik).

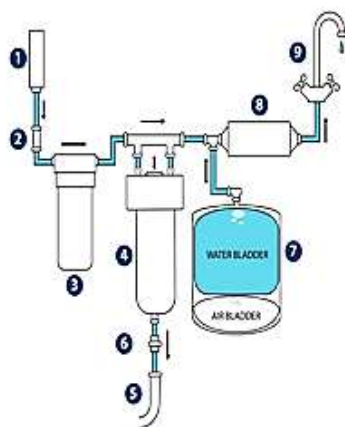
Daya yang menyebabkan terjadinya difusi air tawar ke dalam air asin melalui membran semi permeabel dinamakan tekanan osmosis. Tekanan osmosis dipengaruhi karakteristik jenis

membran, temperatur air, dan konsentrasi garam (salinitas) serta senyawa lain yang terlarut dengan TDS 12000 ppm.

Air asin mengandung TDS ppm pada suhu 25°C, mempunyai 6,9 kg/cm² ± tekanan osmotik normal, air laut mengandung TDS 35.000 ppm pada suhu 26,7 ± 25°C mempunyai tekanan osmotik normal kg/cm², dan untuk air laut di daerah timur tengah atau laut Merah kandungan garam lebih pekat TDS 42,000 ppm, pada suhu 30°C, dengan tekanan osmosis 32,7 kg /m²

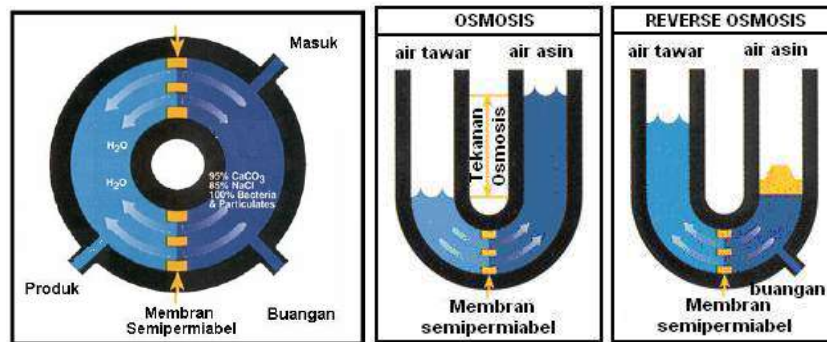
Desalinasi Membran Reverse Osmosis

Efisiensi desalinasi air asin dengan sistem Reverse Osmosis (osmosa balik) 99,5 %. Seperti ditunjukkan pada Gambar 11.9, dalam proses Reverse Osmosis ini, air baku (air asin) dipompa dengan tekanan tinggi melampaui tekanan osmosisnya ke dalam suatu modul membran osmosa balik yang mempunyai dua buah pipa keluaran, yakni pipa keluaran untuk air tawar yang dihasilkan (product) dan pipa keluaran untuk air garam yang telah dipekatkan (reject/drain). Gambar 11.9: Proses pengolahan air asin dengan teknologi membran. Di dalam proses penyingkapan dengan ukuran molekul melalui membran reverse osmosis partikel yang molekulnya lebih besar dari pada molekul air, seperti molekul garam dan lainnya, akan terpisah dan akan ikut ke dalam air buangan, sehingga untuk menjaga membran dari kebuntuan, air yang akan masuk ke dalam membran reverse osmosis harus mempunyai persyaratan tertentu, misalnya kekeruhan harus nol, kadar besi dan mangan harus < 0,1 mg/l, pH netral dan harus selalu dikontrol agar tidak terjadi pengendapan kalsium karbonat dan lainnya. Instalasi Pengolahan Air dilengkapi dengan unit pengolahan awal (Pretreatment) dan setelah air baku memenuhi persyaratan dilanjutkan pada unit pengolahan lanjutan (Treatment), yaitu unit reverse osmosis. Air baku yakni air asin, terutama yang dekat dengan pantai pada umumnya masih mengandung partikel padatan tersuspensi, mineral, plankton dan lainnya, maka air baku tersebut perlu dilakukan pengolahan awal sebelum diproses di dalam unit osmosa balik. Pengolahan pendahuluan terdiri dari pompa air baku tekanan operasi 4 Bar, pompa dosing tekanan operasi 7 Bar yang dilengkapi dengan tangki kimia, tangki reaktor, saringan pasir cepat, saringan mangan zeolit, dan saringan karbon aktif untuk penghilangan warna dan filter cartridge ukuran 0,5 µm. Unit pengolahan lanjutan terdiri dari pompa tekanan tinggi, membran osmosis balik, pompa dosing bahan anti kerak (anti scalant) dan anti jamur (anti biofouling) yang dilengkapi dengan tangki kimia dan sterilisator ultra violet (UV).

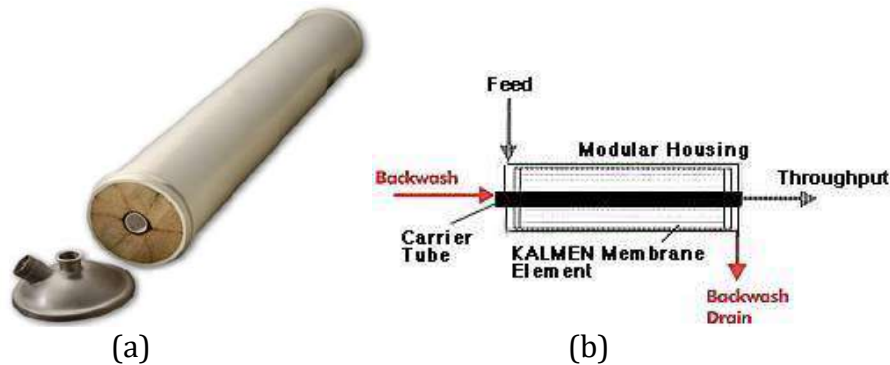


1. Inlet valve
2. Backflow valve
3. Pre-filter
4. Reverse Osmosis membran
5. Drain
6. Flowstricter and pump
7. Storage tank
8. Final filter
9. Faucet (valve)

Gambar 11.8. Alur proses Reverse Osmosis



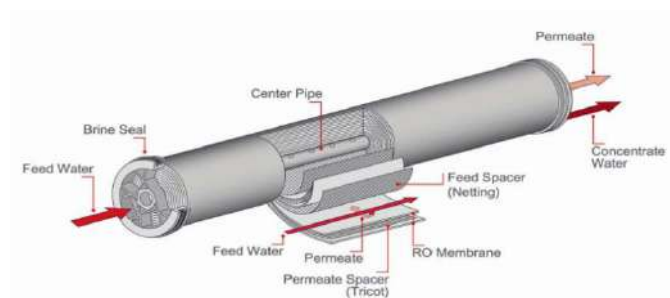
Gambar 11.9. Reverse Osmosis



Gambar 11.10. (a) pipa osmosis (b) mekanisme operasi dan backwash

5.2 Bahan Membran

Biasanya, bahan membran dibuat dari polimer sintetik, meskipun bentuk lain, termasuk "membran" keramik dan logam. Hampir semua membran yang dibuat untuk air minum terbuat dari bahan polimer, karena lebih murah daripada membran yang dibuat dari bahan lain. Membran dengan kekuatan dua arah dapat memungkinkan operasi pembersihan atau pengujian integritas dilakukan dari sisi umpan atau filtrat membran.



Gambar 11.11. Tube Reverse Osmosis

Membran dengan muatan permukaan tertentu dapat menghilangkan kontaminan partikulat atau mikroba dari muatan elektrostatis berlawanan tarikan. Membran juga bisa bersifat hidrofilik (menarik air) atau hidrofobik (menolak air). Istilah-istilah ini menggambarkan betapa mudahnya membran dapat dibasahi, serta kemampuannya untuk menahan sampai batas tertentu.

Membran MF dan UF dapat dibuat dari berbagai bahan, termasuk selulosa asetat, polivinilidene fluorida, poliakrilonitril, polipropilena, polisulfon, polietersulfon, atau polimer lainnya. Masing-masing bahan memiliki sifat yang berbeda sehubungan dengan muatan permukaan, tingkat hidrofobik, pH dan toleransi oksidan, kekuatan dan fleksibilitas.

Membran NF dan RO umumnya dibuat dari selulosa asetat atau bahan ployamide, dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya. Membran selulosa rentan terhadap biodegradasi dan harus dioperasikan dalam kisaran pH 4 - 8 yang sempit tetapi mereka memiliki beberapa resistensi terhadap oksidan tingkat rendah terus menerus.

5.2.1 Modul Membran

Filter membran biasanya diproduksi sebagai stock lembaran datar atau sebagai serat berlubang dan kemudian dibentuk menjadi beberapa jenis modul membran yang berbeda. Konstruksi modul biasanya melibatkan memasang atau melekatkan bahan membran ke dalam rakitan, seperti dengan modul serat berlubang. Jenis modul serat berlubang dirancang untuk penggunaan jangka panjang selama beberapa tahun. Modul spiral berlubang juga diproduksi untuk penggunaan jangka panjang, meskipun modul ini terbungkus dalam bejana tekan terpisah yang tidak tergantung pada modul itu sendiri.

5.2.2 Modul Hollow-Fiber

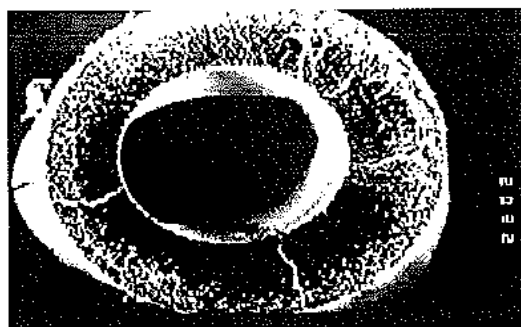
Sebagian besar modul hallow-fiber yang digunakan dalam aplikasi pengolahan air minum yang terbuat dari membran MF atau UF sebagai penyaring partikel. Modul-modul ini terdiri dari membran serat berlubang, yang mengumpukan tabung panjang dan sangat sempit yang dapat dibangun dari bahan membran yang dijelaskan sebelumnya.

Serat dapat dibundel bersama secara longitudinal, pot dalam resin di kedua ujungnya, dan terbungkus dalam bejana bertekanan. Modul-modul ini biasanya dipasang secara vertikal, meskipun pemasangan horizontal dapat digunakan. Serat-serat ini dapat serupa dengan modul luka spiral dan dimasukkan ke dalam bejana bertekanan terlepas dari modul itu sendiri. Modul-modul ini (dan bejana tekan) dipasang secara horizontal. Serat berlubang yang dibundel juga bisa secara vertikal dan direndam dalam baskom yang tidak membutuhkan bejana tekan.

Modul serat berlubang biasanya terdiri dari beberapa ratus hingga lebih dari 10.000 serat. Meskipun dimensi berbeda-beda menurut produsen, kisaran perkiraan untuk konstruksi serat berlubang adalah:

- Diameter luar 0,5 - 2,0 mm
- Diameter dalam 0,3-1,0 mm
- Ketebalan dinding serat 0,1-0,6 mm
- Panjang serat 1-2 meter

Modul membran serat berlubang dapat beroperasi dalam mode "luar-dalam" atau "luar-dalam". Dalam mode luar-dalam, air umpan masuk ke tengah serat (lumen) dan disaring secara radial melalui dinding serat. Filtrat kemudian dikumpulkan dari luar serat. Selama operasi luar-dalam, air umpan mengalir dari luar serat ke dalam, di mana filtrat dikumpulkan di tengah serat. (Gambar 11.10 dan 11.11)



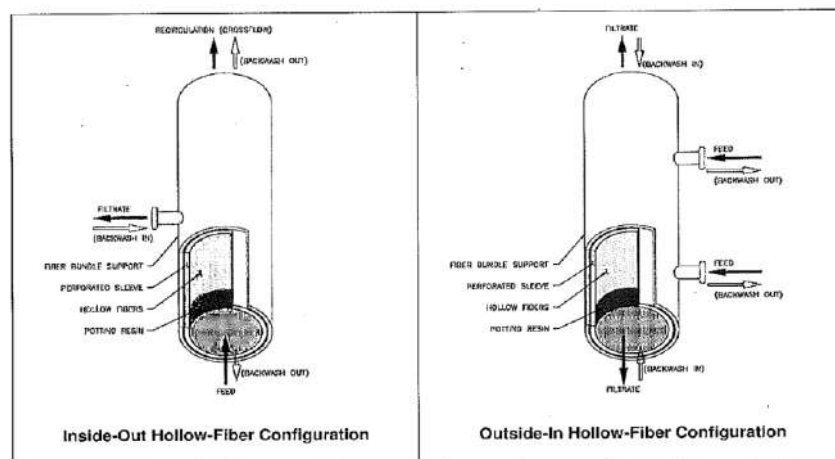
Gambar 11.12. *Photomicrograph* Bagian Lintas Serat Berongga

Ketika modul serat berlubang dioperasikan dalam mode luar-dalam, air umpan bertekanan dapat masuk ke tengah serat di kedua ujung modul, sementara filtrat keluar melalui port yang terletak di tengah atau di akhir modul. Dalam mode luar-dalam, air umpan biasanya masuk modul melalui port inlet yang terletak di tengah dan disaring ke tengah serat, di mana filtrat keluar melalui port di salah satu ujung modul. Sebagian besar sistem serat berlubang beroperasi dalam mode filtrasi langsung dan dicuci secara berkala untuk menghilangkan akumulasi padatan.

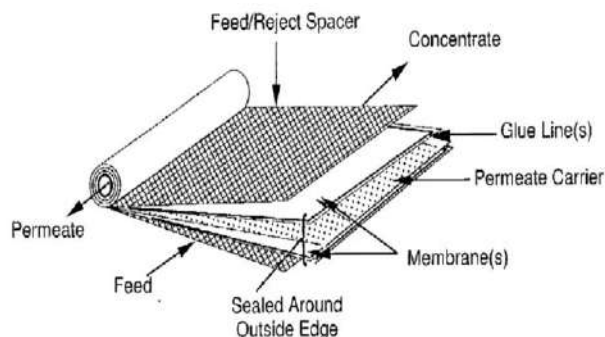
5.2.3 Modul Spiral-Luka

Modul spiral-luka dikembangkan untuk menghilangkan padatan terlarut, dan paling sering dikaitkan dengan proses NF/RO. Unit dasar adalah sandwich dari lembaran membran datar yang disebut "daun" luka di sekitar tabung berlubang pusat. Satu daun terdiri dari dua lembar membran yang ditempatkan saling membelakangi dan dipisahkan oleh spacer yang disebut pembawa permeat. Lapisan daun direkatkan di sepanjang tiga tepi, sedangkan tepi yang tidak berlemak disegel di sekitar tabung pusat berlubang (Gambar 11.12).

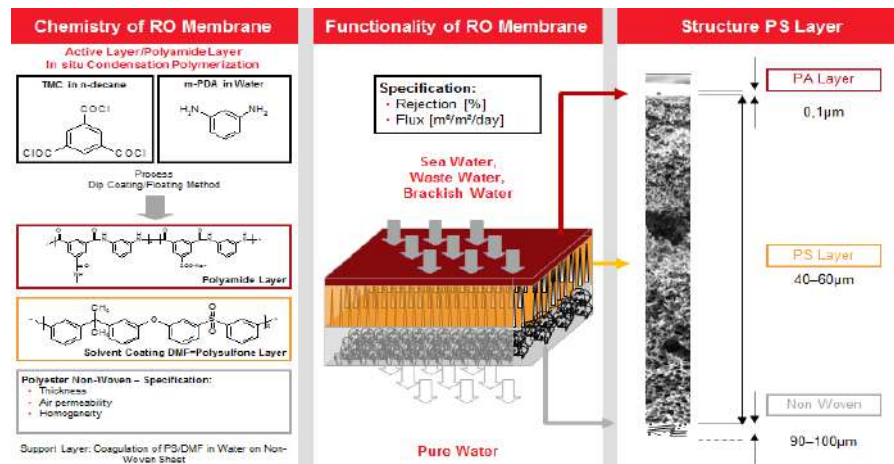
Air umpan masuk ke saluran pengatur jarak di ujung elemen luka-spiral di jalur yang sejajar dengan tabung pusat. Saat air umpan mengalir melalui spacer, sebagian meresap melalui salah satu dari dua lapisan membran di sekitarnya dan ke dalam pembawa permeat, meninggalkan kontaminan terlarut dan partikulat yang ditolak oleh membran.



Gambar 11.13. Mode Operasi Dalam-Luar dan Luar-Dalam (Menggunakan Pressure Vessels)



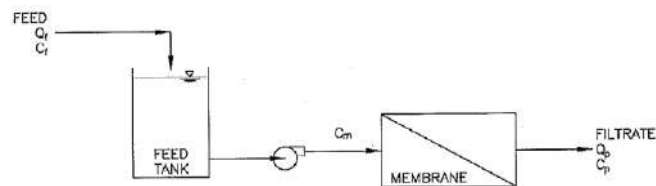
Gambar 11.14. Filtrasi Membran 7 Modul Membran Spiral-Luka



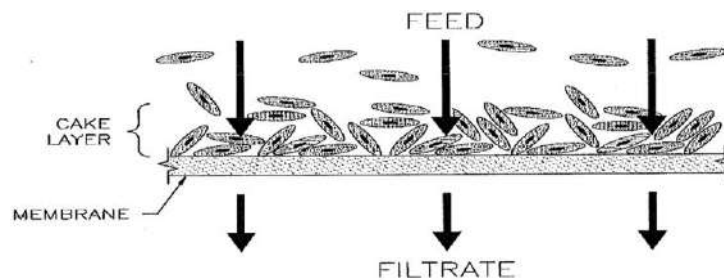
Gambar 11.15. Bahan kimia dan fungsi membran

5.2.4. Mode Deposisi

Sistem filtrasi membran yang beroperasi pada endapan memiliki satu aliran influen (umpan) dan satu aliran efluen (filtrat). Sistem ini juga biasa disebut sistem filtrasi “buntu” atau “langsung” dan mirip dengan filter media granular konvensional dalam hal konfigurasi hidrolik. Dalam mode pengendapan, kontaminan yang tersuspensi dalam aliran umpan terakumulasi pada permukaan membran dan ditahan di tempatnya oleh gaya hidraulik yang bekerja tegak lurus terhadap membran, membentuk lapisan cake, Gambar 11.16 dan 11.17.



Gambar 11.16. Skema Sistem yang Beroperasi dalam Mode Deposisi



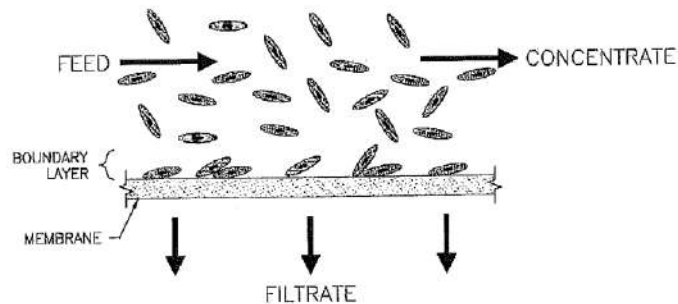
Gambar 11.17. Mode Pengendapan

Sebagian besar sistem MF dan UF serat berlubang beroperasi dalam mode pengendapan. Biasanya, akumulasi padatan dihilangkan dari sistem MF/UF dengan pencucian balik. Namun, beberapa sistem beroperasi sampai padatan terakumulasi mengurangi aliran dan/atau TMP ke tingkat yang tidak dapat diterima, di mana titik kartrid membran diganti.

Beberapa sistem MF / UF menggunakan "backpulse" periodik atau interval pendek dari aliran balik (yang mungkin termasuk udara dan/atau penambahan dosis oksidan kecil) yang dirancang untuk mengeluarkan partikel dari permukaan membran tanpa mengeluarkan zat padat dari sistem.

5.2.5. Mode Penangguhan

Dalam sistem filtrasi membran yang beroperasi dalam mode suspensi, gaya gerusan menggunakan air dan/atau udara diterapkan paralel ke membran selama produksi filtrat secara kontinu atau intermiten. Tujuan pengoperasian dalam mode ini adalah untuk meminimalkan akumulasi kontaminan pada permukaan membran atau lapisan batas, sehingga mengurangi fouling, (Gambar 11.18).



Gambar 11.18. Mode Penangguhan

5.3 Pembersihan Membran

5.3.1. Backwash

Proses *backwash* dirancang untuk menghilangkan kontaminan yang terakumulasi pada membran. Setiap unit membran dibilas secara terpisah dan dalam pola gancang untuk meminimalkan jumlah unit dalam *backwash* simultan pada waktu tertentu. Selama *backwash*, arah aliran terbalik selama 30 detik sampai 3 menit. *Backwashing* hampir secara eksklusif terkait dengan proses MF dan UF serat berlubang. Pencucian ulang dilakukan sesuai dengan spesifikasi pabrik dan pertimbangan spesifik lokasi. Meskipun *backwashing* lebih sering memungkinkan untuk fluks yang lebih tinggi, ini diimbangi oleh penurunan produktivitas sistem.

Beberapa sistem juga menggunakan udara bertekanan dan/atau klorin dalam kombinasi dengan air yang disaring untuk menghilangkan padatan, menyediakan inaktivasi patogen dan kontrol *biofouling*, dan meningkatkan efektivitas *backwash*. Desinfektan seperti klorin dapat ditambahkan di setiap *backwash* sekali per hari.

Beberapa membran MF/UF menggunakan bahan kimia selain klorin (seperti asam, basa, surfaktan, atau bahan kimia berpelarut lainnya). Strategi ini digunakan untuk meningkatkan fluks membran dan memperpanjang interval antara pembersihan bahan kimia dan menurunkan biaya operasi. Operator dapat membutuhkan langkah-langkah kontrol koneksi-silang yang ditingkatkan untuk pipa backwash dan ketentuan khusus untuk membilas membran setelah backwash diperlukan.

Karena membran luka spiral umumnya tidak memungkinkan aliran balik, sistem membran NF dan RO tidak dicuci balik. Untuk sistem ini, pengotoran membran dikontrol dengan pembersihan bahan kimia, kontrol fluks, dan kecepatan crossflow. Ketidakmampuan membran luka spiral untuk dicuci balik adalah salah satu alasan mengapa membran NF dan RO jarang diterapkan secara langsung mengolah air dengan kekeruhan tinggi dan / atau padatan tersuspensi.

5.3.2 Pembersihan kimia

Pembersihan bahan kimia juga mengontrol pengotoran selaput, khususnya penskalaan anorganik dan organik dan pengotoran yang tidak dihilangkan dengan backwash. Pembersihan secara kimiawi dilakukan untuk setiap unit membran secara terpisah dan biasanya diatur untuk meminimalkan jumlah unit yang menjalani pembersihan kapan saja.

Sementara pembersihan bahan kimia dilakukan pada sistem MF/UF dan NF/RO, karena pembersihan bahan kimia adalah cara utama untuk menghilangkan *foulant* (endapan melekat) dalam sistem NF/RO. Meskipun interval pembersihan dapat bervariasi berdasarkan sistem demi sistem, akumulasi *foulant* secara bertahap membuat pembersihan kimiawi diperlukan. Namun, *filter cartridge* membran merupakan pengecualian, karena *filter cartridge* biasanya dirancang untuk sekali pakai dan tidak diperkenankan pembersihan bahan kimia.

Tujuan pembersihan bahan kimia adalah mengembalikan TMP sistem ke tingkat bersih. Setiap *foulant* yang dihilangkan oleh proses backwash atau pembersihan kimia dikenal sebagai *fouling reversibel*. Seiring waktu, proses membran juga mengalami beberapa tingkat pengotoran ireversibel yang tidak dapat dihilangkan melalui pembersihan kimia atau pencucian balik. Kotoran ireversibel terjadi di semua sistem membran, dan akhirnya membutuhkan penggantian membran.

Ada berbagai bahan kimia berbeda yang dapat digunakan untuk membersihkan membran, dan masing-masing ditargetkan untuk menghilangkan bentuk pengotoran tertentu. Misalnya, asam sitrat digunakan untuk melarutkan pengotoran anorganik. Basa kuat seperti kaustik biasanya digunakan untuk melarutkan bahan organik. Deterjen dan surfaktan juga dapat digunakan untuk menghilangkan *foulant* organik dan partikulat, terutama yang sulit larut. Pembersihan bahan kimia juga dapat menggunakan larutan klorin yang kuat untuk mengontrol biofouling. Karena variasi *foulant* yang ada di sumber perairan, seringkali perlu menggunakan kombinasi bahan kimia yang berbeda secara seri untuk mengatasi berbagai jenis fouling.

Tabel 11.1. Bahan Kimia Cleaning

Category	Chemicals Commonly Used	Typical Target Contaminant(s)
Acid	• Citric Acid ($C_6H_8O_7$) • Hydrochloric Acid (HCl)	Inorganic scale
Base	• Caustic (NaOH)	Organics
Oxidants / Disinfectants	• Sodium Hypochlorite (NaOCl) • Chlorine (Cl_2) Gas • Hydrogen Peroxide (H_2O_2)	Organics; Biofilms
Surfactants	• Various	Organics; Inert particles

Clean-in-place (CIP) sering digunakan untuk pembersihan kimia karena biasanya dilakukan sementara modul membran tetap berada di dalam unit membran (in-situ). Proses pembersihan mensirkulasi ulang larutan pembersih melalui sistem membran pada kecepatan tinggi (untuk menghasilkan aksi gerusan) dan suhu tinggi (untuk meningkatkan kelarutan bahan penghalang (*foulants*)).

Siklus perendaman mengikuti fase resirkulasi. Setelah siklus rendam, sistem membran dibilas untuk menghilangkan sisa jejak larutan pembersih. Proses dapat diulangi dengan menggunakan larutan pembersih yang berbeda untuk menargetkan berbagai jenis *foulant* sampai membran telah berhasil dibersihkan. Air lunak atau air mineral mungkin diperlukan untuk larutan pembersih, atau sebagai air bilasan.

6. Pengujian Integritas Membran

Salah satu aspek paling kritis dalam menggunakan teknologi membran adalah memastikan bahwa membran itu utuh dan terus memberikan penghalang antara air umpan dan air permanen atau produk. Ada beberapa metode berbeda yang dapat digunakan untuk memantau integritas membran, termasuk pemantauan kekeruhan, penghitungan atau pemantauan partikel, pengujian

tekanan udara, pengujian titik gelembung, penginderaan gelombang sonik, dan pemantauan biologis.



Gambar 11.19. Instalasi *Reverse Osmosis* membran

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Eishah Rawan & Jawad A. Shogier (2017) Reverse Osmosis Membrane Chlorine Effects Reduction Using Kinetic Degradation Fluxion Media, IJAMES. Vol 3. Issue NO.2. Paalestine. p:50-54.
- Andreoli Cleverston Vitorio, Marcos von Sperling and Fernando Fernandes (2007) Filter Press; In Sliusge Treatment and Disposal Biological Wastewater Treatment Series. iwa Publishing London po 107 – 118.
- Brett Mareth (2006). A Reverse Osmosis Treatment Process for Produced Water: Optimization, Process Control, and Renewable Energy Application A Thesis. Texas A&M University, p. 1-85\
- Enviromental Protection Agency (1995) Water Treatment Manuals Plitrations. Ireland p. 1-80.
- Ibarz Albert and Gustavo V. Barbosa-Cánovas (2003) Filtration In Unit Operation in Food Engineering CRC Press, London, p : 235-250
- Johnson Jon, Markus Busch (2009) Engineering Aspects of Reverse Osmosis Module Design. Leentech p; 1-34
- Lie Jiang, Yue Tu, Xiangmin Li and Haixiang Li (2018) Aplications of Reverse Osmosis in Purifying Drinking Water. E3S Web of Conference 38 01037. ICEMEE 2018. p; 1-6
- McMordie S KL, X. Duan and EM Wendel (2013) Reverse Osmosis Optimization PNN 2822. Pacific Northwest National Laboratory US Departemen Energy. , p. 1-29.
- Naibaho P.M (1988), Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan pp: 306
- Nugroho Raharjo (2010). Identifikasi Masalah Aplikasi Teknologi Pengolahan air Payu dengan Sisitem RO di Kabupaten Rembang dan Cara Mengatasinya. JAI Vol.6 No.1 2010.
- NusaIdamanSaid (2003) Aplikasi TeknologiOsmosis Balik Untuk Memenuhi KebutuhanAir Minum di KawasanPesisir atau Pulau Terpencil. J.Tek.Ling. P3TL-BPPT.4(2):15-34
- Ramli Rosdianah, Nurmin Bolong (2016). Effects of Pressure and Temperature on Ultrafiltration Hollow Fiber Membrane in Mobile Water Treatment System Civil Engineering Programme, Journal of Engineering Science and Technology Vol 11 NO.7 Kinabalu, Sabah, Malaysia p: 1031-1040
- Research Design and Standards Organization (2015) Guidelines on Water Purification b Reverse Osmosis., Government of India. Lucknow p;1-21.
- Sagle A and Benny Freeman. Fundamentals of Membranes for Water Treatment. University Texas at Auxin p. 1-17
- Widayat Wahyu (2007) Aplikasi TeknoloI Pengolahan Air Asin Desa Tarupa Kecamatan Taka Bonerate Kanbupatgen Selayar. Jai Vol 3 No.1. p 81-95.
- Wiles Lyndsey and Elke Peirtsegaele Microdyn-Nadir (2018). Reverse Osmosis: A History and Explanation of the Technology and How It Became So Important for Desalination. Goleta CA. p:1-15.

BAB XII

EKSTRAKSI PRESS DAN EKSTRUSI

1. Pendahuluan

Teknologi ekstraksi dan ekstrusi banyak dikembangkan dalam usaha pertanian seperti Industri tebu, minyak nabati dan makanan. Seperti roller (penggiling) pada pabrik gula, pabrik karet, kempa press pada pabrik kopra dan kelapa sawit, dan expeller untuk mengekstrak minyak dari kernel sawit dan pada pengolahan minyak nabati lainnya, pada pengolahan limbah tandan kosong sawit (*bunch press*) untuk mengutip minyak kembali. Mesin peralatan yang termasuk golongan ini antara lain: Roller, Ekstruder, Screw Press, Expeller, Empty Bunch Press, Pelletizer.

2. Alat dan Mesin Ekstraksi

2.1 Roller

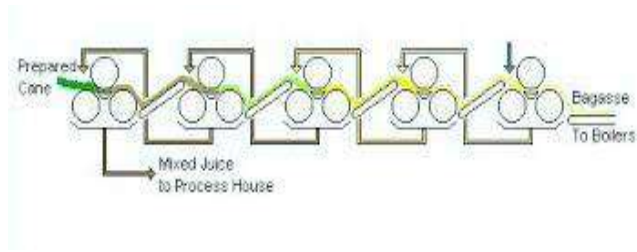
Teknologi ini banyak digunakan dalam pengolahan karet yaitu pembuatan sheet, yang bertujuan untuk mengeluarkan air yang terdapat dalam gumpalan getah karet. Getah karet yang digumpalkan dengan bahan kimia atau menggumpal alami mengandung air sebesar 40 - 65 %. Penggumpalan karet rakyat secara alami disebut dengan bahan olah karet (BOKAR). Bokar tersebut dirajang dengan tujuan untuk mengeluarkan kotoran yang terkontaminasi saat penyadapan dan handling atau bahan yang sengaja dicampurkan kedalam karet saat proses penggumpalan dengan tujuan untuk menambah berat seperti tanah liat.

Kemudian bokar tersebut dirajang dengan menggunakan hammer mill kemudian dibentuk lembaran melalui alat giling, Gambar 12.1 sebanyak 6 set dengan hubungan seri, dengan roll sebanyak 5 tingkat berfungsi untuk mengeluarkan cairan sampai batas yang ditetapkan dalam baku mutu, kemudian dilanjutkan dengan penggilingan pada roller ke 6 yang berfungsi untuk membentuk strip pada lembaran tipis (untuk mempermudah pengeringan) dengan ketebalan 5 mm dan kemudian dijemur atau dianginkan, kemudian dikeringkan dengan asap atau udara panas dan atau diolah menjadi karet remah (*crumb rubber*).



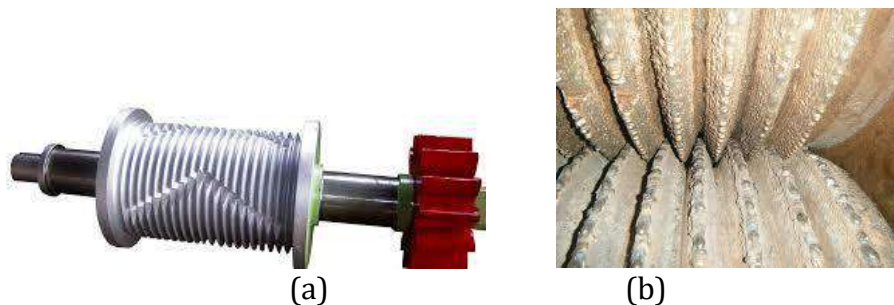
Gambar 12.1. Craper penggiling karet

Roller juga banyak digunakan pada proses penggilingan tebu yaitu menggiling tebu dengan bantuan air pengencer sehingga cairan gula keluar dari tebu. Penggilingan dilakukan secara bertahap tergantung pada disain dan kapasitas olah pabrik gula Gambar 12.2.

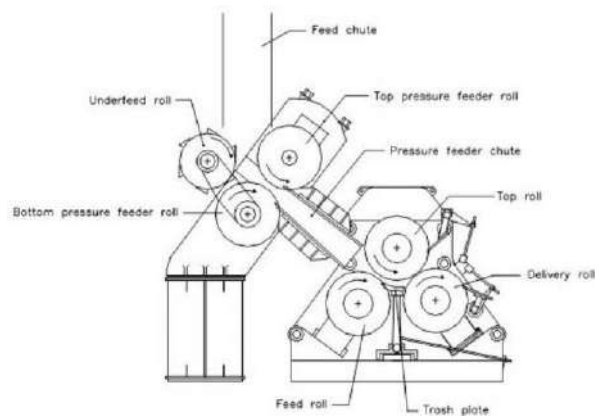


Gambar 12.2. Mesin Giling Tebu 4 set Roller

Penggilingan konvensional melalui 4 tahapan setiap pasang terdiri dari 3 roller. Tebu sebelum diproses dilakukan preparasi dengan memotong tebu agar lebih pendek dan mudah digiling. Tebu tersebut digiling dengan alat rol yang telah dibuat alur untuk mengalirkan niran dan juga roller dibuat bergerigi sehingga dalam proses penggilingan terjadi pencincangan dan proses giling untuk mengeluarkan nira. (Gambar 12.3 dan 12.4)



Gambar 12.3. Gilingan Tebu Type Australian Six Roller



Gambar 12.4. Tipe Roller a) Profil Roller dgn alur nira keluar dan b) Peras dan cincang

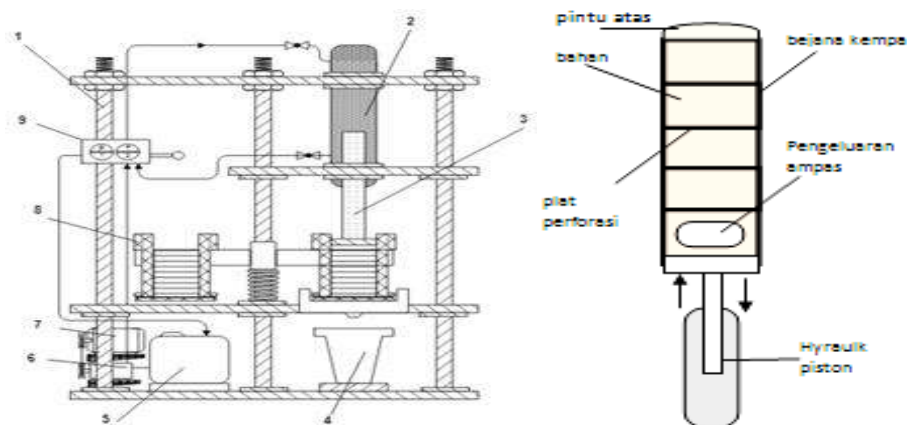
2.2 Kempa Hidraulik

Kempa hidraulik berbentuk silinder kempa terbuat dari bahan baja tahan karat (*stainless steel*) dengan ukuran diameter dan panjang masing-masing 60 mm, dan 430 mm. Silinder pengempa berfungsi untuk memberikan tekanan yang cukup pada bahan mengandung lemak yang akan diekstraksi. Untuk menghindari terjadinya kebocoran di antara dinding tabung dan silinder kempa, maka pada bagian depan silinder kempa dilapisi karet pejal dengan ketebalan 10 mm (Gambar 12.5a). Silinder kempa dapat digerakkan naik dan turun dengan adanya sistem hidraulik. Sistem hidraulik yang digunakan terdiri atas komponen sebagai berikut :

1. Selang hidraulik berdiameter 25,4 mm tempat mengalirnya oli dari tangki penampung oli ke tabung silinder kempa.
2. Tenaga penggerak berupa satu unit motor listrik berdaya 3 HP, 3 phase dan putaran poros 1420 rpm yang berfungsi memutar pompa sehingga oli dapat mengalir di dalam selang hidrolis.
3. Tangki penampung oli yang dibuat dari plat baja tebal 6 mm berdiameter 360 mm dan tinggi 255 mm yang berfungsi sebagai tempat penampung oli.
4. Tuas kendali serta indikator tekanan kempa skala maksimum 35000 psi atau 250 kg/cm²

Kempa hidraulik yang dikenal dengan buatan Stork, Gambar 12.5b, pada awal tahun 1950 umumnya digunakan pada pengempaan minyak sawit dengan kapasitas 500 kg/jam, kemudian tahun 1974 mulai diganti dengan screw press.

Tabung tegak berfungsi untuk menampung bahan yang akan dikempa, Kempa terbuat dari bahan kuat dari baja, seperti kempa lemak kakao, dan dibuat dari pipa baja tahan karat (stainless steel) tebal 10 mm, berdiameter 55 mm, dan tinggi 80 mm. Bagian dinding tabung dibuat delapan alur lubang berdiameter 1 mm, dan masing-masing alur terdiri dari 10 lubang. Selain mengalir ke bawah karena gaya gravitasi, lemak cair yang telah lepas dari pori-pori keping biji akan mengalir keluar melalui lubang-lubang yang terdapat di dinding tabung tegak. Lemak akan tertampung di wadah penampung lemak yang diletakkan tepat di bawah tabung tegak. Rangka utama dibuat dari plat baja tebal 10mm dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi masing-masing 1000 mm, 800 mm, dan 1800 mm. Ekstraksi kempa dengan prinsip menggunakan tekanan sejalan dengan hukum pascal, maka untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi tekanan di dalam silinder ditempatkan piring perforasi bertingkat sehingga tekanan merata dengan jarak 20-30 cm, tergantung pada diameter silinder kempa hidraulik. Semakin banyak jumlah piring perforasi maka efisiensi pengempaan lebih efektif karena tekanan akan lebih merata. Dalam hal yang sama juga dapat digunakan pada kopra, tetapi dilakukan pemberian panas pada proses pendahuluan atau langsung pada silinder sehingga viskositas minyak kelapa (*coconut oil*) menurun sehingga minyak mudah keluar dari lobang out let kempa. Untuk pengempaan bahan yang mengandung minyak dilakukan pemanasan dengan tujuan agar viskositas minyak menurun sehingga minyak akan lebih mudah keluar dari sel atau kantong minyak.



Gambar 12.5. Kempa hidraulik (1) Rangka Beam, 2) Tabung Silinder Kempa 3) Silinder Kempa 4) Penampung lemak 5) Tangki Penampung Oli 6) Pompa Hidrolik 7) Motor Listrik 8) Tabung Tebak 9) Indikator Tekanan dan Tuas Kendali.

3. Ekstrusi

Ekstrusi adalah proses yang sangat penting dengan aplikasi luas dalam industri makanan. Perkembangan ekstensif teknologi ekstrusi merupakan salah satu pencapaian paling signifikan dalam rekayasa proses makanan dalam lima puluh tahun terakhir. Perluasan teknologi ekstrusi makanan telah disertai dengan kegiatan penelitian yang cukup besar yang telah menghasilkan volume pengetahuan baru yang mengesankan mengenai proses fisika dan kimia. Secara harafiah, 'ekstrusi' (dari kata Latin *extrudere*) berarti tindakan mendorong keluar. Dalam teknik, ini menggambarkan operasi memaksa material keluar dari celah sempit, seperti halnya menekan pasta gigi keluar dari tabung. Sebenarnya, arti literal hanya menjelaskan sebagian kecil dari aplikasi industri ekstrusi, yaitu kasus di mana satu-satunya fungsi ekstrusi adalah untuk memberikan produk bentuk atau bentuk tertentu, tanpa mempengaruhi sifat material. Ini masih merupakan peran ekstrusi dalam pengepres pasta dan pelet bahan pakan. Pemasakan ekstrusi dapat didefinisikan sebagai proses termomekanis di mana perpindahan panas, perpindahan massa, perubahan tekanan dan geser digabungkan untuk menghasilkan efek seperti pemasakan, sterilisasi, pengeringan, peleburan, pendinginan, tekstur, pengangkutan, pengembunan, pencampuran, menguleni, conching (cokelat), pembekuan, pembentukan dll. Extruder-cooker adalah pompa, penukar panas dan reaktor suhu tinggi bertekanan tinggi yang berkelanjutan, semuanya digabungkan dalam satu peralatan.

Ringkasan sejarah perkembangan ekstrusi makanan ditampilkan di beberapa keunggulan spesifik pemasakan ekstrusi dibandingkan proses lain dengan tujuan yang sama tercantum di bawah ini:

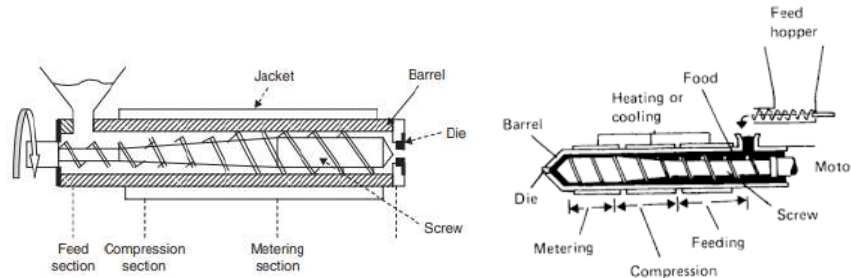
- Memasak ekstrusi adalah proses satu langkah. Sejumlah operasi dilakukan secara bersamaan dalam satu peralatan. Ini tidak mengecualikan kebutuhan untuk operasi tambahan di hulu dan hilir ekstrusi. Operasi ini meliputi: persiapan (pengkondisian, formulasi, modifikasi, pembersihan, dll.) sebelum ekstrusi dan berbagai operasi penyelesaian yang diterapkan pada ekstrudat setelah ekstrusi (pengeringan, penggorengan, penambahan bahan penyedap rasa, dll.)
- Ekstrusi adalah proses yang berkelanjutan
- Untuk keluarannya, ekstruder merupakan mesin yang relatif ringkas dan membutuhkan ruang lantai yang kecil
- Ekstrusi membutuhkan sedikit tenaga kerja
- Extruder serbaguna. Peralatan yang sama dengan sedikit modifikasi dapat digunakan untuk mencapai tujuan yang berbeda atau untuk memproses banyak produk yang berbeda seperti halnya screw press pada pengolahan sawit kopra dan hasil pertanian lainnya. Memasak ekstrusi untuk membantu proses pengempaan seperti digester, pemanasan dan pengadukan pada suhu tinggi-waktu yang singkat. Waktu retensi dalam ekstruder relatif singkat tergantung pada bahannya.
- Pengeluaran energi untuk ekstrusi pemasakan biasanya lebih rendah dari pada proses alternatif, karena sebagian besar energi (panas atau kerja mekanis) disalurkan ke produk secara langsung dan tidak melalui media perantara.

Perkembangan ekstrusi mengalami modifikasi dengan bentuk kempa ulir press dan ekspeller yang memiliki fungsi dan mekanisme kerja menyerupai dengan kempa ulir, perbedaannya terletak pada proses pendahuluan serta kondisi dan kapasitas. Kempa press digunakan untuk mengekstraksi cairan yang terdapat dalam padatan, seperti kopra, minyak sawit. Jika padatan yang diekstrak bersifat keras, maka disebut dengan expeller seperti ekstrak minyak dari kernel sawit. Ekstruder pemasak pertama adalah mesin sekrup tunggal. Mesin ini masih digunakan dalam beberapa proses, tetapi instalasi terbaru sekarang adalah ekstruder twin-screw. Menjadi lebih sederhana, ekstruder sekrup tunggal akan dijelaskan terlebih dahulu.

3.1 Ekstruder Sekrup Tunggal

3.1.1 Struktur

Struktur dasar ekstruder sekrup tunggal terdiri dari elemen-elemen berikut (Gambar 12.6): Casing silinder berongga, yang disebut cylinder press. Laras bisa halus atau beralur. Barel berbentuk kerucut telah dideskripsikan (Meuser dan Wiedmann, 1989) tetapi tidak umum dalam ekstruder makanan.



Gambar 12.6. Ekstruder *Single screw* a) tanpa pengumpan b) dengan pengumpan

- Sekrup atau ulir cacing Archimedean yang kokoh, dengan worm/pangkal yang tebal dan sayap yang dangkal, berputar di dalam silinder. Penerbangan dari sekrup yang berputar mendorong material di sepanjang saluran helicoidal (saluran aliran) yang terbentuk antara akar sekrup dan laras. Lebar saluran aliran, yang dihasilkan dari pitch sekrup, jauh lebih besar dari ketebalannya. Celah antara ujung ulir dan permukaan laras dibuat sesempit mungkin, berfungsi untuk memberikan tahanan lawan dengan plat celah atau cone.
- Sebuah elemen bagian terbatas, yang dikenal sebagai *die* (plat penahan lobang) di ujung keluar extruder. Fungsi die adalah untuk melayani sebagai katup pelepas tekanan dan untuk memberikan bentuk yang diinginkan ke ekstrudat, ditentukan oleh penampang bukaan. Bahan cairan dalam padatan dapat dikeluarkan dari dalam bahan dengan cara press. Karena dengan tekanan cairan tersebut akan keluar dari dalam bahan baik yang berada pada sel maupun antar sel, ini banyak digunakan pada proses ekstraksi minyak dari padatan seperti tandan koson sawit, kopra dan lainnya.
- Cepat mudahnya cairan keluar tergantung pada karakter bahan, viskositas cairan dan tekanan yang diberikan. Dalam proses pelaksanaannya agar cairan lebih mudah keluar dilakukan penambahan pelarut cairan kedalam bahan sehingga cairan mudah keluar. Teknik yang populer dikenal viskositas campuran semakin rendah dan bahan cairan akan lebih mudah keluar dan yang tersisa relatif sedikit. Mesin ini juga dilengkapi dengan uap pemanas.

Teknik ekstraksi press dengan cara:

- Perangkat untuk memotong ekstrudat yang muncul dari cetakan. Dalam bentuknya yang paling sederhana, ini terdiri dari pisau yang berputar
- Berbagai jenis perangkat untuk memanaskan atau mendinginkan laras (jaket uap atau air, pemanas hambatan listrik, pemanas induksi, dll.). Elemen-elemen ini, di luar laras, biasanya dibagi menjadi segmen-segmen individual, untuk menerapkan kondisi suhu yang berbeda pada bagian ekstruder yang berbeda.
- Sebuah hopper untuk feeding gravitasi atau auger untuk masuknya umpan kedalam alat
- Tempat untuk injeksi uap, air, dan cairan lain sesuai kebutuhan. Valve untuk untuk pelepasan tekanan
- Instrumen pengukuran (putaran screw, laju umpan, suhu, tekanan) dan kontrol
- Penggerak, biasanya dengan kemampuan variasi kecepatan dan kontrol torsi.

3.1.2 Operasi

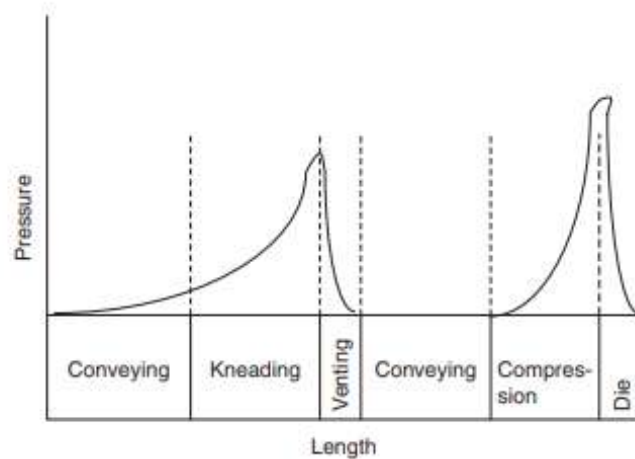
Bahan yang diproses dalam pengestrusi kompor adalah padatan lembab partikulat atau cairan seperti adonan dengan viskositas tinggi. Saat sekrup berputar, penerbangan menyeret material ke arah pintu keluar. Saluran aliran, yang dijelaskan di atas, dibatasi oleh dua permukaan padat, yaitu sekrup dan laras. Gesekan dengan material yang bergerak terjadi pada kedua permukaan. Idealnya, gesekan pada permukaan tong harus yang terkuat dari keduanya, agar terjadi geseran dalam. Apakah gesekan lemah pada permukaan laras, misalnya karena pelumasan, dan kuat pada permukaan sekrup, material akan menempel pada sekrup dan berputar bersamanya, tanpa geser dan tanpa gerakan maju. Grooving membantu mengurangi selip di permukaan tong.

- Konfigurasi sekrup sedemikian rupa sehingga area aliran di sepanjang saluran aliran berkurang secara progresif. Akibatnya, material semakin dikompresi saat bergerak ke bawah laras. 'Rasio kompresi' adalah rasio luas penampang aliran
- Saluran di ujung umpan ke yang di ujung keluar. Pengurangan daerah aliran dapat dicapai dengan beberapa jenis konfigurasi sekrup (Harper, 1987). Yang paling umum adalah jarak ulir yang semakin menurun dan diameter akar (inti) yang semakin meningkat. Konfigurasi sekrup yang sesuai dengan kompresi
- Tekanan yang dikembangkan dalam ekstruder pemasak dapat berkisar beberapa MPa. Mengacu pada Gambar 12.6, merupakan kebiasaan untuk membagi ekstruder sekrup tunggal menjadi tiga bagian:
 - Bagian umpan: fungsi utama bagian ini adalah bertindak sebagai konveyor ulir, yang mengangkut material dari pintu masuk umpan ke bagian berikutnya. Hampir tidak ada kompresi atau modifikasi massa yang terjadi pada bagian ini
 - Bagian transisi: ini adalah bagian di mana material dikompresi dan dipanaskan
 - Bagian pengukuran: ini adalah bagian di mana sebagian besar tujuan proses ekstrusi (peleburan, teksturisasi, pengadukan, reaksi kimia, dll.) terjadi melalui geseran dan pencampuran.
 - Melalui gesekan, sebagian besar daya yang digunakan untuk memutar poros sekrup dihamburkan ke dalam material sebagai panas. Jadi, sebagian dari panas yang dikirim ke produk dihasilkan di tempat. Panas tambahan dipindahkan dari permukaan batang rel yang dipanaskan secara eksternal dan disuplai dengan injeksi langsung uap hidup. Dalam ekstruder sekrup tunggal, panas yang dihasilkan secara internal merupakan bagian utama dari input energi.
- Konsekuensinya, pemanasan dalam ekstruder masak sangat cepat.

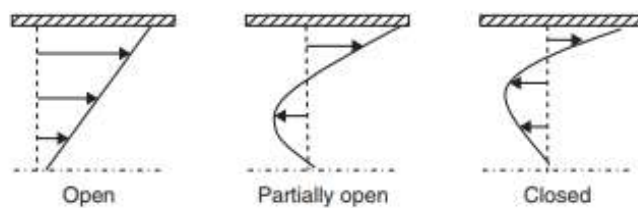
Karena tingginya tekanan di ekstruder, bahan yang lembab dapat dipanaskan hingga suhu jauh di atas 100°C (kadang-kadang hingga 180–200°C). Ketika tekanan tiba-tiba dilepaskan di pintu keluar cetakan, sebagian air dalam produk menguap dan akibatnya produk mengembang. Tingkat kembung dapat dikontrol dengan melepaskan sebagian tekanan dan mendinginkan massa pada bagian terakhir ekstruder, sebelum die. Sebagai hasil dari kompresi, gradien tekanan dibangun berlawanan arah dengan pergerakan rata-rata massa. Oleh karena itu, aliran sepanjang saluran aliran kontinu mengandung dua komponen: aliran seret dari ujung umpan ke ujung mati, yang disebabkan oleh dorongan mekanis dari penerbangan sekrup, dan aliran balik yang digerakkan oleh tekanan berlawanan arah, disebabkan oleh perbedaan tekanan antara kedua ujung ekstruder. Laju aliran bersih adalah perbedaan antara laju aliran yang terkait dengan dua bidang kecepatan. Pencampuran dalam ekstruder ulir tunggal sebagian besar disebabkan oleh adanya dua pola aliran yang berlawanan ini. Intensitas aliran balik, dan karenanya 'efisiensi pemompaan' ekstruder, bergantung pada resistansi cetakan dan batasan lain yang ditempatkan pada jalur aliran.

3.1.3 Model Aliran dalam Ekstruder

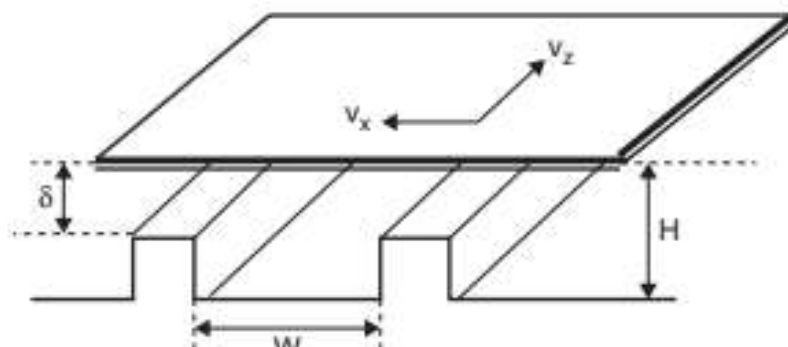
Berbagai model telah diusulkan untuk analisis pola aliran yang kompleks dalam ekstruder memasak. Pendekatan yang paling umum adalah secara mental untuk 'mengupas' saluran aliran helicoidal dari sekrup, sehingga memiliki bidang datar penampang persegi panjang (Tadmor dan Gogos, 1979). Pergerakan elemen fluida dalam saluran aliran ditentukan oleh komponen kecepatannya dalam arah sumbu x , y dan z , sesuai dengan lebar, kedalaman dan panjang saluran, masing-masing (Gambar 12.7 dan 12.8).



Gambar 12.7. Tekanan Profil dengan Ventilasi



Gambar 12.8. Aliran balik sebagai fungsi dari tekanan balik



Gambar 12.9. Flow Channel Model (Model Alur aliran)

Kecepatan longitudinal v_z menentukan throughput ekstruder. Kecepatan lintas saluran v_x berkontribusi pada pencampuran. Untuk kemudahan visualisasi, sekrup dianggap statis dan permukaan barel bergerak. Mengacu pada Gambar 12.9, satu bisa menulis:

$$v_B = \pi DN \quad v_x = \pi DN \sin \theta \quad v_t = DN \sin \theta \quad \text{-----} (1)$$

dimana: D = diameter sekrup, m
 N = kecepatan putaran, s⁻¹
 θ = sudut heliks.

Throughput volumetrik saluran didekati dengan Persamaan. (2), di bawah ini:

$$Q = \left[\frac{v_z WH}{2} \right] + \left[\frac{WH^3}{12\mu} \left(\frac{dP}{dz} \right) \right] \text{-----} (2)$$

di mana:

W, H = lebar dan tinggi saluran aliran, masing-masing alur

μ = viskositas semu dari massa

dP/dz = gradien tekanan di sepanjang ekstruder.

Braket pertama dalam Persamaan. (2) mewakili aliran seret. Tanda kurung kedua mewakili aliran balik karena gradien tekanan (negatif). Aliran drag adalah positif elemen perpindahan. Aliran tekanan mewakili deviasi sekrup tunggal ekstruder dari kinerja pompa perpindahan positif yang sebenarnya. Dalam hal variabel fisik, Persamaan. (2) dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = \left[\frac{(\pi DN \cos \theta) WH}{2} \right] - \left[\frac{WH^3}{12\mu} \left(\frac{P_2 - P_1}{L} \right) \right] \text{-----} (3)$$

di mana:

Tekanan P_1 dan P_2 , masing-masing pada ujung umpan dan ujungkeluar

L = panjang ekstruder.

Pemeriksaan Persamaan. (3), mengarah pada kesimpulan berikut:

- Throughput akibat tarikan sebanding dengan diameter ujung sekrup, untuk kecepatan revolusi dan luas penampang saluran aliran
- Aliran balik berbanding terbalik dengan viskositas massa. Dalam kasus ini dari lelehan viskositas tinggi, sering ditemui dalam ekstrusi makanan, pengaruhnya aliran balik sangat berkurang.

Persamaan (3) berguna untuk evaluasi arah dari efek geometri ekstruder dan kondisi operasi pada kapasitas ekstruder, tetapi tidak untuk tujuan desain karena banyak asumsi penyederhanaan yang dibuat untuk pengembangannya. Sebagian besar bahan makanan dari minat ekstrusi makanan adalah cairan non-Newtonian dan viskositas jelas banyak dari mereka tidak dapat diwakili oleh model sederhana seperti power law. Asumsi dari luas penampang konstan dari saluran aliran adalah pendekatan lain.

Contoh Soal

Perkirakan output volumetrik dari ekstruder sekrup tunggal yang beroperasi dengan data berikut:

Diameter ujung sekrup, D 0,1 m

Tinggi sekrup rata-rata, H 0,002 m

Lebar rata-rata lapangan, W 0,05 m

Kecepatan rotasi N 6 per detik

Sudut heliks, θ 20 derajat

Panjang ulir, L 1,2 m

Viskositas rata-rata lelehan diperkirakan 5 Pas.

Extruder diberi makan pada tekanan atmosfer. Tekanan pada die adalah 1,3 MPa, pengukur.

Solusi :

Persamaan diterapkan.

$$Q = \left[\frac{(\pi D N \cos \theta) W H}{2} \right] - \left[\frac{W H^3}{12 \mu} \left(\frac{P_2 - P_1}{L} \right) \right]$$

$$Q = \frac{\pi \times 0.1 \times 6 \times 0.94 \times 0.05 \times 0.002}{2} - \frac{0.05 \times (0.002)^3 \times 1.3 \times 10^6}{12 \times 5 \times 1.2} =$$

$$= 88.5 \times 10^{-6} - 7.2 \times 10^{-6} = 81.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 0.293 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

Sebagaimana dinyatakan di atas, sebagian besar energi yang diterapkan pada poros dihaburkan sebagai panas. Pada ekstruder sekrup tunggal, porsi tenaga mekanis digunakan untuk membangun tekanan dan untuk mendorong massa melalui cetakan mewakili paling banyak 28% dari total input energi bersih (Janssen, 1989).

Tekanan pada cetakan dan laju alir volumetrik saling berhubungan melalui Persamaan tipe Darcy:

$$Q = \frac{\Delta P}{R} \text{-----} 4$$

di mana R adalah resistansi total cetakan untuk mengalir.

Memisahkan resistansi total menjadi bagian-bagian resistansi hanya karena mati geometri dan bagian karena sifat fluida (viskositas), Persamaan. (4) bisa ditulis ulang sebagai berikut:

$$Q = \frac{\Delta P}{K_D \mu} \text{-----} 5$$

di mana k_D adalah resistansi yang terkait dengan geometri die saja.

Karena ketidakaturan bentuk dan pentingnya efek akhir, sulit dilakukan untuk menghitung k_D secara analitis (misalnya dengan bantuan teori aliran laminar) dan eksperimen diperlukan untuk penentuannya (Janssen, 1989).

3.1.4 Distribusi waktu tinggal

Distribusi waktu tinggal (*retention time distribution = RDT*) sangat penting dalam ekstrusi, karena pemanfaatan ekstruder sebagai reaktor dan, dalam beberapa kasus, sebagai autoklaf. Karena kompleksitas aliran, distribusi waktu tinggal tidak bisa dapat disimpulkan dari pengetahuan geometri ekstruder dan sifat reologi bahan yang diproses. Pendekatan sebaliknya lebih umum. RDT dalam ekstruder ditentukan secara eksperimental, menggunakan teknik injeksi-pulsa. Itu hasil eksperimen kemudian digunakan untuk mempelajari aliran dalam ekstruder (Levine, 1982 ; Bounié, 1988). Distribusi waktu tinggal pada ekstruder sekrup tunggal relatif lebar (Harper, 1981), sebagai akibat deviasi ekstruder dari.

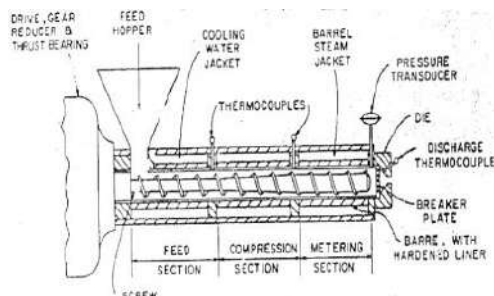
Kempa press tipe shaft ulir disebut dengan screw press, yang banyak digunakan pada ekstraksi minyak biji-bijian seperti minyak sawit dan minyak kelapa, yang banyak dikembangkan (Gambar 12.6) pengolahan kelapa di Srilangka. Pengempaan dengan mekanisme, kondisi dari screw press ini tergantung pada bahan, perputaran screw yang berfungsi mendorong bahan ke arah depan sambil melakukan proses pencincangan, sehingga terjadi pemerasan sel minyak. Pengempaan buah sawit setelah mengalami pelumatan dalam digester menggunakan screw press tekanan 40 - 50 bar, tergantung pada kelembutan bahan, seperti kemasakan buah kelapa sawit pada sterilisasi buah pada pengolahan pendahuluan dan kelumutan buah dalam digester sebelum dikempa. Semakin keras bahan yang dikempa maka tekanan press semakin tinggi (Gambar 12.10)

Ekstraksi minyak CPO dari buah sawit umumnya terdiri dari kapasitas screw press 10 – 25ton TBS jam (6 -15 ton brondol perjam). Mesin screw press selain melakukan kempa juga melakukan pencincangan fiber sehingga sel sel minyak pecah dan minyak keluar, sedangkan kempa press hanya dengan tekanan sehingga minyak keluar. Proses pengempaan berjalan secara kontinu yaitu buah masuk dari chute digester dengan tekanan dari atas (gravitasi) yang terkoneksi dengan digester tinggi 3000 mm, dan keluar dengan pengaturan kecepatan putar shaft. Efisiensi kempa semakin tinggi dengan pemanasan yang menggunakan uap langsung atau tidak langsung (mantel), sehingga suhu dalam digester 95-100°C. Hasil kempa yaitu padatan yang disebut cake dan cairan minyak.

3.2 Pengekstrusi sekrup kembar

3.2.1 Struktur

Pengekstrusi sekrup kembar terdiri dari sepasang sekrup paralel, berputar di dalam drum dengan penampang berbentuk 8. Di ujung keluar, masing-masing setengah laras menyatu menjadi bagian kerucut pendek, masing-masing dengan dadu di puncaknya. Sekrup dapat berputar bersama atau berlawanan arah. Jenis yang paling umum digunakan dalam industri makanan adalah co-rotating, self-wiping twin screw extruder (Harper, 1989). Dalam model self-wiping, kedua sekrupnya rapat terjalin. Pada beberapa model, laras dibelah menjadi dua bagian memanjang, memungkinkan pembukaan untuk membebaskan sekrup, pemeriksaan dan pembersihan. Pada model lain, laras terdiri dari modul pendek yang dapat dipisahkan (Gambar 12.10). Pada sebagian besar model, konfigurasi sekrup yang berbeda dapat dirakit oleh pengguna, dengan menggeser elemen sekrup poros dengan rasio kompresi yang berbeda, bagian pencampuran, bagian sekrup pitch balik (untuk meningkatkan pencampuran atau untuk mengurangi tekanan), pembatasan (untuk tekanan bangunan) dll. Kemungkinan ini memberikan tingkat keserbagunaan yang tidak dimiliki oleh ekstruder ditemukan pada model lama dengan konfigurasi sekrup tetap.



(a)



(b)

Gambar 12.10. Ekstruder (a) Ulir Ganda dan (b) Ulir Tunggal Empty Bunch Press

2.1.1. Operasi

Sebagian besar transportasi material terjadi di 'ruang' berbentuk C yang terbentuk di antara sekrup (Gambar 12.10). Proporsi tenaga mekanik yang digunakan untuk pemompaan lebih tinggi dari pada ekstruder sekrup tunggal, oleh karena itu proporsi energi yang lebih besar untuk

pemanasan harus disuplai dari sumber eksternal. Selip atau gesekan pada permukaan laras kurang relevan. Bagian pertama dari ekstruder, bagian pengangkut, yang membentang di atas bagian utama dari panjang sekrup, bertindak sebagai konveyor sekrup yang dipanaskan. Sudut sekrup yang sangat besar di bagian ini memberikan kecepatan aksial maju yang relatif tinggi pada material. Akibatnya, rasio pengisian pada bagian ini rendah. Pemanasan terjadi sebagai akibat perpindahan panas dari permukaan laras, yang dipanaskan dengan sendirinya secara eksternal. Karena daya tahan yang rendah, material cepat panas dan mencapai suhu mendekati itu dari laras. Di sisi lain, bagian pengangkutan tidak berkontribusi secara signifikan terhadap penumpukan tekanan. Penekanan dicapai pada bagian berikutnya, yang dikenal sebagai bagian pemompaan lelehan atau pengukuran, dengan bantuan elemen pembatas aliran termasuk dalam konfigurasi sekrup dan, tentu saja, cetakan. Rasio pengisian di bagian kedua ini meningkat secara bertahap menuju wilayah die. Pada waktu tertentu, bagian permukaan sekrup yang berbeda memenuhi fungsi yang berbeda (Sastrohartono et al., 1992). Bagian dari permukaan sekrup yang menghadap laras melakukan tindakan translasi, sedangkan sebagian besar pencampuran terjadi di bagian intermeshing di antara sekrup.

3.2.3. Kelebihan dan kekurangan

Sebuah studi komparatif rinci ekstruder twin-screw dan single-screw diberikan dalam Harper (1992). Keuntungan utama sekrup kembar dibandingkan ekstruder sekrup tunggal adalah:

- Efisiensi pemompaan lebih baik dan tidak terlalu bergantung pada sifat aliran material
- Pencampuran lebih efisien
- Laju pertukaran panas dari permukaan tong ke bahan lebih cepat dan lebih seragam
- Waktu tinggal lebih merata
- Berkat kemungkinan konfigurasi modular yang fleksibel dari sekrup dan laras, ekstruder sekrup kembar adalah mesin yang lebih serbaguna
- Kelembaban yang tinggi dan material yang lengket dapat ditangani. Ini, mungkin, keuntungan yang paling penting karena memungkinkan pemrosesan bahan yang sampai sekarang tidak dapat ditangani oleh ekstruder sekrup tunggal. Pengenalan teknologi twin-screw telah menghasilkan perluasan aplikasi yang paling signifikan ekstrusi untuk makanan dan spektrum produk diekstrusi
- Menyeka sendiri mengurangi risiko penumpukan residu
- Masalah pengumpanan dengan bahan kohesif kurang serius. Sisi negatifnya, kerugian relatif dari ekstruder sekrup kembar adalah:
 - Biaya lebih tinggi yaitu investasi dan biaya operasi lebih tinggi
 - Kompleksitas yaitu ekstruder sekrup ganda secara mekanis lebih rumit dan kurang kokoh. Akibatnya, mesin lebih sensitif terhadap penyalahgunaan mekanis (seperti torsi tinggi).

3.2.4. Efek pada Makanan

3.2.4.1. Efek fisik

Umpan yang masuk ke ekstruder biasanya berupa bahan granular yang telah diolah terlebih dahulu (diformulasi, dilembabkan atau dikeringkan, dipanaskan, diaglomerasi, dll.) Di bagian penghantaran ekstruder, bahan mempertahankan struktur partikulatnya. Saat suhu dan tekanan meningkat dan lebih banyak geser diterapkan, partikel struktur menghilang dan bahan seperti adonan diperoleh. Massa ini disebut 'meleleh', analogi dengan fenomena pelelehan sejati dalam ekstrusi polimer plastik. Saat lelehan terus bergerak, struktur internal baru dan beberapa derajat pemisahan fasa dapat terjadi, terutama sebagai akibat dari geseran. Orientasi molekul protein diyakini sebagai mekanisme dasar dalam ekstrusi tekstur tepung kedelai (Stanley, 1989). Puffing (pengembangan) sangat penting untuk pembuatan karakteristik struktur berpori dari banyak

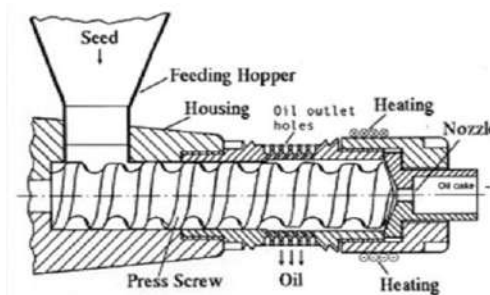
produk ekstrusi. Penguapan volatile zat, bersama dengan beberapa uap air, kadang-kadang dianggap sebagai efek fisik ekstrusi yang diinginkan. Dikenal dalam pemrosesan polimer sebagai metode untuk menghilangkan residu pelarut dan monomer yang mudah menguap (volatilisasi), penguapan komponen bau yang tidak diinginkan adalah tujuan utama dari conching ekstrusi coklat (lihat di bawah). Dalam aplikasi yang berbeda, telah ditemukan bahwa pemasakan ekstrusi kering kedelai sebelum ekspresi minyak dengan pengusiran mekanis menghasilkan hasil minyak yang sangat meningkat (Nelson et al., 1987).

Salah satu tujuan utama ekstrusi adalah pembentukan bahan. Pembentukan pasta membutuhkan waktu yang pendek dengan ekstrusi, jenis ekstruder khusus sekarang digunakan untuk membentuk produk adonan, batangan permen,

4. Kempa Press

4.1 Kempa Press Tunggal

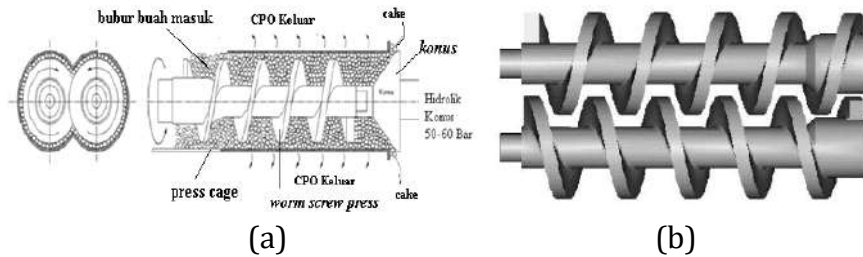
Kempa press memiliki fungsi dan mekanisme kerja menyerupai kempa ulir, perbedaannya terletak pada proses pendahuluan serta kondisi dan kapasitas. Kempa press digunakan untuk mengekstraksi cairan yang terdapat dalam padatan, seperti kopra, minyak sawit. Jika padatan yang diekstrak bersifat keras, maka disebut dengan expeller seperti ekstrak minyak dari kernel sawit (Gambar 12.11).



Gambar 12.11. Screw Press

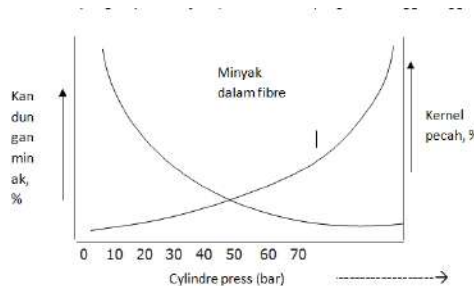
Kempa ulir ganda terdiri dari i) dua worm scroll ii) cylindre press, iii) hydraulic cone iv) intermediate shaft v), gear box,vi) steam pipe vii) chute viii) water delution.

Tipe kempa ulir terdapat beberapa bentuk seperti, *single screw press*, *double horizontal screw press*, *double vertical screw press*, dan terdapat *screw press* yang dilengkapi dengan *auto feeder screw press*. Shaft terdiri dari logam keras dan dapat digerakkan maju mundur, sehingga tekanan kerja mesin hampir stabil. Minyak keluar dari silinder press yang dibuat berlobang berbentuk tirus dengan diameter 2 dan 3 mm jumlah lobang berkisar 14.000–29.000 tergantung dari jenis dan kapasitas olah. Untuk mempermudah pengeluaran minyak dari *cylindre press* diinjeksikan uap panas, agar minyak tidak menempel pada *cylindre press*. Proses pengempaan dilakukan dengan putaran sumbu 10-12 rpm, yang digerakkan dengan menggunakan elektromotor untuk memutar shaft, yaitu menggunakan rantai (transmisi), tetapi ada yang menggunakan dengan hydraulic transmisi yang berfungsi untuk menggerakkan gear box. Satu hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian kempa ulir, yaitu saat digester mesin dihentikan agar isi dari kempa ulir pada scroll penuh, dengan tujuan agar tekanan kempa ulir dapat dipertahankan. Kempa ulir terdiri dari berbagai jenis antara lain *single screw press* yang dilengkapi dengan *autofeeder*, *double screw press* horizontal dan vertical. Pengawasan proses pengempaan yaitu pengaturan kontinuitas pengumpanan dan proses pengaturan stabilitas tekanan press.



Gambar 12.12. Screw Press buah sawit (a). Screw Press (b) worm screw press

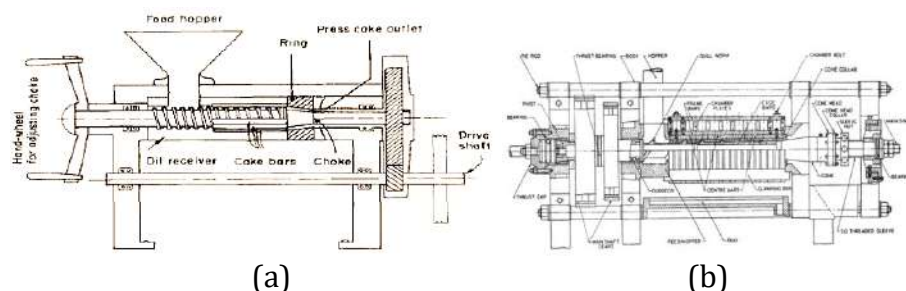
Tekanan press akan lebih efektif jika tahanan lawan dari cone yang membatasi keluarnya ampas dari ujung *cylindfre press* (Gambar 12.12). Pengempaan harus mempertimbangkan fasktor oil losses dan biji pecah (Gambar 12.13).



Gambar 12.13. Hubungan tekanan kerja screw press terhadap kandungan minyak dan oil losses

5. *Expeller*

Expeller atau kempa paksa digunakan untuk mengeluarkan minyak dari bahan keras, seperti mengeluarkan minyak dari kernel biji sawit yang keras. Proses pengerasan pada kernel terjadi dalam pengeringan kernel pada suhu 80°C selama 2 jam dalam pabrik kelapa sawit menyebabkan terjadi pengerasan bahan organik yang terkandung dalam kernel. *Expeller* terdiri dari *single worm* atau *double worm screw* (Gambar 12.14 a, b) yang menekan dan menggesek pada dinding *cylindre presses* hingga kernel pecah dan remuk, keadaan ini menaikkan suhu kempa mencapai 100 °C, dan minyak kernel keluar. Karena pengempaan terjadi pada tekanan yang lebih tinggi hingga 80 bar, menyebabkan worm screw mudah haus secara partial, memerlukan perbaikan atau penggantian suku cadang, biaya pemeliharaan dan perawatan *expeller* tinggi berakibat biaya olah yang tinggi. Untuk memperkecil biaya perawatan dan pemeliharaan mesin maka worm screw dibuat terdiri dari ruas-ruas yang dapat disambung. *Expeller* yang digunakan dalam industri terdapat 2 type yaitu *single scew* dan *double screw* (Gambar 12.14) Walaupun biaya olah dengan penggunaan *expeller* dengan kapasitas 500 kg/jam tetapi masih dianggap lebih murah dari pada ekstraksi pelarut dengan heksan. Jika biji yang diolah keras maka dilakukan pengempaan dua phase yaitu 1) untuk memperkecil ukuran bahan seperti ekstruder atau dengan *expeller* yang berfungsi memperkecil dan memeras, 2) yaitu memeras minyak yang terkandung. Kandungan minyak masih terdapat dalam $6-8\%$ /berat kering



Gambar 12.14. Expeller, a) Single worm screw b) Double worm Screw

DAFTAR PUSTAKA

- Adetola O. A., J. O. Olajide and A. P. Olalusi (2014) Development of a Screw Press for Palm Oil Extraction. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 7, July-2014 p.1416-1422
- ISOBE Seiichiro, Francois ZUBER, Edgardo S. MANEBOG, Li LITE, Kunihiro UEMURA and Akinori NOGUCHI (1997) Solid-Liquid Separation of Agricultural Products Using Twin Screw Press and Electro-Osmosis. Japan, JARQ 31, 137-146 (1997)
- Pachkawade Mangesh A, and Pawan A Chandak (2013) A REVIEW ON DESIGN AND ANALYSIS OF OIL EXPELLER SPARES Mr.Volume 1, Issue 5, International Journal of Research in Advent Technology p.1-7.
- Head S.W, Swetman A.A, T.W. Hammonds, A. Gordon, K.H. Southwell and R.V. Harris(1995) Small scale extraction of vegetable oil. Natural Resources Institute (NSI) Hampshire p:126.
- Patil Amol A., Swapnil D. Gaikwad, R. S. Kulkarni (2017) A Review on the Oil Expeller Screw Shaft : International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol: 04 Issue: 03 p: 1654-1656
- Naibaho, P.M. (1988). Teknologi Pengolahan Kelapa sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan. pp: 306.
- Nnanna. I., Okeahialam, Solomon I, and Okoro Humphrey O (2018) Design And Fabrication Of A Groundnut Oil Expelling Machine Engr. American Journal of Engineering Research (AJER) Vol 7, Issue 9, pp-46-57
- Siraj Mohamad Ali Sheikh and Zakiuddin Syed Kazi (2016) Technologies for Oil Extraction: A Review : International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB) Vol-1, Issue-2 , India Page | 106 -109.
- Samuel Olesegun David, and Ikuobase Emovon (2018).Development of Expeller for Palm Kernel based seed and Its Oil Characterization. International Journal of Integrated Engineering. Nigeria Vol 10 No 1 p : 176-181.
- UNIDO (1986). Small-Scale Oil Extraction from Groundnuts and Copra. Technical Memorandum No.4
- Naibaho P.M (1988). Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan Sumatera Utara pp: 304
- Patil Amol A., Swapnil D. Gaikwad, Mr. R. S. Kulkarni and P.G. Student (2017) Review on the Oil Expeller Screw Shaft, India International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) India Volume: 04 Issue: 03 | Page 1654

BAB XIII

EKSTRAKSI PELARUT

1. Pendahuluan

Secara harafiah, istilah 'ekstraksi' menyampaikan gagasan menarik sesuatu dari sesuatu yang lain (ex-out, traksi-tindakan menarik). Ini digunakan untuk menunjukkan lebar berbagai tindakan, dari operasi pengangkatan sari hingga pengambilan barang dari sebuah basis data. Alat untuk memeras jeruk dikenal sebagai 'ekstraktor jus'. Namun dalam bab ini, ekstraksi akan didefinisikan sebagai proses pemisahan, berdasarkan perbedaan kelarutan. Pelarut digunakan untuk melarutkan dan memisahkan zat terlarut adalah bahan yang lain dari yang terlarut dan menunjukkan kelarutan lebih rendah dalam pelarut tersebut. Aplikasi sangat populer antara lain ekstraksi minyak kedelai, kernel dan minyak biji-bijian dengan menggunakan solvent (bahan pelarut). Ekstraksi dilakukan dua tahap yaitu (1) membuat kontak antara padatan dengan pelarut sehingga unsur utama utama yang mudah larut akan dipisahkan dari padatan (2) pemisahan misella untuk memperoleh residu padatan. Dalam proses ekstraksi dilakukan pemisahan pelarut dari padatan dengan cara pencucian atau evaporasi, untuk mempertahankan nilai dari padatan yang sudah terekstraksi. Demikian juga pemisahan pelarut dari unsur utama perlu dilakukan agar tidak terjadi kontaminasi pelarut dalam produk utama. Pemisahan solvent dilakukan dengan penguapan, destilasi atau netralisasi ini diterangkan dalam bab selanjutnya. Pelarut yang digunakan untuk bahan yang akan digunakan sebagai pangan harus memenuhi persyaratan undang-undang pangan. Sistem ekstraksi ada 2 cara dengan perbedaan yang didasari oleh pelarut dan yang dilarutkan yaitu;

- Ekstraksi padat-cair, di mana zat terlarut diekstraksi dari fase padat dengan bantuan pelarut. Contoh: ekstraksi garam dari batuan dengan menggunakan air sebagai lubang pelarut; ekstraksi bahan larut kopi dari kopi yang disangrai dan digiling dalam produksi 'kopi larut'; ekstraksi minyak nabati dari biji minyak dengan organik pelarut; ekstraksi protein dari kedelai dalam produksi terisolasi protein kedelai dll. Ekstraksi padat-cair juga disebut 'pencucian' dan 'elusi' (bila diterapkan pada ekstraksi zat terlarut teradsorpsi dari adsorben. Mekanisme ekstraksi padat-cair melibatkan penetrasi pelarut menjadi padat, pembubaran ekstrak, transpor (difusi) zat terlarut dari bagian dalam partikel padat ke permukaannya dengan difusi dan dispersi zat terlarut dalam sebagian besar pelarut di sekitarnya partikel padat melalui difusi dan agitasi. Dalam beberapa kasus, langkah solubilisasi mungkin termasuk perubahan kimia yang dipromosikan oleh pelarut, seperti hidrolisis biopolimer yang tidak larut untuk menghasilkan molekul yang larut. Proses ekstraksi yang baru dengan cairan superkritis (SCF) akan disertakan dalam kategori ini, itu terutama diterapkan pada padatan.
- Ekstraksi cair-cair, yaitu metode untuk mengekstraksi zat terlarut dari larutan dalam pelarut tertentu, oleh pelarut lain. Contoh: ekstraksi penisilin dari kaldu fermentasi berair dengan butanol; ekstraksi oksigenasi terpenoid dari minyak atsiri jeruk menggunakan etanol sebagai pelarut dll. Cair-ekstraksi cair, juga dikenal sebagai partisi, umum dalam bahan kimia dan industri farmasi dan bioteknologi, juga dalam makanan pengolahan. Seperti halnya dengan teknik adsorpsi dan destilasi, proses ekstraksi adalah proses pemisahan berdasarkan transpor molekuler, di mana molekul berpindah dari satu fase ke fase lain di bawah pengaruh perbedaan kimia potensi.

Analisis dan desain operasi pemisahan berdasarkan transpor molekul memerlukan pengetahuan dalam tiga bidang utama:

a. Keketimbangan : transpor molekul akan berhenti ketika keketimbangan antara fase tercapai, yaitu potensi kimia dari zat yang bersangkutan adalah sama di semua fase yang bersentuhan satu sama lain. Meskipun keketimbangan sejati tidak pernah dapat dicapai dalam durasi yang terbatas, konsep keketimbangan merupakan dasar perhitungan. Dalam prakteknya, banyak proses pemisahan seperti itu terdiri dari sejumlah tahap berturut-turut di mana fase bergerak, mengikuti berbagai pola aliran. Pendekatan umum yaitu mensimulasikan proses nyata ke serangkaian teoretis 'tahap keseimbangan' dan untuk memperbaiki penyimpangan dari perilaku teoretis dengan bantuan faktor 'efisiensi' empiris atau semi-empiris. data keseimbangan dapat diberikan dalam bentuk persamaan, tabel atau grafik. Setiap 'tahap' dari proses ekstraksi terdiri dari dua operasi. **Pertama**, dua fase dibawa untuk menghubungkan untuk jangka waktu tertentu, di mana perpindahan massa antara fase terjadi. **Kedua**, kedua fase dipisahkan satu sama lain oleh beberapa metode yang mungkin, seperti filtrasi, dekantasi, sentrifugasi, pemerasan, pengurasan, dll. Secara fisik, kedua operasi tersebut dapat dilakukan di dalam peralatan yang sama (misalnya kolom ekstraksi) atau mungkin memerlukan dua perangkat kecepatan terpisah. Kondisi untuk mengoptimalkan dua operasi mungkin saling menguntungkan kontradiktif. Dengan demikian, pembagian salah satu fase menjadi partikel halus meningkat laju perpindahan massa antar fase tetapi membuat pemisahan selanjutnya lebih banyak sulit.

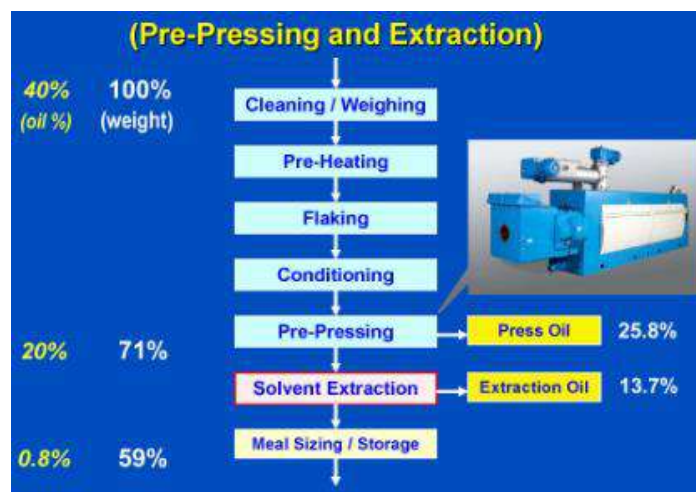
b. Keseimbangan material dan energi : setiap tahap proses harus memenuhi hukum konservasi materi dan energi yang dinyatakan sebagai: dalam-keluar akumulasi . Dalam proses kontinyu kondisi tunak tidak ada akumulasi. Dalam grafis representasi dari proses, persamaan yang dihasilkan dari keseimbangan material direpresentasikan sebagai 'jalur operasi'.

c. Kinetika: laju transpor molekuler antar fase bergantung pada koefisien difusi dan turbulensi. Kinetika transpor menentukan tingkat di mana keketimbangan didekati. Efek kinetik sering diperhitungkan dengan bantuan faktor 'efisiensi' yang disebutkan di atas.

2. Ekstraksi Padat Cair

2.1 Persiapan Bahan

Bahan olahan hasil pertanian seperti biji-bijian kernel sawit, biji matahari, kedelai dan biji kapas, memerlukan perlakuan pendahuluan yaitu size reduction dengan penggunaan ekstruder dan hammer mill, dengan tujuan agar penetrasi pelarut kedalam bahan lebih cepat dan kontak anatara pelarut dengan bahan yang akan dilarutkan lebih efektif dan berkaitan dengan efisiensi pengutipan produk.

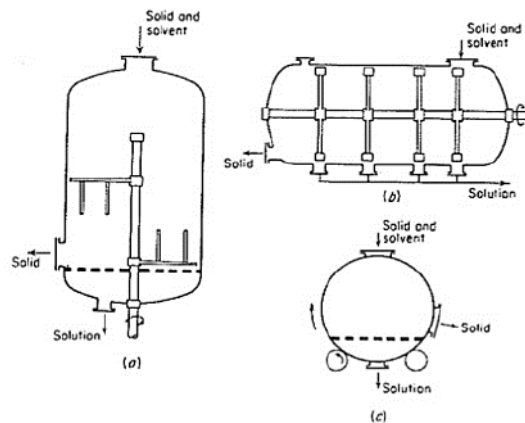


Gambar 13.1. Preparasi Bahan sebelum diproses di ekstraktor

Untuk mempermudah ekstraksi minyak dilakukan peningkatan luas permukaan dengan memperkecil ukuran diameter bahan, kemudian butiran tersebut dibentuk menjadi flake (lembaran tipis).

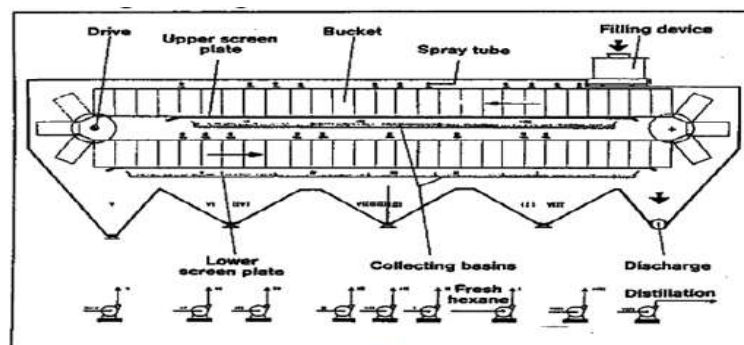
2.2 Ekstraksi Perendaman

Pemisahan statis yaitu separasi dilakukan dalam proses perendaman, yang disebut cara *solid bed* yang statis kemudian pelarut dipompakan dalam tangki hingga bahan digenangi atau terendam oleh pelarut (Gambar 13.2). Untuk mengintensifkan daya ekstraksi pelarut maka bahan tersebut direndam dan didiamkan beberapa lama. Ekstraksi berakhir jika kandungan unsur utama pada bahan padatan sudah mencapai minimal atau daya ekstraksi pelarut menurun akibat titik jenuh tercapai. Biasanya penetapan waktu didasarkan pada hasil percobaan.



Gambar 13.2. Letak Leaching a) Vertical Kolumn dengan pengaduk b) Horizontal Vessel dengan tangkai pengaduk, c) Bejana berputar

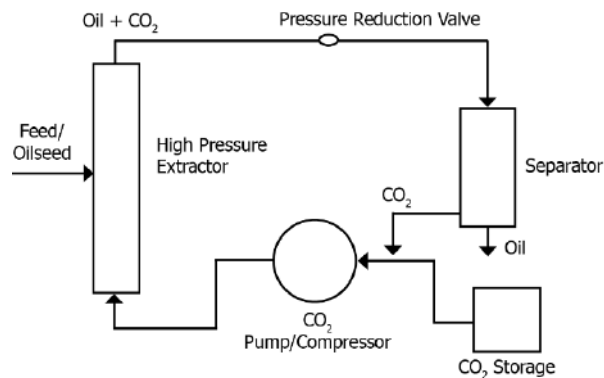
Setelah beberapa lama cairan dikeluarkan dari bagian dasar tangki, secara gravitasi, dan kemudian dikeringkan agar dalam padatan tidak terdapat pelarut, sedangkan hasil separasi bersama pelarut dipisah melalui evaporasi atau sentrifuge tergantung pada sifat bahan baku dan sifat pelarut. Akibat proses leaching akan menghasilkan leaching lebih kental (viscous) dibanding dengan umpan pelarut. Jika hasil ekstraksinya belum efektif artinya kandungan unsur utama dalam bahan masih tinggi, perendaman dapat diulang dengan menggunakan pelarut segar sehingga unsur utama yang masih tertinggal dapat dikuras dengan baik. Umumnya pengulangan ini membutuhkan waktu lebih singkat dan dapat diulang beberapa kali hingga efisiensi ekstraksi > 95 %. Kernel kelapa sawit yang mengandung minyak inti sawit diekstraksi dengan pelarut heksan, menggunakan sistem baterai, yaitu kernel yang di pecah melalui proses crushing dan seizing dikirim kedalam tikar di atas baterai dengan menggunakan conveyor seperti Gambar 13.3.



Gambar 13.3. Sliding Cell Ekstraktor (Lurgi)

2.3 Ekstraktor Tertutup

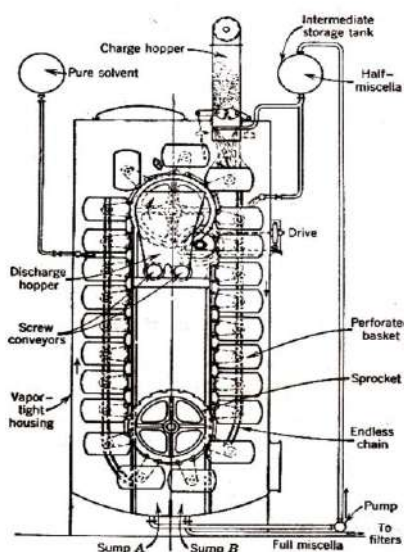
Ekstraksi dengan menggunakan senyawa kimia yang mudah menguap memerlukan pengendalian tekanan udara atmosfer yang dapat mempengaruhi proses leaching. Hal itu memerlukan pengendalian agar pemakaian bahan pelarut lebih efektif dengan merancang proses ekstraksi dalam tangki tertutup seperti Gambar 13.3 dan 13.4. Tekanan dalam ekstraktor terjadi akibat penguapan pelarut (umumnya pelarut lemak dan minyak adalah senyawa karbon dengan titik didih yang rendah) serta tekanan penyemprotan, maka ruangan ekstraktor tertutup terpisah dari atmosfer, karena bahan tersebut mudah terbakar, oleh sebab itu tekanan didalam ekstraktor ditetapkan maksimum 4 mm H₂O dengan menggunakan alat vacum pump.



Gambar 13.4. Ekstraksi Minyak dengan *Super Critical Carbon Dioksida*

2.4 Solid Bed Berjalan (Vertikal dan Horizontal)

Bolman telah mendesign alat ekstraktor bergerak yaitu memasang bucket perforasi yang ditempelkan pada rantai yang dapat bergerak secara horizontal (Gambar 13.3) dari bawah keatas (Gambar 13.5). Pelarut disemprotkan pada bucket dan cairan akan turun dari bucket melalui lubang yang terdapat pada bagian bawah. Bucket turun naik yang digerakkan elektro motor dengan sprocket. Bucket tersebut dibuat pada dasarnya lubang-lubang halus (*perforasi*) sehingga pelarut yang mengandung minyak (*disebut micella*) turun kebawah pada bucket berikutnya, sehingga pencucian lebih efisien. Ekstraksi yang dianggap mendekati titik jenuh kandungan minyak 40 %, yang akan tercapai pada titik terbawah.



Gambar 13.5. Ekstraktor Solid Bed Bergerak.

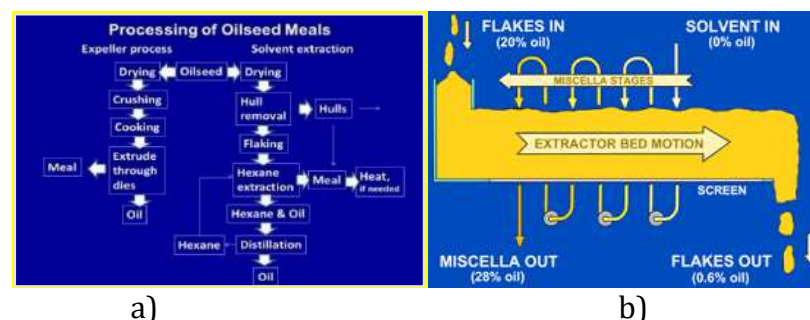
Penyiraman dengan solvent bersih dimulai pada bagian atas dilakukan dengan metode counter current yaitu bahan naik ke atas sedang pelarut bekas dari bucket dari atas akan disemprotkan pada busket bawah disebut dengan *multi stage counter current*. Cairan yang keluar dari bucket bagian bawah atau penyiraman akhir disebut misella, yang misella tersebut ditimbun dalam tangki sebelum dimurnikan. Pada proses selanjutnya misella tersebut di masukkan dalam tabung destilator dan memisahkan solvent dengan residunya yaitu minyak kedelai. Solvent tersebut ditimbun dalam tangki timbun untuk pemakaian ulang (*recycle*). Efsiensi ekstraksi dipengaruhi oleh frekuensi penyiraman dan jenis pelarutnya

2.5 Persinggungan Dispers

Dilakukan dengan mendispersikan padatan dalam pelarut, keberhasilan cara ini tergantung pada tingkat kehalusan butiran dan lamanya perendaman. Aliran conter-current bahan padatan diangkat keatas dan cairan pencuci turun dari atas kebawah (berlawanan arah *counter-current*). Drainase terjadi pada bucket yang terangkat. Padatan disuspensikan dengan agitator, sehingga butiran padatan menjadi dispersi, kemudian diangkat di dalam bucket dengan drainase awal, dan disiram kembali untuk mendapatkan pengurasan yang lebih efektif.

2.6 Proses Ekstraksi Terintegrasi

Ekstraksi minyak kedelai seperti pada Gambar 13.6 menunjukkan kelengkapan proses ekstraksi sejak dari awal, yaitu cracking roll, flaker, pemanasan, ekstraktor, destilator, oil dryer, condensor, filter press dsb. Ekstraktor yaitu kolom dibuat dalam kondisi vacuum lebih rendah dari atmosfer 10-15 mm H₂O.



Gambar 13.6. Proses ekstraksi (a). Perlakuan praekstraksi (b). Solvent Extraction Oil Seed.

Mekanisme pengurasan yang paling penting ialah metode arus lawan arah kontinu yang menggunakan tahap-tahapan (Gambar 13.6 dan 13.7). Zat padat tidak boleh berpindah pindah secara fisik dari tahap ke tahap, muatan dalam setiap sel diolah dengan sederetan zat cair yang konsentrasinya makin mengecil, demikian juga zat padat itu berpindah dari tahap ke tahap dalam sistem lawan arah.

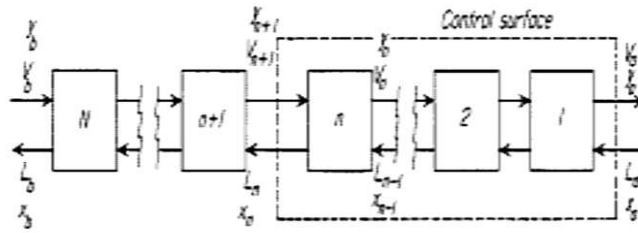
2.7 Mekanisme Ekstraksi Pelarut

Pada proses ekstraksi countercurrent multiple contact system dalam keadaan steady state terdapat keseimbangan massa dalam seluruh sistem dengan formula (1).

$$\text{Larutan Total } L_a + V_{n+1} = L_n + V_a \dots\dots\dots(1)$$

L_a = aliran zat cair terkandung dalam umpan, V_a = laju aliran limbah

L_n = larutan yang terbawa pada ke n, V_n = laju aliran limbah ke n



Gambar 13.7. Diagram *continuous counter-current* dengan kontak ganda

X_a = larutan di dalam zat padat masuk; X_b = larutan di dalam zat padat keluar; y_b = pelarut segar masuk sistem dan y_a = larutan pekat keluar sistem dan komponen lebih lengkap

$$L_a x_a + V_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + V_a y_{1a} \text{ ----- (2)}$$

Turunan berdasarkan neraca massa dari aliran dapat dituliskan seperti Persamaan 3,

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{V_a y_a - L_a x_a}{V_{n+1}} \text{ ----- (3)}$$

Contoh Soal 1:

Bahan tepung kedelai yang mengandung minyak kedelai (soy bean oil = SBO) 2ton perhari akan diekstraksi dengan heksan cara sistem berlawanan arah (counter current) yang mempunyai beberapa tahap ideal. Biji kedelai tersebut mengandung 25 % berat SBO. Untuk menguapkan pelarut heksan yang terdapat dalam meal dilakukan evaporasi yang dilanjutkan dengan pengeringan agar kandungan pelarut dalam meal sesuai dengan standard. Sedangkan minyak hasil ekstraksi (SBO) dikeringkan hingga bebas kandungan pelarut, yaitu maksimum 0.02 %. Heksan yang digunakan untuk mengekstraksi 0.05 lb/100 lb SBO adalah yang bebas SBO. Percobaan menunjukkan bahwa meal itu membawa 2.0 lb heksan per lb meal bebas SBO waktu berpindah dari satu sel ke sel lain. Heksan dalam ampas 200 lb Ekstrak dari baterai mengandung 5 lb SBO per 100 lb heksan. Konsentrasi SBO dalam aliran bawaan ke unit ke dua sama dengan konsentrasi di dalam aliran limbah dari tahap pertama 05 lb/100 lb atau 0.05 lb per pon heksan. SBO yang keluar bersama aliran bawaan ke unit 2 adlah $200 \times 0.05 = 10$ lb. Berapa tahap diperlukan untuk proses ekstraksi.

Penyelesaian

Alur proses digambarkan pada Gambar 13.7, heksan dalam pelarut segar didapat berdasarkan neraca bahan secara menyeluruh. Dalam proses dipakai heksan 871 lb. sebagai dasar perhitungan diambil dasar 100 lb ampas. Heksan segar tersebut umpan disebut dengan s . Neraca SBO adalah sebab:

SBO masuk bersama meal $100 \times 25/75 = 33,33$ lb, SBO masuk bersama pelarut = $0,0005 s$ jadi Total SBO masuk adalah $80 \text{ lb} + 0,0005 s$. SBO Keluar bersama ampas, $100 \times 0,2 \text{ lb} / 100\text{lb} = 0,20$ lb. SBO keluar bersama ekstrak $(s-200) \times 5 \text{ lb} / 100 \text{ lb} = 0,51 s - 10$ lb. Total PKO keluar adalah $0,05 s - 10 - 0,02 = 9,80$ lb. Jadi total SBO keluar adalah $80 + 0,0005 s = 0,05s - 9,80$.

Heksan umpan adalah 871 lb sedangkan dalam ampas terdapat 200 lb, dan yang di dalam larutan adalah $871 \text{ lb} - 200 \text{ lb} = 671$ lb, PKO dalam larutan ini adalah $671 \times 0,05 = 33,55$ lb. PKO didalam aliran limbah dari unit kedua ke unit pertama menurut neraca PKO dalam unit pertama adalah 10

$lb + 33,55 lb - 33,33 LB = 10,22$. Konsentrasi arus adalah $10,22/871 = 0,0117$. kuantitas yang harus disubstitusi ke dalam persamaan keseimbangan.

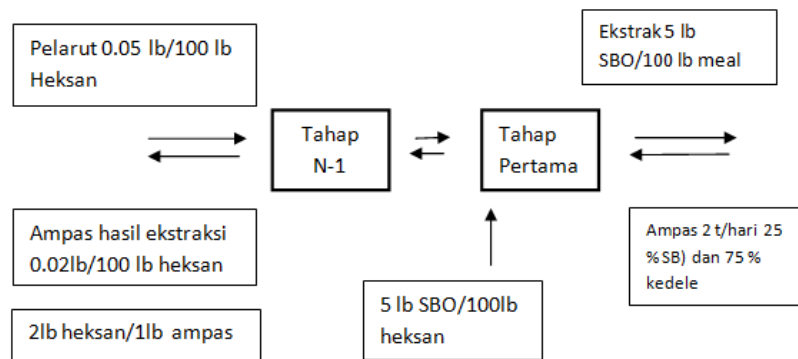
$$N = \frac{\log [(yb-yb^*)/(ya-ya^*)]}{\log [(yb-ya)/(yb^*-ya^*)]}$$

$$xa = ya^* = 0,05 \quad ya = 0,0117 \quad xb = yb^* = \frac{0,2}{200} = 0,001 \quad yb = 0,0005$$

$$N-1 = \frac{\log [(0,0005-0,001)/(0,0117-0,05)]}{\log [(0,005-0,0117)/(0,001-0,050)]}$$

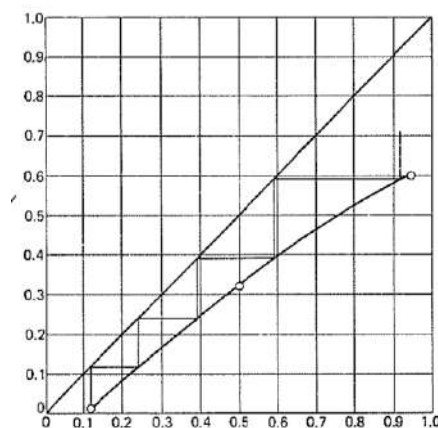
$$N-1 = \frac{\log [(0,05-0,0117)/(0,001-0,005)]}{\log [(0,050-0,001)/(0,0117-0,0005)]} = 3$$

$N = 3 + 1 = 4$, ekstraksi dilakukan 4 kali.



Gambar 13.8. Diagram neraca bahan untuk contoh soal 1.

Jumlah tahap ideal untuk aliran bawaan variable bila aliran limbah dan aliran bawaan berubah dari tahap ke tahap, dapat menggunakan modifikasi dari Garafic Mc Cabe-Thiele (Gambar 13.9) untuk perhitungannya yang ditentukan berdasarkan neraca bahan. Andaikan kuantitas aliran bawaan L diketahui sebagai fungsi komposisi aliran bawaan, nilai antara x_n dipilih untuk menentukan L_n dan V_{n+1} dihitung dari persamaan 1. Komposisi aliran limbah y_{n+1} dihitung dari Persamaan 2 dan titik x_n, y_{n+1} , digambarkan bersama komposisi terminal untuk menggambarkan garis operasi yang lengkung. Kecuali jika L dan berubah banyak atau garis operasi sangat berdekatan dengan garis kesetimbangan.



Gambar 13.9. Diagram MacCabe-Thiele

Contoh 2: Direncanakan untuk mengekstraksi minyak dari bahan gilingan dengan menggunakan benzena dalam ekstraktor kontinu arus lawan arah. Unit ini mengolah 2000 lb bahan gilingan perjam. Bahan yang belum diekstraksi mengandung 800 lb dan 50 lb benzene. Pelarut segar mengandung 20 lb minyak dan 1310 lb benzena. Ampas mengandung 120 lb minyak yang belum terekstraksi. Percobaan dilakukan pada kondisi yang identik dengan baterai yang direncanakan menunjukkan bahwa larutan yang tertawa bergantung pada konsentrasi larutan seperti Tabel 13.1. Tentukan (a) konsentrasi larutan pekat atau ekstrak (b) konsentrasi larutan yang terbawa oleh ampas (c) massa larutan yang keluar bersama ampas (d) massa ekstrak, (e) banyak tahap yang dipelukan, semua kuantitas dinyatakan atas dasar perjam.

Tabel 13.1.

Hubungan konsentrasi minyak dalam larutan dengan larutan terbawa zat padat

Konsentrasi lb minyak/lb larutan	Larutan yang terbawa lb/lb zat padat	Konsentrasi lb minyak/lb laruta	Larutan yang terbawa lb/lb zat padat
0,00	0,500	0,4	0,550
0,01	0,505	0,5	0,570
0,02	0,515	0,6	0,595
0,03	0,530	0,7	0,620

Penyelesaian; Umpamakan x, y adalah fraksi massa minyak di dalam aliran bawaan dan dalam aliran limpahan.

$$V_b = 20 \text{ lb} + 1310 \text{ lb} = 1330 \text{ lb}$$

$$Y_b = 20 \text{ lb} / 1330 \text{ lb} = 0,015$$

Tentukan kuantitas dan komposisi larutan yang terbawa oleh ampas dengan coba-coba. Jika $x_b = 0.1$ larutan terbawa (Tabel 13.1).

$$L_b = 0,505 \times (2000) = 1010 \text{ lb/jam, dan } x_b = 120 \text{ lb} / 1010 \text{ lb} = 0,119 ;$$

Dari tabel 1 larutan yang ialah 0,507 lb/lb

$$L_b = 0,507 \times 2000 \text{ lb} = 1.014 \text{ lb} \quad \text{dan } x_b = 120 / 1.014 = 0,118 \text{ cukup dekat.}$$

$$\text{Benzena dalam cairan bawaan } L_b = 1014 - 120 \text{ lb} = 894 \text{ lb/lb}$$

$$\text{Pada zat padat masuk } L_a = 800 + 50 = 850 \text{ lb larutan/jam dan } x_a = 800/850 = 0,941.$$

Minyak di dalam ekstrak = minyak masuk- 120 = 20 + 800 - 120 = 700 lb/jam, benzena dalam ekstrak 1310 +50 - 894 = 466 lb/jam.

$$V_a = 700 + 466 = 1.166 \text{ lb/jam}$$

$$y_a = 700 \text{ lb} / 1166 \text{ lb} = 0,600 ;$$

Jawaban untuk (a) sampai (d) adalah : (a) $y_a = 0,600$; (b) $x_b = 0,118$; (c) $L_b = 1.014$ dan (d). $V_a = 1.166 \text{ lb/jam}$, (e) untuk menentukan titik antara pada garis operasi dipilih $x_n = 0,50$ maka $L_n = \text{larutan yang terbawa} = 0,571 \times (2.000) = 1.142 \text{ lb/jam} .$

Neraca menyeluruh Persamaan 1-1 : $V_{n+1} = 1.166 + 1.142 - 850 = 1.458 \text{ lb/jam}$

Neraca minyak memberikan :

$$V_{n+1} y_{n+1} = L_a x_a + V_a y_a - L_a x_a = 1.142 (0.5) + 1.166 \times (0.6) - 800 =$$

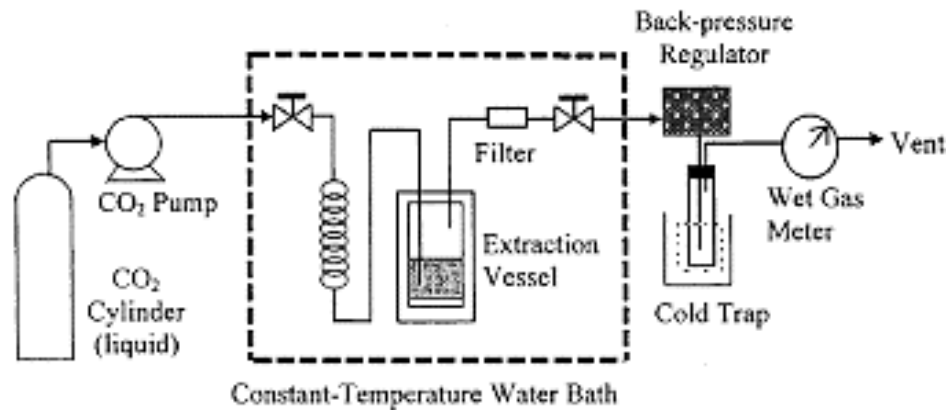
$$V_{n+1} y_{n+1} = 471 \rightarrow y_{n+1} = 471 \text{ lb} / 1.458 \text{ lb} = 0.323$$

Berdasarkan Gambar 13.8 yaitu grafik dioperoleh $N = 4$ kali

3. Ekstraksi Cair-Cair

Pemisahan antara zat cair yang memiliki titik uap yang berdekatan sangat sulit dipisahkan dengan metode destilasi, demikian juga affinitas kedua bahan mempunyai nilai yang bersamaan sehingga sulit dipisahkan dengan adsorpsi. Jika metode tersebut tidak berhasil maka dilakukan dengan menggunakan pelarut kimia, yang mempunyai sifat kelarutan dengan masing-masing zat cair berbeda artinya daya larut pada satu jenis ternyata tinggi dan daya larut pada bahan cair lainnya rendah. Akibat perbedaan daya larut dan affinitas pelarut dengan bahan yang dilarutkan memungkinkan penerapan proses ekstraksi. Contohnya penisilin hasil fermentasi mendapat kesulitan pemisahan dengan cara ekstraksi, tapi dapat diekstraksi dengan pelarut butil asetat yang telah diturunkan pHnya dengan tujuan agar koefisien partisi yang lebih memuaskan. Pelarut tersebut ditambahkan larutan buffer fosfat untuk mengekstrak penisilin dari pelarut air. Penisilin tersebut terdapat pada larutan air yang bersih, sehingga penisilin tersebut dipulihkan dengan cara pengeringan. Ekstraksi juga dilakukan untuk memulihkan asam asetat dari larutan encer. Dan destilasi dapat dikombinasikan dalam proses ekstraksi tersebut. Demikian juga halnya pada proses pemisahan minyak bumi walaupun struktur kimianya berbeda tetapi memiliki titik didihnya hampir sama memerlukan pemisahan bertahap. Fraksi minyak pelumas (titik didih $>300^\circ\text{C}$ diolah dengan pelarut polar bertitik didih rendah seperti fenol, furfural, atau methyl pirolidona untuk mengekstraksi senyawa senyawa aromatik dan menyisakan minyak yang mengandung terutama parafin dan naften. Produksi minyak bumi seperti gasolin (golongan alkana ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$), seperti gasolin (bensin) C5- C9; Kerosin (minyak lampu = C9-C14; Solar = C14- C18); Oli (C18-20) dan Avtur (C4-C6). Senyawa aromatik mempunyai karakteristik viskositas dan suhu yang kurang baik, tetapi tak dapat dipisahkan dengan destilasi karena titik didihnya tumpang tindih. Dalam proses lain yang serupa aromatik diekstraksi dari reformat katalitik dengan menggunakan pelarut polar yang titik didihnya tinggi, dan ekstraksinya kemudian didistilasi untuk mendapatkan benzena, toluena, dan ksilena murni untuk dijadikan bahan kimia antara. Pelarut yang sangat baik untuk ini ialah senyawa siklik $\text{C}_4\text{H}_8\text{SO}_2$ (sulfolane), yang mempunyai selektivitas tinggi terhadap aromatik dan volatilitasnya rendah (titik didih 290°C). Baik distilasi maupun ekstraksi dapat dipakai jadi pilihan, tetapi umumnya pilihan jatuh pada distilasi walaupun memerlukan pemanasan dan pendinginan. Dalam ekstraksi pelarut harus dipulihkan untuk digunakan kembali.

Kombinasi ekstraksi dan distilasi umumnya lebih mahal dari pada distilasi biasa tanpa kondisi operasi. Dalam hal ini ekstraksi lebih menyerupai adsorpsi gas daripada distilasi biasa. Dalam kebanyakan soal antara ekstraksi, pilihan antara metode metode itu harus didasarkan atas studi banding antara ekstraksi dan distilasi. Ekstraksi dapat digunakan untuk memisahkan lebih dari dua komponen, dan dalam beberapa penerapan tertentu, digunakan campuran pelarut, bukan satu pelarut saja, metode-metode yang lebih rumit ini tidak akan dibahas dalam teks ini. Ekstraksi minyak oilseed dengan CO_2 bertekanan dapat dilakukan dalam ekstraktor bertekanan tinggi dan akan menghasilkan minyak dan CO_2 dan dipisahkan dalam separator melalui reduksi tekanan (*reducer valve*), Gambar 13.4 dan 13.10



Gambar 13.10. Ekstraksi dengan menggunakan CO₂

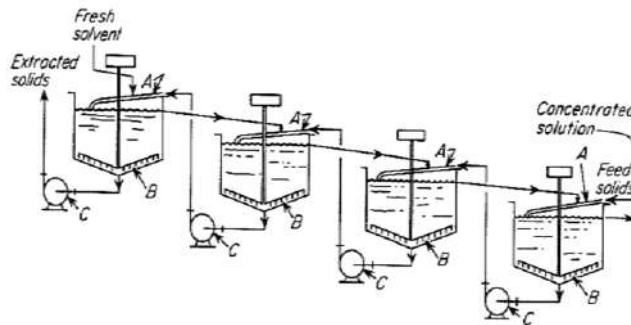
3.1 Peralatan Ekstraksi

Dalam ekstraksi zat cair - cair seperti halnya dalam adsorpsi gas dan distilasi kita harus membuat kontak yang baik antara dua fase untuk memungkinkan terjadinya perpindahan massa, dan setelah itu baru dipisahkan. Dalam absorpsi dan distilasi, pencampuran dan pemisahan itu mudah dan cepat saja. Sebaliknya pada ekstraksi, kedua fase itu mempunyai densitas yang hampir sama, sehingga energi yang tersedia untuk pencampuran dan pemisahan, jika kita menggunakan gravitasi kecil saja, dan jauh lebih kecil dari pada bila satu fase adalah zat cair dan satu lagi gas. Kedua fase itu biasanya sukar dicampurkan dan lebih susah lagi dipisahkan. Viskositas kedua fase itu pun relatif tinggi pula dan kecepatan linear di dalam kebanyakan peralatan ekstraksi rendah. Dalam beberapa jenis ekstrakstor, oleh karena itu, energi pencampuran dan pemisahan dimasukkan secara mekanik.

Peralatan ekstraksi dapat dioperasikan dengan sistem batch atau kontinu. Sejumlah umpan cair dapat dicampurkan dengan pelarut di dalam bejana aduk, lapisan-lapisannya kemudian diendapkan dan dipisahkan. Ekstraknya adalah lapisan pelarut berisi zat terlarut hasil ekstraksi dan rafinatnya adalah lapisan yang telah diambil zat terlarutnya. Ekstraksi (solut dan solvent), itu mungkin lebih ringan atau lebih berat dari rafinat (residu atau bahan pembawa dan), sehingga ekstrak itu terlihat keluar dari bagian atas alat dan bisa keluar dari bagian bawah. Operasi ini tentu bisa diulangi lagi bilamana diperlukan lebih dari satu kontak, tetapi bila kuantitas itu besar dan kontak yang diperlukan banyak, aliran kontinu mungkin akan lebih ekonomis. Kebanyakan peralatan ekstraksi bersifat kontinu ada yang menggunakan kontak tahap berulang ada pula yang kontak difrensial. Contoh jenis peralatan itu adalah pencampur pengendap (mixer settler), sebagai jenis menara vertikal dengan yang beroperasi dengan aliran gravitasi, ekstrakstor menara aduk, dan ekstrakstor sentrifugal.

3.2 Pencampur dan Pengendap

Untuk ekstraksi sistem batch proses pencampuran dan pengendap mungkin satu unit. Yang paling umum ialah tangki agitator (pengaduk) turbin atau propeller. Pada akhir siklus pencampuran, agitator dimatikan, dan lapisan-lapisan zat cair dibiarkan memisah dengan gravitasi. Ekstrak dan rafinat lalu dikeluarkan ke dalam dua penampang terpisah melalui saluran pembuang dari dasar tangki, saluran itu diperlengkapi dengan gelas pengamatan. Untuk aliran kontinu, pencampur dan pengendap harus merupakan alat-alat yang terpisah. Sebagaimana biasanya diperlukan beberapa kontak sambung pencampur-pengendap itu dioperasikan dengan aliran lawan arah, Gambar 13.11.



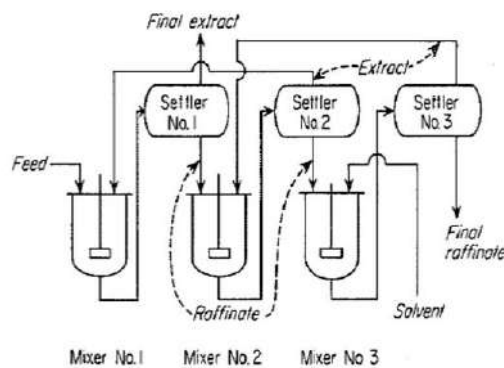
Gambar 13.11. Instalasi pengurasan lawan arah, A = meja cuci, B=sikat,C= pompa lumpur.

3.3 Menara Ekstraksi Semprot dan Menara Ekstraksi Isian Curah

Dalam menara ekstraksi berlangsung kontak diffrensial, bukan kontak tahap, pencampuran dan pengendapan berlangsung secara serentak dan sinambung. Dalam menara semprot atau sembur (*spray tower*) yang terlihat pada Gambar 13c. Zat cair yang lebih ringan dimasukkan dari bawah dan disebarkan dalam bentuk tetesan-tetesan kecil dengan nozzle A. Tetesan zat cair ringan itu naik melalui zat cair massa berat yang mengalir ke bagian bawah sebagai suatu arus kontinu. Tetesan itu mengumpul di atas dan menjadi arus zat cair ringan keluar dari puncak menara. Zat cair berat keluar dari bagian bawah Gambar 12 dan 13

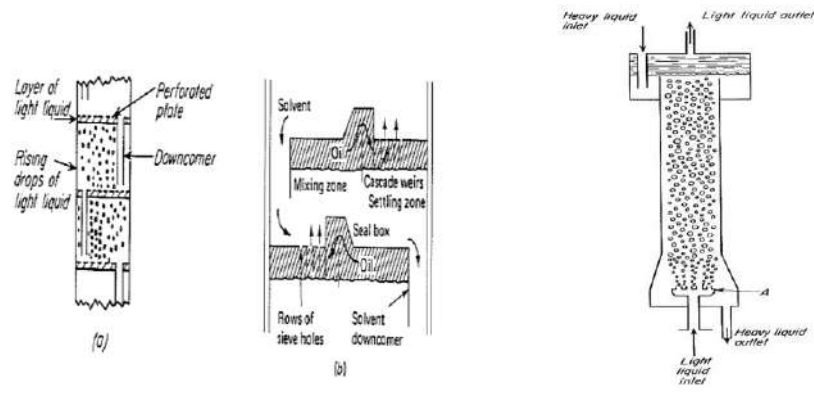
3.4 Menara Plat Perforasi (*Perforated Plate*)

Pendispersian ulang tetesan-tetesan zat cair dapat dilakukan dengan piring-piring berperforasi (berlubang-lubang) transversal (melintang) yang serupa dengan yang dipakai dalam menara distilasi piring tapis. Perforasi pada menara ekstraksi biasanya mempunyai diameter $1\frac{1}{2}$ sampai $4\frac{1}{2}$ mm. Jarak antara piring adalah 6-24 in (150 – 160 mm). Biasanya zat cair ringan merupakan fase yang terdispersi, dan *over flow channel* (saluran limbah) membawa fase berat kontinu dari piring yang satu ke piring berikutnya, Gambar 13.13a, zat cair ringan mengumpul dalam satu lapisan tipis di bawah setiap piring.



Gambar 13.12. Pencampur pengendap sistem ekstraksi

Dan mengalir sebagai jet kedalam lapisan zat cair berat yang tebal terdapat di atas piring. Modifikasi rancang itu terlihat pada Gambar 13.13b, dimana perforasinya hanya ada pada satu sisi piring saja yang ditempatkan berganti-ganti disebelah kiri piring yang satu dan disebelah kanan piring berikutnya.



Gambar 13.13. Ekstrak plat perforasi (a) perforasi piring penampang horizontal (b) kaskade dengan zone pencampuran dan zone pengendapan c) menara semprot dengan nozel pendistribusi zat cair ringan

3.5 Menara Sekat

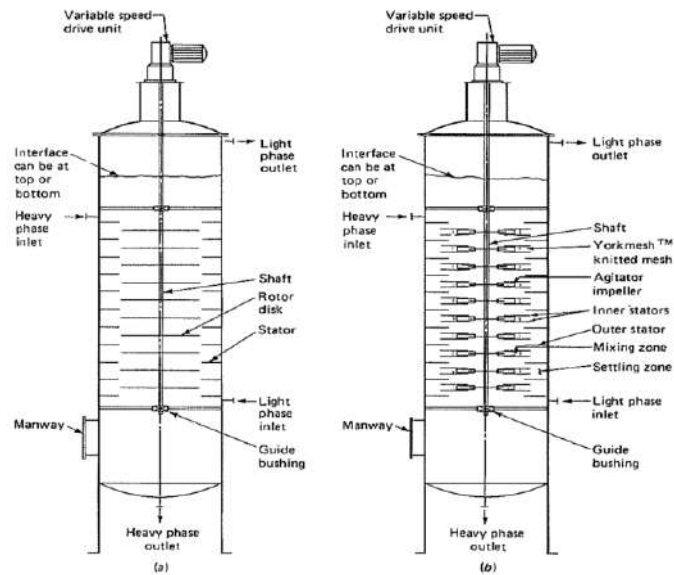
Menara ekstraksi jenis sekat mempunyai seperangkat piring sekat horizontal. Zat cair berat mengalir disekitar sekat lalu turun ke sekat berikutnya, zat cair ringan mengalir di bawah sekat dan menyemprot ke atas dari tepi sekat melalui fase berat. Susunan yang paling lazim ialah sekat piring dan donat, serta sekat segmen atau samping ke samping. Pada kedua jenis itu, jarak antara sekat ialah 100–150 mm. Menara sekat tidak mempunyai lubang-lubang kecil yang mungkin tersumbat atau membesar karena korosi. Menara ini cocok untuk menangani larutan-larutan kotor yang mengandung zat padat tersuspensi. Salah satu modifikasi menara piring dan donat bahkan mempunyai pengikis untuk membuang zat padat yang mengendap di atas sekat-sekat itu. Oleh karena aliran zat cair disini lancar dan teratur, tanpa ada perubahan kecepatan atau arah, menara sekat sangat bermanfaat untuk menangani zat cair yang mudah membentuk emulsi.

3.6 Ekstraktor Menara Aduk

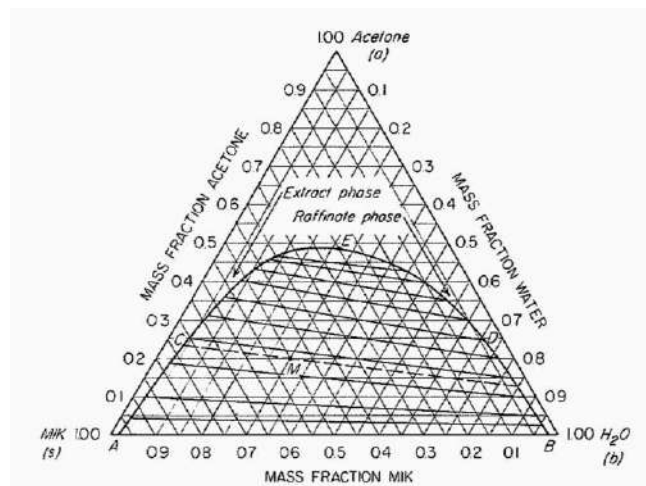
Pada pencampur-pengendap, energi mekanik diberikan dari luar untuk mencampur dua fase zat cair, tetapi menara ekstraksi yang diuraikan tidak yang demikian. Pada kontaktor piring putar (*Rotating disk contactor*) yang terlihat pada Gambar 13.14, zat cair itu didispersikan oleh piring-piring datar yang melemparkannya ke luar arah dinding menara, karena adanya cincin stator (diam) terdapat zone-zone tenang yang memungkinkan kedua fase itu memisah.

4. Keseimbangan dan Komposisi Fase

Hubungan keseimbangan di dalam ekstraksi zat cair pada umumnya lebih rumit dari pada operasi pemisahan lain, karena disini terdapat tiga komponen atau lebih, dan semua komponen terdapat dalam setiap fase, masing-masing dalam jumlah tertentu. Data keseimbangan umumnya digambarkan dalam diagram segitiga pada Gambar 13.15 dan 13.16. Sistem Aseton-air *methyl iso butil keton* (MIK) pada Gambar 13.15 merupakan contoh sistem tipe I, yang menunjukkan kemampuan campur sebagian dari pada pelarut MIK dan pengencer air, tetapi mampu campur penuh pelarut dan komponen yang akan diekstraksi (aseton). Anilin-n-heptane metilsiklohexane (MCH) membentuk sistem tipe II (Gambar 13.16) dimana pelarut anilina hanya mampu campur sebagian dengan kedua komponen lainnya.



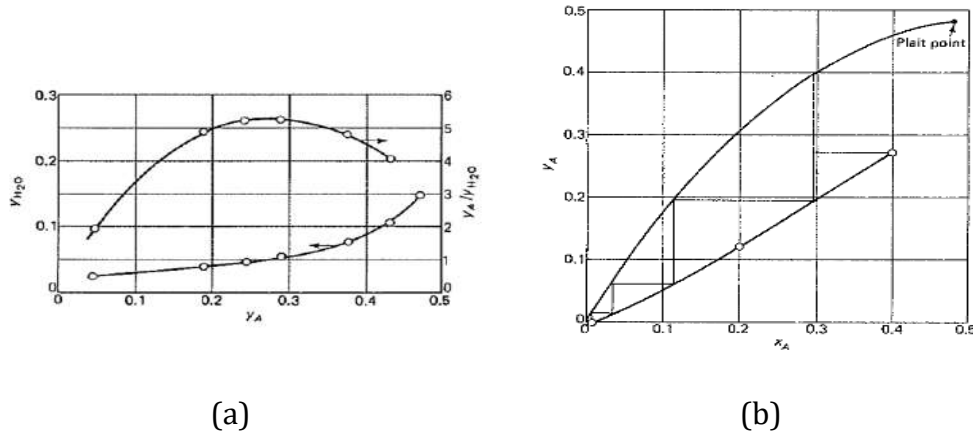
Gambar 13.14. Momen ekstraksi agitator (a) unit piring-putar (b) ekstraktor York-Scheible



Gambar 13.15. Sistem aseton MIK-Air pada suhu 25°C

Beberapa ciri dari proses ekstraksi dapat diilustrasikan dengan menggunakan Gambar 13.15. Bila pelarut ditambahkan pada campuran air dan aseton, komposisi campuran yang dihasilkannya terletak pada satu garis lurus antara titik pelarut dan titik campuran *binary* semula campuran. Bila pelarut cukup banyak ditambahkan sehingga seluruh komposisi masuk ke bawah kurva kubah, campuran itu akan memisah menjadi 2 fase. Titik-titik yang menunjukkan komposisi fase dapat dihubungkan dengan garis hubung (*tie line*) yang lurus melalui komposisi campuran menyeluruh. Garis ACE menunjukkan komposisi lapisan MIK (ekstrak) dan garis BDE menunjukkan komposisi lapisan air (rafinat). Dengan bertambahnya kandungan total aseton dari campuran itu, komposisi ke dua fase akan mendekati dan akan menjadi sama pada titik E, yang di namakan titik-jalin (*plait point*). Garis hubung pada Gambar 13.15 menanjak ke kiri dan fase ekstrak lebih kaya akan aseton dari pada fase rafinat. Berarti sebagian besar aseton akan dapat menggunakan sejumlah pelarut yang tidak terlalu banyak. Jika garis hubung itu horizontal atau menanjak ke kanan, ekstraksi masih bisa dilakukan tetapi harus menggunakan pelarut lebih banyak, karena ekstrak akhirnya tidaklah akan sekaya itu kandungan asetonnya. Rasio hasil aeton yang diinginkan terhadap pelarut (air) pada proses ekstraksi praktis harus tinggi. Kelarutan air di dalam MIK hanyalah 2 persen, tetapi jika konsentrasi aseton bertambah, kadar air dalam fase ekstrak bertambah pula. Dari data

Gambar 13.16 dipetakan untuk menunjukkan adanya pertambahan kadar air Y_{H_2O} secara berangsur-angsur dengan bertambahnya kadar aseton Y_A . Rasio Y_A/Y_{H_2O} mencapai maksimum pada kira-kira 27 fase bobot aseton dalam fase ekstrak. Konsentrasi aseton yang lebih tinggi bisa juga dicapai, tetapi jumlah air di dalam hasil ekstrak akan menjadi terlalu banyak sehingga operasi pada kondisi ini tidak dikehendaki. Komposisi fase yang dihasilkan dari ekstraksi suatu tahap bisa didapatkan dengan menggunakan diagram segitiga. Jika campuran yang mengandung 40 % aseton dan 60 % air dikontakkan dengan pelatut MIK yang massanya sama. Campuran menyeluruh ditunjukkan titik M pada Gambar 13.15. Satu garis penghubung baru digambarkan untuk menunjukkan bahwa fase ekstrak akan terdiri dari 0.232 aseton, 0.043 air dan 0.725 MIK



Gambar 13.16. Ekstraksi (a)Komposisi fase ekstrak untuk MIK-Aseton-H₂O; (b) Diagram McCabe untuk titik lipatan Ekstraksi

Contoh Soal 1: Sebuah instalasi ekstraksi lawan arah dimanfaatkan untuk mengekstraksi aseton (A) dari campurannya dengan air dengan bantuan metil isobutil keton (MIK) apda suhu 25°C. Umpannya terdiri dari 40 % aseton dan 60 % air. Palarut murni yang masanya sama dengan umpan digunakan untuk menekstraksi zat cair. Barapa tahap ideal yang diperlukan untuk mengekstraksi 99 % aseton yang diumpankan? Berapa komposisi ekstrak sesudah pelarutnya dipisahkan.

Penyelesaian:Gunakan data pada Gambar 13.15 untuk membuat grafik hubungan keseimbangan Y_A vs X_A yang merupakan kurva di sebelah atas pada Gambar 13.15. Titik termal garis operasi ditentukan dengan neraca bahan dengan memperhitungkan kuantitas air dalam fase ekstrak dan MIK di dalam fase rafinat. Dasar perhitungan $F=100$ satuan massa/jam. Umpamakan n = laju aliran H₂O di dalam ekstrak, m = laju aliran MIK di dalam rafinat. Untuk pemulihan 99 persen A. Ekstrak mengandung $0,99 \times 40 = 39,6A$ dan rafinat adalah $0.4A$. Aliran total adalah:

Pada Puncak $L_a = F = 100 - 40 A + 60 H_2O$

$$V_a = 39,6 + n H_2O + (100-m)MIK = 139,6 + n-m$$

Pada dasarnya $V_b = 100 MIK$

$$L_b = 0,44 + (60 - n)H_2O + mMIK = 60,4 + m-n$$

Oleh karena n dan m kecil dan sering saling menghapus dalam perjumlahan untuk menentukan V_a dan L_a , laju total ekstrak V_a ialah 140 sehingga $Y_{a,a} = 39,6/140 = 0,283$ nilai X_b kirakira $0,4/60 = 0,0067$. Perkiraan ini akan disesuaikan setelah nilai n dan m dihitung.

Dari Gambar 13.16 untuk $Y_a = 0,283$, $Y_{H2O} = 0,049$

$$N = \frac{0,049}{1-0,049} (39,6 + 100 - m)$$

Jika m sangat kecil maka $m = (0,049/0,951) \times (139,6) = 7,2$

Dari Gambar 13.15 untuk $X_A = 0,007$, $X_{MIK} = 0,02$

$$m = \frac{0,02}{1-0,02} \times (0,4 + 60 - n) \rightarrow 0,02/0,98 \times (0,4 + 52,8) = 1,1$$

Revisi $n = (0,049/0,951) \times (139,6 - 1,1) = 7,1$

$$V_a = 139,6 + 7,1 - 1,1 = 145,6$$

$$Y_{A,a} = 39,6/145,6 = 0,272$$

$$L_b = 60,4 + 1,1 - 7,1 = 54,4$$

$$X_{A,b} = 0,4/54,4 = 0,0074$$

Gambarkan titik (0,0074: 0) dan (0,40: 0,272) untuk menentukan ujung-ujung garis operasinya. Untuk menentukan titik antara garis operasi itu ambil $Y_A = 0,12$ dan hitung V dan L . Dari Gambar 13.14 $Y_{H2O} = 0,03$ dan $Y_{MIK} = 0,85$. Oleh karena fase rafinat hanya mengandung 2-3 % MIK, andaikan bahwa kuantitas MIK di dalam ekstrak ialah 100 sama seperti di dalam umpan.

$$100 = V Y_{MIK} \Rightarrow V = 100/0,85 = 117,6$$

Dengan neraca bahan dari pelarut masuk sampai titik m antara

$$V_b + L = L_b + V \Rightarrow L = 54,4 - 117,6 - 100 = 72,0$$

Neraca bahan A dalam bagian itu memberikan X_A ;

$$L X_A + V_b Y_b = L_b X_b + V Y_A \Rightarrow L X_A = 0,4 + 117,6 \times (0,12) - 0 \Rightarrow$$

$$X_A = 14,5/72 = 0,201$$

Nilai mungkin cukup teliti, tetapi nilai V , L dan X_A dapat dikoreksi. Untuk

$X_A = 0,201$, $X_{MIK} = 0,03$ (Gambar 13.14). Neraca MIK dari pelarut masuk sampai titik antara menghasilkan

$$V_b + L X_{MIK} = L_b X_{MIK} + V Y_{MIK} \Rightarrow V Y_{MIK} = 100 + 72 (0,03) - 1,1$$

$$\text{Nilai koreksi } V = 101,1/0,85 = 118,9$$

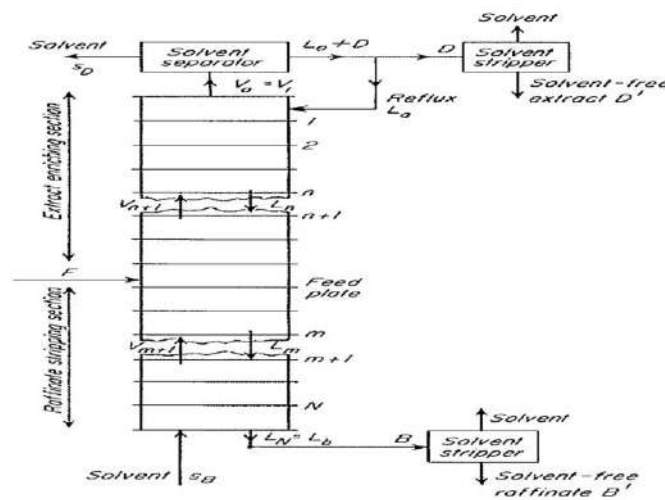
$$\text{Nilai koreksi } L = 54,4 + 118,9 - 100 = 73,3$$

$$\text{NILAI Koreksi } A = \frac{0,4 + 118,9(0,12)}{73,3} = 0,200$$

Petakan titik $X_A = 0,200$ dan $Y_a 0,12$ dan diperoleh garis operasi melengkung (Gambar 13.16b) dan didapat tahapan $N = 3$ dan 4

5. Ekstraksi Lawan Arah Sistem Tipe II Menggunakan Sistem Refluks

Sebagaimana destilasi dalam ekstraksi lawan arah juga dapat dimanfaatkan refluks untuk meningkatkan pemisahan komponen-komponen yang terdapat dalam umpan. Metode ini sangat efektif untuk menangani sistem tipe II, karena dengan kaskade (deretan terjun) yang diumpan dari tengah dan menggunakan refluks, kedua komponen dalam umpan itu dapat dipisahkan menjadi hasil yang hampir murni. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 13.18. Untuk lebih menegaskan analogi antara metode ini dengan fraksionasi, andaikan bahwa kaskade itu ialah satu kolom piring. Dalam metode ini pelarut harus dikeluarkan secukupnya dari ekstrak yang berasal dari kaskade (semburan-riam) untuk menjadi rafinat, sebagian dikembalikan ke kaskade sebagai refluks, sisanya dikeluarkan dari instalasi sebagai hasil. Rafinat dikeluarkan dari kaskade sebagai hasil bawah, dan pelarut segera dimasukkan langsung dari bawah kaskade. Rafinat bawah tidak ada yang dikembalikan sebagai refluks, karena jumlah tahap yang diperlukan akan tetap sama walaupun rafinat itu didaurkan kembali ke dasar kaskade atau tidak.



Gambar 13.17. Ekstraksi lawan arah dengan refluks

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott Steven (2017). Solubility Science: Principles and Practice University of Leeds, UK. P: 1-193.
- Albert Ibarz and Gustavo V. Barbosa-Cánovas (2002) Solid–Liquid Extraction In Unit Operations in Food Engineering. CRC PRESS, Boca Raton Washington, D.C p:773-806.
- Alonge Akindele Folarin and Nsuhoridem I. Jackson (2028) Extraction of Vegetable Oils from Agricultural Materials: A Review. Proceedings of the 12th CIGR Section VI International Symposium, held at the International
- Brown Granger G., Donald Katz, Alan Foust and Richard Schneidewind. (1956). Solid- Liquid Extraction in Unit Operation John Wiley Sons New York, p; 277-296.
- Carlson Kennet F (1996). Edible Oil & Fat Products, Vol 4: Bailey's Industrial Oil and Fat Edited by Y.H.Hui, John Wiley & Sons Inc. Canada pp: 679.
- International Center for Science and Technology UNIDO (2008). Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants : Edited Sukhdev Swami Handa Suman Preet Singh Khanuja Gennaro Longo Dev Dutt Rakesh. P. 1-259
- Keieni Yadessa Gonfa and Jorge Mario Marchetti (2017) Oil extraction from plant seeds for biodiesel production Norway. AIMS Energy Vol. 5, Issue 2, 316-340.
- Mariana Ionescu, Ungureanu Nicoleta, Biriş Sorin-Ştefan, Voicu Gheorghe and Dilea Mirela (2013) Actual Methods For Obtaining Vegetable Oil From Oilseeds POLITEHNICA University of Bucharest, Department of Biotechnical Systems 167-72.
- Martha J. M. Wells (2003) Principles of Extraction and the Extraction of Semivolatile Organics from Liquids: In Sample Preparation Techniques in Analytical Chemistry, Edited by Somenath Mitra ISBN 0-471-32845-6 Copyright 2003 John Wiley & Sons, Inc. p: 1-189
- McCabe Warren L, Julian C. Smith and Peter Harriot (1993) Leaching and Extraction In Unit Operation MacGraw-Hill Inc. New York p : 615- 642.
- Perry H. Robert, Don W. Green and James O Maloney (1997). Solid-Liquid Extraction In. Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh McGraw Hill Company. p:1-133
- Yara-Varon Edinson, Ying Li, Ramon Canela-Garayoa, Anne-Sylvie Fabiano-Tixier and Farid Chemat (2017). Vegetable Oils as Alternative Solvents for Green Oleo-Extraction, Purification and Formulation of Food and Natural Products. Molecules 2017, 22, 1474 p:1-24

BAB XIV

DEHIDRASI DAN PENGERINGAN

1. Pendahuluan

Pengeringan adalah kegiatan mengubah suatu material berbentuk padatan, semi-padatan ataupun cairan menjadi produk berbentuk padatan melalui penguapan cairan terkandung ke fase uap dengan pemberian panas yang juga disebut dengan dehidrasi. Pada kasus khusus seperti pada pengeringan beku, yang berlangsung pada titik triple cairan yang akan dikeluarkan, pengeringan terjadi dengan penyubliman fase padat langsung ke fase padat. Jadi, definisi ini tidak mencakup pengubahan suatu fase cair menjadi fase cair yang terkonsentrasi tidak melalui penguapan seperti; operasi pengurangan air secara mekanis seperti penyaringan, sentrifugasi, sedimentasi, ekstraksi superkritik air dari jel untuk menghasilkan *aerojel* yang sangat berongga (ekstraksi), atau yang disebut sebagai pengeringan cairan dan gas dengan menggunakan saringan molekular (adsorpsi). Perubahan fase dan pembentukan fase padat sebagai hasil akhir adalah ciri penting dari pengeringan.

Pengeringan mungkin merupakan satuan operasi teknik kimia yang paling tua dan paling tersebar. Lebih dari 400 jenis pengering telah dilaporkan pada referensi, dan sebagian dari padanya telah tersedia di pasar umum.

Pengeringan berbagai material diperlukan untuk memenuhi beberapa kebutuhan seperti :

- Kebutuhan untuk mempermudah penanganan material padatan basah akan dapat mengalir bebas.
- Pengawetan dan penyimpanan.
- Mendapatkan mutu hasil yang diinginkan.
- Mempermudah transportasi karena volume bahan mengecil.

Pengeringan adalah suatu operasi ilmiah yang meliputi perpindahan panas dan massa secara transien serta beberapa laju proses, seperti transformasi fisik atau kimia yang pada gilirannya dapat menyebabkan perubahan mutu hasil maupun mekanisme perpindahan panas dan massa. Perubahan fisik yang mungkin terjadi meliputi : pengerutan, penggumpalan, kristalisasi, transisi gelas (perubahan polimer dari bentuk cair menjadi padatan). Pada beberapa kasus dapat terjadi reaksi kimia ataupun biokimia yang diinginkan ataupun yang tidak diinginkan, yang dapat menyebabkan perubahan warna, tekstur, aroma, ataupun sifat lain padatan yang dihasilkan.

Pengeringan terjadi melalui penguapan cairan dengan pemberian panas ke bahan material panas. Panas dapat disediakan melalui pengering konveksi (pengering langsung), pengering konduksi (pengering sentuh), radiasi ataupun secara volumetrik menempatkan bahan material tersebut dalam medan gelombang elektromagnetik mikro (*microwave*), ataupun gelombang radio. Seluruh cara pengeringan, kecuali dielektrik (gelombang mikro atau frekuensi radio), menyediakan panas pada batas objek yang dikeringkan sehingga panas harus berdifusi kedalam peralatan melalui proses konduksi. Saat material padat basah dilakukan pengeringan termal akan timbul 2 proses secara bersamaan.

Transfer ataupun perpindahan energi (biasanya panas) dari lingkungan sekitar untuk menguapkan kelembaban permukaan. Perpindahan kelembaban internal ke arah permukaan padatan dan penguapan lanjutan adalah proses pertama yang terjadi.

Pergerakan air dalam material padatan dapat terjadi melalui salah satu atau lebih dari mekanisme perpindahan massa berikut :

- Difusi cairan, jika padatan basah berada pada suhu dibawah titik didih cairan tersebut.
- Difusi uap, jika cairan menguap dalam bahan.
- Difusi Knudsen, jika pengeringan dilakukan pada tekanan dan suhu yang sangat rendah.
- Difusi permukaan.
- Beda tekanan hidrostatik, jika laju penguapan internal melampaui laju pergerakan uap melalui padatan ke lingkungan sekitar.
- Kombinasi dari mekanisme di atas.

Secara umum, pengeringan konvensional dapat berlangsung dalam dua tahapan:

- Pemindahan air dari permukaan material menjadi uap. Proses ini tergantung pada kondisi di luar material seperti temperatur, humiditas udara dan kecepatan aliran udara, luas area permukaan, dan tekanan. Proses ini juga akan bergantung pada sifat-sifat air.
- Pemindahan/penghilangan kelembaban dari bagian dalam padatan. Proses ini merupakan fungsi dari karakteristik fisik dari padatan, temperatur, dan tingkat kelembaban padatan.

Proses pengeringan kedua merupakan faktor pengatur tingkat pengeringan, walaupun kedua proses itu selalu terjadi dalam sebuah siklus pengeringan.

1.1 Faktor Eksternal

Faktor eksternal berpengaruh saat benda padatan masih ditutupi oleh lapisan air bebas (air yang tidak terikat pada padatan) di permukaannya. Pada kondisi ini variabel eksternal yang paling penting antara lain adalah humiditas, temperatur, laju dan arah aliran, bentuk fisik dari padatan dan agitasi yang diinginkan.

Kondisi pengeringan eksternal adalah termasuk yang paling penting pada permulaan dari proses pengeringan, saat kelembaban yang tidak terikat dihilangkan. Pada beberapa contoh kasus, contohnya pada material seperti kayu dan keramik, dimana perlu diperhatikan munculnya penguapan, penyusutan yang berlebihan pada permukaan setelah kelembaban awal dipindahkan yang akan menciptakan gradien kelembaban yang tinggi antara bagian dalam material dengan permukaannya. Hal ini akan menyebabkan pengeringan yang berlebihan dan penyusutan yang berlebihan, sehingga dapat menimbulkan tegangan yang tinggi dalam material tersebut, yang menimbulkan keretakan dan pelipatan. Pada kasus ini, perlu adanya pengurangan laju pengeringan dengan menggunakan aliran udara yang mempunyai kelembaban relatif yang tinggi, sementara itu juga menjaga laju pengeringan aman yang tertinggi dari pergerakan kandungan kelembaban internal karena perpindahan panas.

Penguapan pada permukaan tergantung dari difusi uap dari permukaan padatan ke lingkungan sekitar, yang melewati lapisan udara yang tipis bersentuhan dengan permukaan. Karena pengeringan pada tahap ini berhubungan dengan perpindahan massa saat sebuah gas dibawa bersentuhan dengan cairan yang tidak terlarut, hal yang penting untuk diingat adalah karakteristik kesetimbangan dari padatan basah. Juga karena perpindahan massa itu biasanya bersamaan dengan perpindahan panas, perlu diingat juga pertimbangan tentang karakteristik entalpi.

1.2. Faktor Internal

Setelah pengeringan tahap 1 selesai, maka air bebas di permukaan padatan sudah habis dikeringkan sehingga terjadi perbedaan kelembaban yang tinggi antara permukaan padatan dan bagian dalam padatan yang masih basah. Selain itu juga terjadi perbedaan temperatur antara medium yang basah dengan medium yang kering, sehingga gradien temperatur terjadi pada medium. Hal ini menyebabkan perpindahan air dari bagian dalam ke permukaan, yang berjalan dengan cara difusi, gaya kapiler, tekanan internal karena penyusutan selama pengeringan.

1.2.1. Kadar Kelembaban Bahan

Kadar kelembaban suatu bahan padatan basah menimbulkan tekanan uap sampai pada tingkat tertentu tergantung dari sifat kelembaban, sifat padatan dan temperatur. Suatu padatan basah yang terkena aliran gas/udara akan terus menerus kehilangan kelembabannya sampai dengan tekanan uap kelembaban dalam padatan sama dengan tekanan uap parsial pada gas/udara tersebut. Padatan dan gas tersebut bisa dianggap berada dalam kesetimbangan, dan kandungan kelembaban dalam padatan disebut kesetimbangan kandungan kelembaban pada kondisi yang berlaku. Setelah saat ini, maka pengaruh dari aliran udara tidak akan ada terhadap pengurangan kelembaban dari padatan tersebut. Kelembaban padat itu dapat dikurangi dengan cara mengalirkan udara/gas dengan humiditas yang lebih rendah. Suatu padatan dapat diklasifikasi sebagai berikut :

Medium nonhigroskopik berpori dan berkapiler, seperti pasir mineral lebur, kristal nonhigroskopik partikel polimer, dan beberapa keramik. Kriteria bahan ini adalah sebagai berikut;

- Ada pori-pori yang terlihat jelas, pori-pori berisi cairan jika medium tersebut berada dalam keadaan saturasi, dan akan berisi gas/udara jika dalam keadaan kering.
- Jumlah kelembaban terikat secara fisik diabaikan, karena material nonhigroskopik.
- Medium tidak menyusut selama dikeringkan.

Medium higroskopik berpori, seperti tanah liat, saringan molekuler, kayu dan bahan tekstil. Kriteria bahan ini adalah sebagai berikut :

- Terdapat pori-pori yang terlihat jelas.
- Terdapat dalam jumlah besar cairan terikat secara fisik.
- Adanya penyusutan pada kondisi awal pengeringan.

Medium koloidal (tidak berpori) seperti sabun, lem beberapa polimer (contohnya nilon), dan beberapa produk makanan. Kriteria bahan ini :

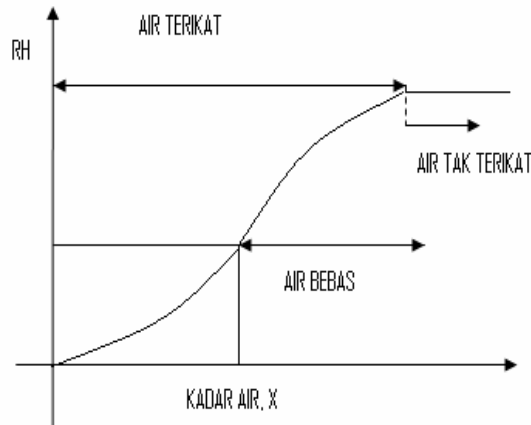
- Tidak ada pori-pori (penguapan hanya terjadi pada permukaan saja).
- Semua cairannya terikat secara fisik.

Volume dari suatu benda akan berubah selama proses pengeringan, maka kelembaban tidak bisa dirumuskan dalam bentuk volume. Kandungan kelembaban suatu produk biasanya dinyatakan dalam bentuk kandungan kelembaban (*moisture*) perberat kering dari padatan.

Air terikat didalam padatan oleh karena tertahan oleh kapiler, karena solusi dalam struktur seluler, karena solusi dalam padatan, atau karena adsorpsi kimia dan fisika pada permukaan padatan.

Pada dasarnya terdapat dua jenis kelembaban pada padatan yaitu :

- i). Kelembaban tak terikat pada sebuah material higroskopis adalah kelembaban berlebih yang berada pada keadaan kesetimbangan antara kelembaban dan humiditas saturasi. Suatu kandungan kelembaban dalam medium nonhigroskopis adalah kelembaban tak terikat.
- ii). Kandungan kelembaban bebas adalah kandungan kelembaban yang bisa dipindahkan pada setiap temperatur dan terdiri dari kelembaban terikat dan tidak terikat.



Gambar 14.1. Grafik Kelembaban relatif terhadap kadar air

1.2.2. Difusivitas

Difusivitas uap air adalah salah satu sifat yang penting dan dibutuhkan dalam perhitungan serta pemodelan pengeringan bahan. Uap air *adsorption* atau *desorption* terjadi selama penyimpanan maupun pada saat rehydration. Difusi menyebar ke seluruh material menuju ke lingkungan. Difusi yang terjadi dari komponen A ke medium B terjadi karena perbedaan konsentrasi A dalam arah y. Fenomena ini biasa disebut dengan ordinary diffusion (difusi alami). Fluks massa (J_{AB}) difusi dapat di perkirakan dengan menggunakan hukum pertama Fick's diffusion sebagai berikut :

$$J_{AB} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dy} \text{-----(1)}$$

Dimana :

J_{AB} = rate difusi molekul, $\text{kmol}/(\text{s}^2\text{m})$

D_{AB} = koefisien difusi, m^2/s

dC_A/dy = kmol/m^3 perbedaan konsentras A, $\frac{\text{kmol}/\text{m}^3}{\text{m}}$

Perbandingan yang konstan didefinisikan sebagai *difusivitas* (D_{AB}) dan dalam satuan m^2/s . Dua tipe umum difusi adalah difusi molecular dan difusi eddy. Difusi molekular dapat didefinisikan sebagai transport atau perpindahan dari material pada sebuah skala molekular melewati fluida yang tidak mengalir dalam sebuah arah yang tegak lurus terhadap aliran utama. Sebaliknya, difusi eddy lebih dikonsentrasikan pada transfer masa melibatkan aliran turbulen dalam fluida. Prediksi yang akurat dari difusi uap air mengarah pada pengeringan yang optimal dengan menggunakan model komputer yang cukup rumit. Karena prediksi secara teori dari difusi uap air dalam material bahan yang kompleks sangat sulit, banyak dari pekerjaan dibatasi pada estimasi percobaan dari difusi uap air. Walaupun data difusi uap air efektif dari berbagai macam material umpan tersedia dalam literature, dalam banyak kasus data yang dilaporkan adalah sebagai sebuah fungsi kandungan uap air dan temperatur. Dibatasiya informasi yang disediakan seperti porositas, jenis dari medium, dan sruktur yang mempengaruhi difusi. Dengan metode analitik dan metode numerik yang luas digunakan dalam mengestimasi atau memperkirakan difusi uap air.

Efektivitas dari difusi uap air

Operasi dari aliran massa dilakukan dengan transfer zat dari aliran satu ke aliran yang lain. Banyak jenis proses aliran massa dihubungkan kepada pengolahan pangan seperti dehidrasi, destilasi, ekstraksi pelarut, dan proses pada membran. Dehidrasi adalah sebuah proses perpindahan panas, masa, dan momentum. Teori tentang pengeringan terus dikembangkan beberapa tahun belakangan ini. Proses perpindahan uap air dapat dijelaskan dengan menggunakan mekanisme dari difusi molekul, pergerakan kapiler, difusi cairan melewati lubang pori dari benda solid, difusi uap yang melewati udara dalam pori-pori, rangkaian aliran penguapan dan kondensasi, aliran hidrodinamik, dan mekanisme lainnya. Ketika perbedaan mekanisme transport terjadi, dan sangat sulit untuk memisahkan antara sebuah mekanisme, tingkatan dari pergerakan uap air digambarkan oleh sebuah effective difusivitas, D_{eff} , walaupun mekanisme ini sama sekali tidak teoritis tetapi ini sangat praktis, dan cukup baik untuk menggambarkan transport uap air. Hukum kedua Fick difusi sering digunakan untuk menggambarkan sebuah proses difusi uap air :

$$\frac{\delta m}{dt} = D_{eff} V^2 m \text{ -----(2)}$$

Dimana, m adalah kandungan uap air (dry basis), t adalah waktu (s) dan D_{eff} adalah difusi uap air (m^2 /s).

Pada situasi lain, produk makanan diasumsikan sebagai satu dimensi dan pada mulanya adalah memiliki kandungan uap air yang sama. Asumsi lain yang dimasukkan dalam analisa difusi adalah pergerakan internal dari uap air sebagai sebuah tahanan utama (tidak ada tahanan luar atau external dari pergerakan uap air), tidak ada penciutan selama proses pengeringan dan mengabaikan efek dari eksternal dan internal perpindahan panas. Solusi dari persamaan Fick's untuk benda yang tidak terbatas :

$$m_o = \frac{m-m_e}{m_o-m_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+)^2} \exp \left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{L^2} \right] \text{(3)}$$

Dimana, m_o adalah rasio uap air tidak berdimensi, m adalah rata-rata kandungan uap air dari material basah dengan dry basis (kg/kg), m_o adalah kandungan uap air awal dengan dry basis (kg/kg), m_e adalah kesetimbangan kandungan uap air dengan dry basis (kg/kg), L adalah ketebalan dari specimen. Dalam beberapa kasus silinder dan bola yang infinite, dapat ditulis solusinya :

$$m_o = \frac{m-m_e}{m_o-m_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{b^2} \exp \left[-(2n-1)^2 \frac{b_n^2 D_{eff} t}{r_c^2} \right] \text{ -----(4)}$$

Dimana, b_n , $n=1,2,...$ adalah konstan dan r_c adalah jari-jari dari silinder (m) dan r_s adalah jari-jari bola (m).

$$m_o = \frac{m-m_e}{m_o-m_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{4}{n^2} \exp \left[-n^2 \frac{b_n^2 D_{eff} t}{r_s^2} \right] \text{ -----(5)}$$

Metode Pengukuran

Banyak dari metode percobaan digunakan untuk mengestimasi difusi dari uap air. [Zogza et al, 1994] mengklasifikasikan metode yang digunakan untuk memperkirakan difusi uap air termasuk :

- Metode penyerapan.
- Sorption kinetik.
- Kurva jarak konsentrasi.
- Metode pengeringan.

Dari banyak percobaan yang dilakukan paling banyak dilakukan dengan menggunakan metode pengeringan dan akan dijelaskan seperti di bawah ini. Metode Analitik digunakan beberapa tahun belakangan ini oleh beberapa peneliti. Metode ini berbasis pada persamaan 2, dimana ini adalah solusi analitik dari persamaan 2 untuk geometri yang tidak terbatas. Bentuk geometri lain pun dapat digunakan, menghasilkan rumus yang hampir serupa persamaan 4 dan 5. Perubahan difusi berhubungan erat dengan uap air dan dapat diperkirakan dengan sebuah analisa dengan menggunakan data pengeringan. (uap air vs waktu), mengaplikasikan sebuah metode :

- Metode slope
- Metode optimation computer
- Metode system teratur.

Difusi dari uap air, penentuan hasilnya dengan memplot rasio uap air yang tidak berdimensi m_0 (persamaan 5 diperoleh dari data percobaan) diplot terhadap waktu pada diagram semilogaritmik. Di plot dengan garis lurus menurun, tetapi ada deviasi pada pengeringan yang terlambat. Plot dari garis lurus dianggap sama untuk kuantitasnya ($\pi^2 D_{eff}/L^2$) dalam sebuah geometri, yang mana bentuk dari difusi ditentukan. L adalah setengah ketebalan dari satu bidang diukur pada saat awal percobaan.

Dalam kasus yang umum dari kurva pengeringan nonlinier, metode lembah dapat digunakan untuk memperkirakan efektifitas difusi uap air pada berbagai macam kandungan uap air. Ilustrasi metode ini dapat kita lihat pada Gambar 14.1. Kurva percobaan pengeringan log (m_0) vs t dibandingkan dengan kurva pengeringan teoritis untuk memberikan bentuk pada material.

Efektifitas dari difusi uap air pada ratio uap air dapat diperkirakan melalui persamaan di bawah ini :

$$D_{eff} = \frac{(dm^*/dt)_{exp}}{(dm^*/dFo)_{teoritis}} L^2 \text{ -----(6)}$$

Metode diatas tidak memperhitungkan perubahan volume karena proses penyusutan selama proses pengeringan.

Keseimbangan Kadar Air

Jika suatu bahan ditempatkan pada suatu ruangan terbuka yang berisi udara pada waktu yang cukup lama, maka tekanan parsial uap air di udara akan mencapai keseimbangan dengan tekanan parsial uap air dalam bahan. Kadar air keseimbangan terjadi pada saat kadar air suatu bahan higroskopik seimbang dengan kelembaban relatif udara. Nilai keseimbangan ini sangat bergantung pada kelembaban dan temperatur lingkungan tersebut. Selain itu, juga tergantung pada karakteristik masing-masing bahan dan faktor kematangan produk.

Teori Psikrometrik

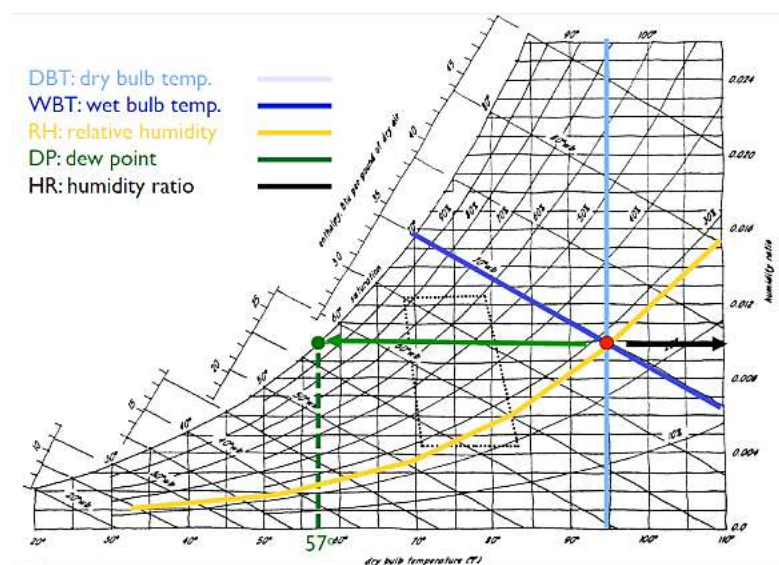
Dalam bidang pengeringan, udara digunakan sebagai : (1) Media pengantar panas, (2) Sumber panas, (3) Sumber oksigen untuk pembakaran dan (4) Pembawa uap yang akan digunakan sebagai media proses.

Menurut Henderson and Perry (1970), komposisi persentase volume udara kering pada permukaan laut adalah N_2 78.03 %, O_2 20.99 %, A 0.94 %, CO_2 0.03 %, H_2 0.01 %, Ne 0.00123 %, Kr 0.0005 %, Xe 0.000006 %. Untuk perhitungan teknik, udara dinyatakan hanya terdiri dari Nitrogen dan Oksigen. Udara pada atmosfer tidak pernah benar-benar kering. Udara pada atmosfer normal merupakan campuran udara kering dan uap air. Untuk mengetahui persoalan mengenai campuran udara uap air yang mencakup pemanasan, pendinginan, kelembaban dan gabungannya dapat dipecahkan dengan menggunakan grafik psikrometrik. Grafik Psikrometrik atau *Psychrometric Charts*. Menurut Henderson and Perry (1970), Grafik psikrometrik Gambar 14.2, yang menyajikan sifat – sifat fisika dan panas udara atmosfer, yakni:

- *Dry-Bulb Temperature* atau temperatur bola kering (TBK) adalah temperatur udara sebenarnya.
- *Wet bulb temperature* atau temperatur bola basah (TBB) adalah temperatur pengembunan campuran udara – uap air bila dipergunakan untuk pengeringan (temperatur campuran udara dan uap air dalam keadaan jenuh, RH 100 %).
- *Dew-Point Temperature* atau titik embun adalah temperatur pengembunan campuran udara – uap air jika didinginkan.
- *Volume Lengas* atau Humid volume adalah volume campuran udara-uap air pada kondisi kelembaban relatif dan temperatur tertentu.
- *Relative Humidity* adalah perbandingan (%) antara tekanan uap air parsial dengan tekanan uap air jenuh dalam udara tertentu pada tekanan dan temperatur yang sama. *Relative Humidity* disebut juga Kelembaban relative atau Kelembaban nisbi atau RH.
- *Specific Humidity* adalah banyaknya ponds (lb) uap air per ponds (lb) udara kering dalam campuran udara tertentu *Specific Humidity* disebut juga kelembaban absolute atau kelengasan mutlak atau *humidity ratio* atau *absolute humidity* simbolnya H .
- *Udara jenuh* yaitu batas jumlah uap air di udara yang dapat dipegang pada temperatur tertentu. Udara yang dipegang sama banyaknya dengan uap airnya, di sebut udara jenuh.

2. Mekanisme Pengeringan

Proses pengeringan dengan cara penguapan air yaitu menurunkan R_H dengan cara mengalirkan udara panas disekeliling bahan, sehingga tekanan uap air bahan menjadi lebih besar daripada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan inilah yang menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara. Proses pengeringan pada bahan udara panas dialirkan dapat dianggap sebagai suatu proses adiabatik. Panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan hanya diberikan oleh udara pengering. Ketika udara pengering menembus bahan basah sebagian panas sensibel udara pengering diubah menjadi panas laten sambil menghasilkan uap air. Sebelum pengeringan tekanan uap air bahan sama dengan tekanan uap air udara (dalam keadaan seimbang). Saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan melewati permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air bahan, terutama pada daerah permukaan sejalan dengan kenaikan suhunya. Pada saat itu terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung (terjadi proses pengeringan pada permukaan bahan).



Gambar 14.2. Psychrometric chart dalam penetapan dew point dan humidity ratio (HR)

Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan maka proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi

sampai akhirnya setelah air bahan berkurang tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya.

2.1 Pengeringan dalam Grafik Psikometrik

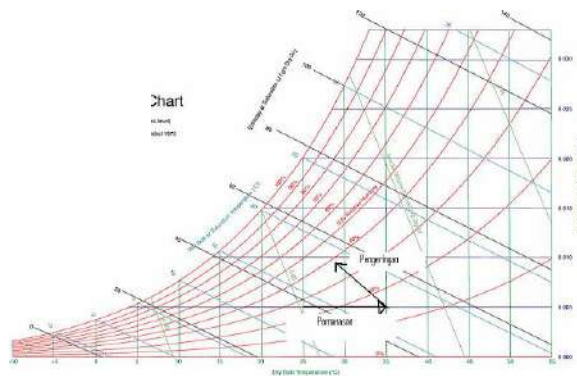
Proses pengeringan terjadi pada dua tahap yaitu proses pemanasan dan proses pengeringan. Proses pemanasan pada awalnya memanasi udara sekitar lingkungan bahan dengan tujuan menurunkan kelembaban relatif dari udara sekitar. Sedangkan pengeringan dilakukan untuk menurunkan temperatur udara karena terjadi perpindahan panas dari udara ke dalam produk, Gambar 14.3.

Kandungan Lembab

Menurut Ashrae Fundamentals Handbook, ada 2 cara menyatakan kadar air dalam bahan yaitu : Basis kering (dry basis, d.b.) yang diperoleh dengan membagi berat air dalam bahan terhadap berat kering bahan pangan.

$$d.b = \frac{M_w}{M_d} \times 100 \% \text{ -----(7)}$$

Dimana : M_w = Massa air (kg)
 M_d = Massa kering bahan (kg)



Gambar 14.3. Proses Pengeringan dalam grafik *psychrometric*

Basis basah (wet basis, w.b.) yang diperoleh dengan membagi berat air dalam bahan terhadap berat total bahan pangan.

$$w.b = \frac{M_w}{M_d + M_w} \times 100 \% \text{ -----(8)}$$

Hubungan antara basis basah dan basis kering dapat dilihat pada persamaan dibawah ini :

$$d.b = \frac{w.b}{1 - w.b} \times 100\% \text{ -----(9)}$$

Penentuan Kadar Lembab (Moisture content)

Keadaan awal (sebelum pengeringan dilakukan)

Massa awal bahan = X , Kadar air awal = $M_o \rightarrow$ Massa air = $M_o \times X$

$$\text{Massa kering} = X - (M_o \times X) \text{ -----(10)}$$

Keadaan akhir (Setelah pengeringan dilakukan)

Massa akhir = Y , Kadar air akhir = $M_f \rightarrow$ Massa air = $M_f \times Y$

$$\text{Massa kering} = Y - (M_f \times Y) \text{ -----(11)}$$

Karena massa kering besarnya selalu tetap maka :

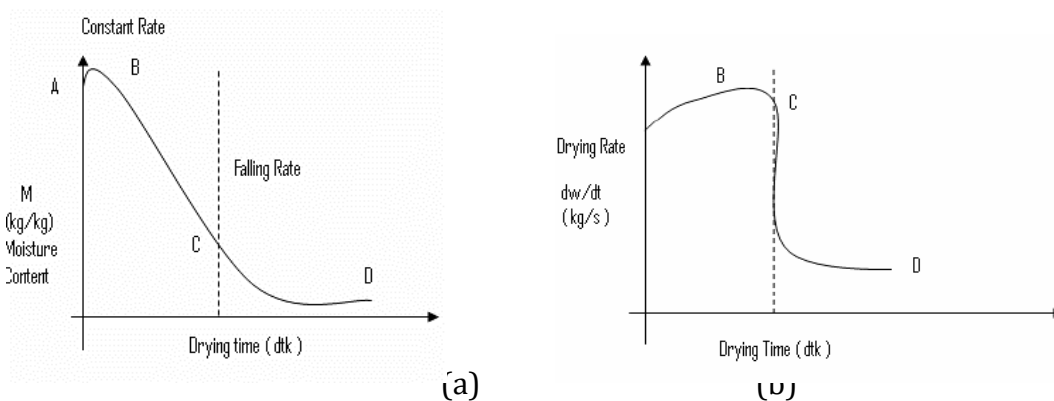
$$X - (M_o * X) = Y - (M_f * Y) \rightarrow X - (1 - M_o) + Y - (1 - M_f)$$

$$Y = \frac{1 - M_o}{1 - M_f} \times X$$

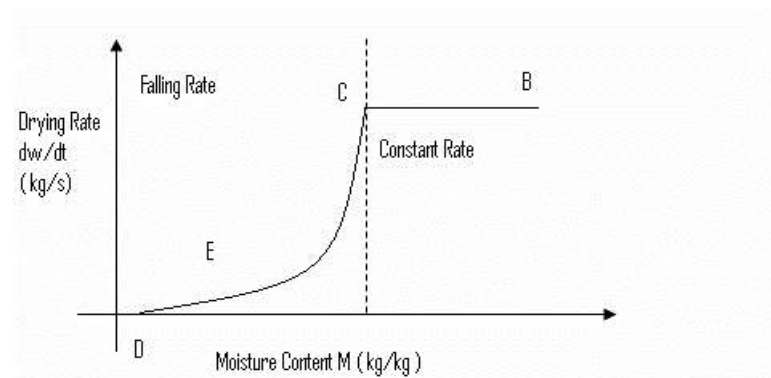
Jumlah air yang diuapkan = $X - Y$

2.2 Laju Pengeringan

Laju pengeringan sebanding dengan perbedaan tekanan uap air didalam bahan pangan dan pada permukaan bahan pangan. Karena adanya migrasi air dipermukaan bahan pangan menuju udara maka konsentrasi air dalam bahan pangan semakin berkurang. Hal ini akan mengakibatkan turunnya perbedaan tekanan uap. Karena perbedaan tekanan uap semakin menurun maka penguapan air dalam permukaan bahan juga akan berkurang, hal ini akan mengakibatkan kecepatan perpindahan air dari bagian dalam bahan menuju permukaan juga akan berkurang. Proses pengeringan dapat dibagi menjadi 2 periode yaitu laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun.



Gambar 14.3. a). Grafik kadar air sebagai fungsi waktu. b). Grafik laju pengeringan terhadap waktu.



Gambar 14.4. Grafik Laju pengeringan terhadap kadar air.

Gambar 14.3a menunjukkan kadar air sebagai fungsi waktu untuk keadaan pengeringan suatu bahan. Bagian A-B pada semua grafik menunjukkan periode pemanasan permukaan (*warming up*) sedangkan bagian B-C adalah laju pengeringan konstan dimana kadar air dari dalam bahan akan bergerak menuju permukaan dan akan memenuhi permukaan hingga mencapai kejenuhan. Kurva C-D adalah periode penurunan yaitu terjadi proses penguapan terhadap kadar air pada permukaan bahan yang diikuti dengan perpindahan air dari dalam bahan menuju permukaan.

Kadar air pada titik C disebut dengan kadar air kritis, yang nilainya tergantung pada jenis material. Kadar air kritis sendiri adalah suatu kadar air pada bahan saat laju pengeringan pertama kali mulai mengalami penurunan. Didalam periode konstan air bergerak dalam bahan secara cepat menuju keadaan jenuh dipermukaan. Jika panas diberikan secara konveksi dari udara panas saja, maka temperatur permukaan merupakan temperatur bola basah (proses terjadi pada temperatur bola basah yang menjadi salah satu dari bagian laju pengeringan konstan).

Pada periode penurunan yang ditunjukkan oleh kurva C-D dapat dibagi pada 2 zona yaitu zona tempat terjadinya perpindahan air dari permukaan bahan menuju udara sekitar dan zona perpindahan dari dalam bahan menuju permukaan material. Zona pertama (kurva C-E pada Gambar 14.3) terjadi sesaat setelah melalui titik kritis C.

Penurunan laju pengeringan disebabkan oleh penurunan luas permukaan basah. Bagian kering dari material akan timbul ke udara mengurangi jumlah penguapan per satuan luas permukaan. Laju pengeringan pada zona ini berbentuk linear dan dapat dilihat pada bagian C-E pada 14.4. Sedangkan pada zona kedua dimana air didalam inti akan bergerak mengontrol laju pengeringan seperti ditunjukkan pada kurva D-E pada Gambar 14.3. Dalam pengeringan untuk menghasilkan kadar air yang rendah, periode ini mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam menentukan laju pengeringan. Pergerakan air didalam inti disebabkan oleh beberapa mekanisme seperti difusitas, gradien tekanan, laju aliran kapiler dan sebagainya. Pada benda berpori, pengeringan sering terjadi oleh penguapan didalam bahan dibandingkan di permukaan.

Aktivitas Air

Dalam mengeringkan beberapa bahan yang membutuhkan perhatian higienis yang khusus seperti bahan pangan dan jamu herbal, ketersediaan air dalam pertumbuhan mikroorganisme, spora dan penyertaan dalam beberapa reaksi kimia menjadi perhatian yang cukup penting dalam pengeringan jamu herbal.

Ketersediaan air ini tergantung pada aktivitas air (a_w) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial air pada suatu bahan yang basah terhadap tekanan keseimbangan uap air pada suhu yang sama. Jika nilai a_w (*water activity*) diturunkan dengan cara pengeringan, maka pertumbuhan mikroorganisme dapat dihambat, cara lain untuk menurunkan harga konstanta aktivitas air adalah dengan menggunakan suatu material pengikat air seperti gula dan sebagainya.

3. Tipe Pengeringan

3.1. Pengeringan Matahari

Pengeringan tradisional dengan menggunakan sinar matahari (*sun drying*) atau yang disebut dengan pengeringan tradisional. Pengeringan tradisional dapat menggunakan panas dari matahari yang dipengaruhi cuaca dan iklim. Daerah dengan hari hujan tidak menentu, menjadikan pengeringan dengan metode ini kurang efektif. Hal ini di atasi dengan membentuk ruangan pengeringan yang ditutup dengan atap PVC yang tembus cahaya atau Pengering Rumah Kaca, sehingga pada hari hujan tidak mengganggu. Hasil pertanian di daerah tropis pengeringan dilakukan dengan matahari seperti pengeringan padi, jagung, kopi dan biji-bijian lainnya. Sinar matahari langsung dapat menurunkan kualitas dari komoditas yang dikeringkan. Sinar atau cahaya dapat merusak kandungan vitamin dan warna bahan.

Dengan permasalahan di atas maka dilakukan pengembangan pengeringan dengan menggunakan teknologi seperti pengeringan dengan panas, vacuum, hembusan angin, dan mikro wave. Pengeringan dengan sinar matahari langsung dikembangkan dengan cara membuat rumah kaca, yang kemudian dilanjutkan dengan pemanfaatan solar radiasi solar radiasi, terutama untuk hasil pertanian.

3.2. Batch Proses

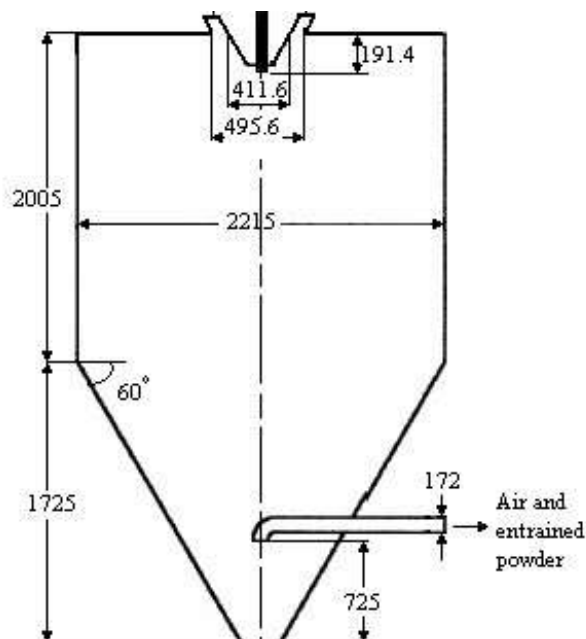
Alat pengering ini bekerja secara batch (bertahap), artinya bergantian yaitu setelah berlalu satu proses, diulangi lagi dengan bahan yang lain. Alat Pengering Kabinet (Gambar 14.5), merupakan alat pengering batch yang banyak digunakan dalam pengeringan pangan dan non pangan. Sumber panas dari elektrik atau dengan burner gas.



Gambar 14.5. Alar pengering kabinet

3.3. Silo Pengering

Instalasi menara pengering sering disebut dengan silo pengering umumnya digunakan untuk biji-bijian, dengan menggunakan alat panas (*heater*) berbentuk koil pipa uap atau hembusan udara panas. Instalasi tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga bahan dalam silo tidak menggumpal akibat kandungan air dan tekanan bahan. Untuk itu di dalam dipasang sekat bentuk payung bentuk kerucut menghindari pemadatan bahan (Gambar 14.6), yang banyak digunakan dalam industri minyak nabati.



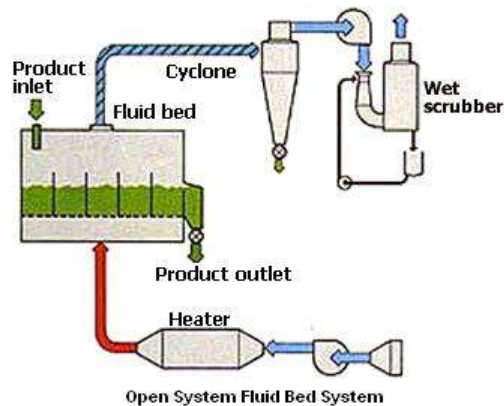
Gambar 14.6. Silo Pengering

3.4. Proses Kontinu

Instalasi proses kontinu mengeringkan bahan secara kontinu, berarti bahan yang akan dikeringkan bergerak sedang sumber panas tetap.

a). *Fluidized bed System*

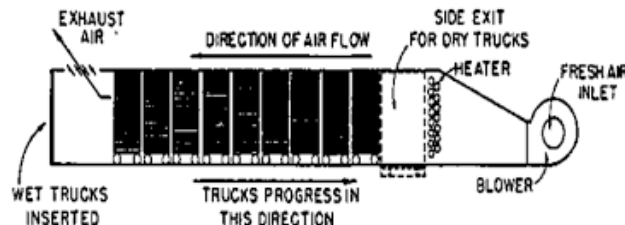
Instalasi ini dilengkapi dengan sumber panas (*heater*) yang dihembuskan ke dalam *fluidized bed* dengan blower. Udara panas dihembuskan ke dalam bahan dan membawa uap air permukaan dari bahan, kemudian campuran udara panas dan uap air dihisap melalui cyclone. Udara panas tersebut dibersihkan dengan cyclone dan dengan wet scrubber, Gambar 14.7.



Gambar 14.7. Open Fluid Bed System

b). *Scraper- Conveyor Dryer*

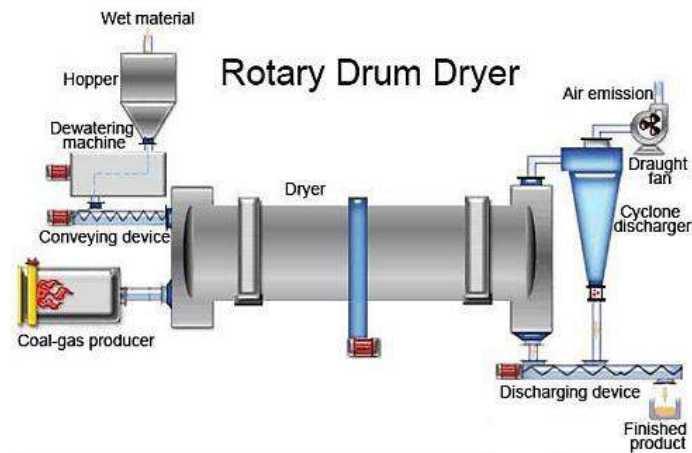
Alat Pengering ini menggunakan scraber untuk mengangkat bahan yang dikeringkan dengan prinsip countercurrent. Alat pengering ini berkapasitas besar banyak digunakan dalam proses pengeringan biji kedelai kacang-kacangan dan kernel kelapa sawit, Gambar 14.8.



Gambar 14.8. Instalasi Pengering dengan udara panas *countercurrent* dengan pemindah scraper (*Scraper- Conveyor Dryer*)

3.5. Rotary Drum Dryer

Rotary Drum Dryers terbuat dari tabung silinder berputar besar dengan sedikit kemiringan menggunakan gaya gravitasi untuk transfer material. Alat pengering ini umumnya digunakan pada bahan granuler yang dipanaskan dalam drum berputar yang dialiri dengan udara panas. Drum tersebut dilengkapi dengan kisi-kisi yang berfungsi menahan bahan sehingga mengikuti putaran drum. Air dibuang oleh permukaan yang dipanaskan dengan uap drum yang berputar. Dinding bagian dalam pengering biasanya dilengkapi dengan serangkaian sirip bagian dalam lapisan. Pengering juga bisa terdiri dari beberapa cangkang untuk digunakan di ruang yang lebih padat. [4] Pengering drum dapat digunakan untuk produk hayati yang stabil terhadap suhu. Materi berhubungan dengan permukaan pemanas selama 6-15 detik, dengan koefisien perpindahan panas gernal 1 hingga 2 $\text{kW m}^{-2} \text{K}^{-1}$, Gambar 14.9.



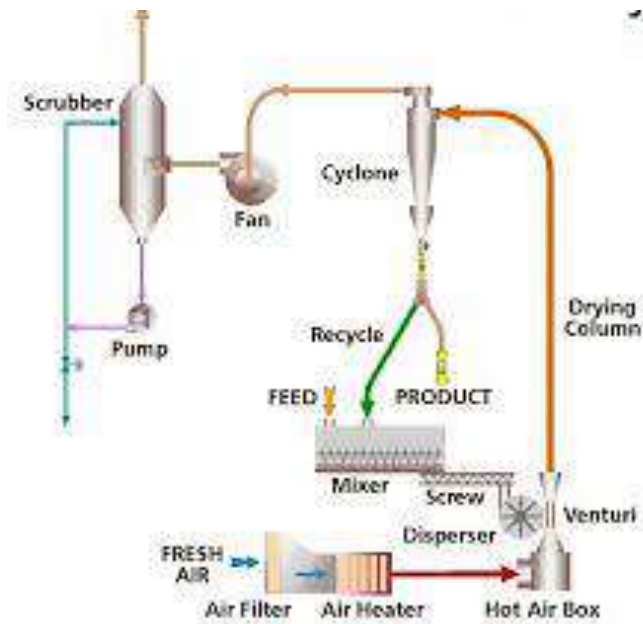
Gambar 14.9. *Rotary dryer*

3.6. *Pneumatic Drying*

Alat ini berfungsi ganda selain mengeringkan bahan juga berfungsi untuk memisahkan bahan dari kotoran berdasarkan berat jenis, yang terpisah dalam siklon. Seperti dalam jenis proses pengeringan lainnya, tujuannya adalah untuk menghilangkan sebanyak mungkin air dari produk perlu disingkirkan. Ide pengeringan pneumatik adalah umpan kering yang cukup padat (tingkat kelembaban di bawah 35-40%). Pengering konveyor pneumatik adalah yang berbentuk bubuk atau butiran bahan dikeringkan sambil digantung dalam aliran udara panas. Itu menjadikannya sebagai perpanjangan dari proses pengeringan dan pengeringan total memerlukan beberapa langkah berbeda sebelumnya. Pneumatik pengeringan membutuhkan umpan padat yang masuk akal sebagai partikel. Udara panas membawa partikel dan menghilangkannya kelembaban. Dapat dilihat pada Gambar 14.10 bahwa peniup meniup udara yang mengangkat partikel yang diberi umpan ke dalam silo. Suhu disesuaikan dengan pemanas di sepanjang saluran atau sabuk pengangkut atau dengan menyesuaikan suhu udara blower.

3.7. *Spray Dryer*

Alat ini digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk cairan atau berbentuk tepung dengan menggunakan alat semprot atau nozzle. Bahan tersebut disemprotkan pada ruangan panas sehingga butir-butiran tersebut menguapkan air (Gambar 14.11). Pilihan yang sangat ekonomis dan banyak digunakan adalah pengering semprot. Oleh karena itu, bahan awal haruslah cairan atau pasta sehingga dapat diatomisasi melalui nosel.



Gambar 14.10. *Pneumatic drying*

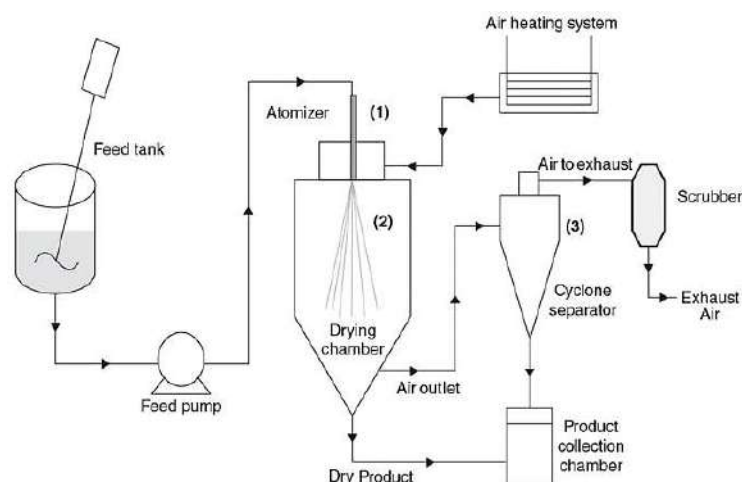
Tetes kecil disemprotkan ke ruang panas dan jatuh ke aliran spiral gas panas, biasanya 150-250 ° C. Tetesan kecil memiliki permukaan permukaan yang relatif tinggi sehingga laju pengeringan relatif tinggi dan berhubungan langsung dengan tetesan ukuran. Bahan tersebut dapat dikeringkan dengan sempurna dalam hitungan detik dan efek pendinginan dari penguapan mencegah material dari panas berlebih. Pengering semprot mahal untuk dibeli tetapi ekonomis untuk beroperasi dan sangat baik untuk bahan yang peka panas.

3.8. Pengeringan Subatmosferik Pengeringan Vacum dan Beku

3.8.1. Pengeringan Vacum

a). Bejana Vertical

Pengering vacuum terdiri dari bejana cylinder terbuat dari plat besi yang tahan kevacuman dengan tebal 8mm, kevacumannya tergantung dari kapasitas. Pengering vacuum dikembangkan pada pengeringan minyak sehingga kadar air dapat mencapai 0,01%. kevacuman dapat mencapai 0,1 bar(a). Pengering vacuum juga banyak dikembangkan dalam proses deodorizer dengan suhu 260 °C dengan kevacuman 10 torr. Deodorisasi dilakukan dalam bejana yang dapat menahan vakum 0,2 kPa (Gambar 14.13b.).

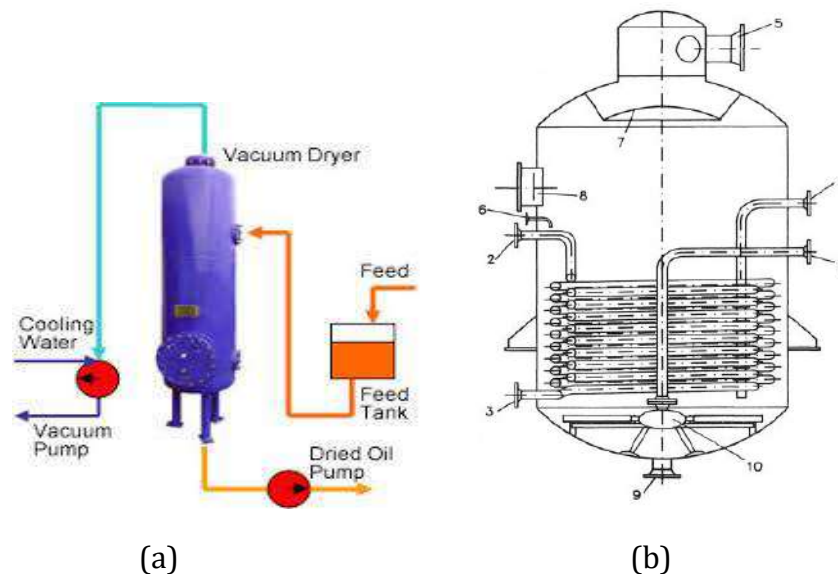


Gambar 14.11. Pengering Semprot

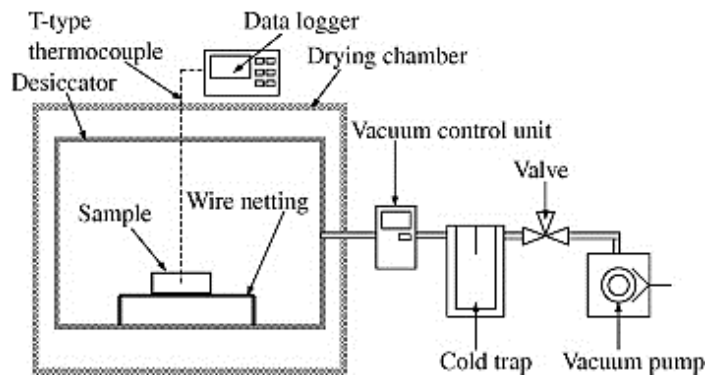
Minyak yang akan dihilangkan baunya dipompa masuk melalui saluran masuk minyak (1) dan dipanaskan dengan kumparan pemanas. Ini biasanya dilakukan dengan steam (2, steam entry; 3, condensate exit). Uap meninggalkan bejana melalui (5), minyak yang dihilangkan baunya dipompa melalui (9). Uap yang dibutuhkan untuk distilasi pembawa dihembuskan melalui steam (10). Seperti disebutkan di atas, bejana batch membutuhkan lebih banyak uap karena lapisan minyak yang harus ditembus lebih tinggi daripada di unit pemrosesan lainnya. Kelebihan uap ini bisa mencapai 10% dari uap yang dibutuhkan untuk proses penghilangan bau itu sendiri. Waktu penghilangan bau dalam penghilang bau badan biasanya antara 3 dan 5 jam dan suhu antara 180 dan 260 ° C. Penghilangan bau dimulai sekitar 160 °C. Keuntungan dari deodorisasi adalah fleksibilitasnya yang tinggi dan biaya investasi yang sangat rendah. Oleh karena itu paling cocok untuk skala kecil dan instalasi ini yang harus mengatasi batch kecil dari komposisi yang berbeda, Gambar 14.12.

b). Pengeringan Rak Vacuum

Pengering baki vakum bekerja untuk menghilangkan kelembaban melalui ruang hampa yang dibuat. Oven vakum adalah jenis peralatan yang digunakan dalam proses ini, karena wadah besi mampu menahan tekanan vakum tanpa berubah bentuk. Lingkungan kedap udara kemudian tercipta, dengan oven terhubung ke pompa vakum untuk menciptakan lingkungan bebas tekanan. Produk yang akan dikeringkan disimpan dalam rak, kemudian dimasukkan ke dalam oven untuk proses pengeringan. Uap air yang dihasilkan dari proses pengeringan dikirim ke kondensor oven vakum dan produk kering kemudian dikeluarkan dari rak. Metode pengeringan ini sangat berguna untuk produk yang sensitif terhadap pemanasan sehingga dalam konteks bioproses, pengeringan enzim dapat dikeringkan melalui metode ini karena pemanasan dapat menyebabkan denaturasi enzim, membuat produk tidak berguna. Pemanasan produk 25-30 °C karena tekanan rendah di dalam oven vakum, Gambar 14.13.



Gambar 14.12. a). Bejana Pengering Vacuum b) Deodorizer



Gambar 14.13. Rak Pengering Vacum

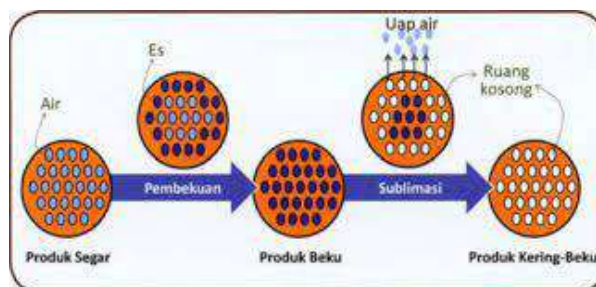
3.8.2. Pengering Beku

a). Mekanisme Pengeringan Beku

Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Dari semua metode tersebut, salah satu metode pengeringan yang dianggap paling baik saat ini adalah metode freeze drying atau yang lebih dikenal dengan nama metode pengeringan beku. Metode ini juga dikenal dengan berbagai nama seperti metode lyophilisation, dan cryodesiccation. Prinsip dasar pengeringan beku (*freeze drying*) adalah proses menghilangkan kandungan air dalam suatu bahan atau produk yang telah beku (es) tanpa melalui fase cair terlebih dahulu. Freeze dryer merupakan suatu alat pengeringan yang termasuk ke dalam Conduction Dryer/Indirect Dryer karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah / lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas terjadi secara hantaran (konduksi).

Adapun tahapan-tahapan yang terjadi di dalam mesin freeze dryer, sebagai berikut :

- 1) Pembekuan: Produk yang akan dikeringkan, sebelumnya dibekukan terlebih dahulu.
- 2) Vacuum : Setelah beku, produk ini ditempatkan di bawah vakum. Hal ini memungkinkan pelarut beku dalam produk untuk menguap tanpa melalui fase cair, proses yang dikenal sebagai sublimasi.
- 3) Panas : Panas diterapkan pada produk beku untuk mempercepat sublimasi.
- 4) Kondensasi: Kondensor dengan suhu rendah akan menghapus pelarut yang menguap di ruang vakum dengan mengubahnya kembali ke padat Gambar 14.14.



Gambar 14.14. Mekanisme Proses Pengeringan Beku

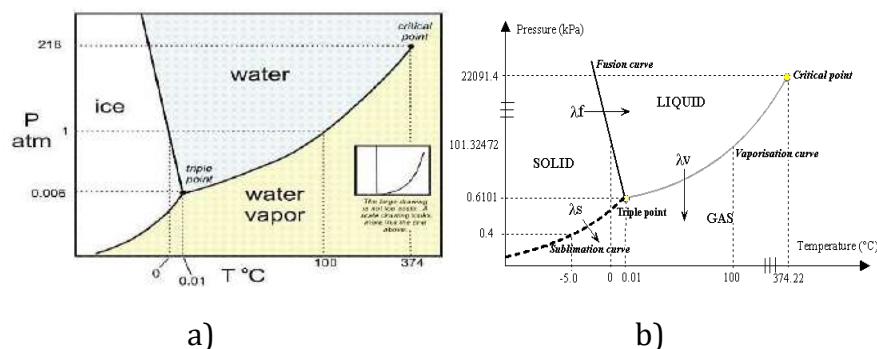
Keunggulan produk dengan menggunakan metode pengeringan beku dibandingkan metode lainnya, antara lain adalah: a) produk yang dihasilkan akan menjadi lebih stabil kualitasnya (tidak terjadi perubahan aroma, warna, dan unsur organoleptik lainnya), b) struktur bahan di dalam produk tetap stabil (tidak terjadi pengerutan atau perubahan bentuk pada struktur bahan). Daya

rehidrasi produk meningkat (dengan hasil pengeringan yang sangat berongga dan lyophile sehingga daya rehidrasi sangat tinggi dan dapat kembali ke sifat fisiologis, organoleptik dan bentuk fisik yang hampir sama dengan sebelum pengeringan).

Keunggulan-keunggulan tersebut tentu saja dapat diperoleh jika prosedur dan proses pengeringan beku yang diterapkan tepat dan sesuai dengan karakteristik bahan (Gambar 14.15a dan 14.15b). Kondisi operasional yang sesuai dengan suatu jenis produk tidak menjamin sesuai dengan produk jenis lain. Pengeringan Beku berbeda dengan pengeringan biasa seperti pada table dibawah ini:

Tabel 14.1. Perbandingan Pengeringan Biasa dan Pengeringan Beku

Kriteria	Pengeringan Biasa	Pengeringan Beku
Suhu Pengeringan	37-93°C (tergantung tekanan dan aliran udara)	Dibawah titik beku
Mekanisme pengeringan	Penguapan (evaporasi)	Sublimasi
Laju pengeringan	Lambat dan tidak komplit	Cepat, dan lebih komplit
Tekanan Umumnya	pada tekanan atmosfir	Tekanan vakum
Mutu Produk	Sering menghasilkan permukaan yang keriput kembali, warna kegelapan, mutu Kurang poreus, densitas tinggi, kurang mudah dibasahkan disegarkan), flavor, nilai gizi berkurang (Lihat Gambar 14.3a)	Tidak menyebabkan permukaan yang keriput, lebih porus, densitas lebih rendah, mudah disegarkan kembali, warna normal, mutu flavor dan nilai gizi lebih dapat dipertahankan (lihat Gambar 14.3b)
Biaya	Biaya Lebih murah	Lebih mahal
Kegunaan umum	Untuk pengeringan umum, cocok untuk sayur-sayuran dan biji-bijian, kurang/tidak cocok untuk daging dan produk daging	Untuk produk dengan nilai ekonomi cukup tinggi, mikroenkapsulasi, produk instan, c untuk daging dan produk daging



Gambar 14.15. Fase air, a) Fase Air pada Pengeringan Umum, dan b) fase air pada pengeringan beku

b). Alat Pengering Beku

Pengeringan beku ini berbentuk seperti cylinder oven horizontal, yang dilengkapi dengan rak dan alat pendingin. Alat ini dapat berfungsi sebagai penyimpanan bahan sebelum digunakan.



Gambar 14.16. Pengeringan Beku Bentuk silinder bentuk Batch.

3.9. Alat Pengering Microwave

Microwave oven atau yang dikenal sebagai *microwave* adalah suatu alat yang menggunakan radiasi gelombang mikro (frekuensi 2450 Mhz) untuk memanaskan suatu benda (dalam hal ini adalah makanan). Alat ini menggunakan gelombang elektromagnetik mikro (karenanya disebut *microwaves* yang diemisikan oleh *magnetron*) untuk menggerakkan/memutar polarisasi dari molekul air yang terdapat dalam zat tersebut. Pergerakan dari polarisasi molekul itu meningkatkan panas dari zat.

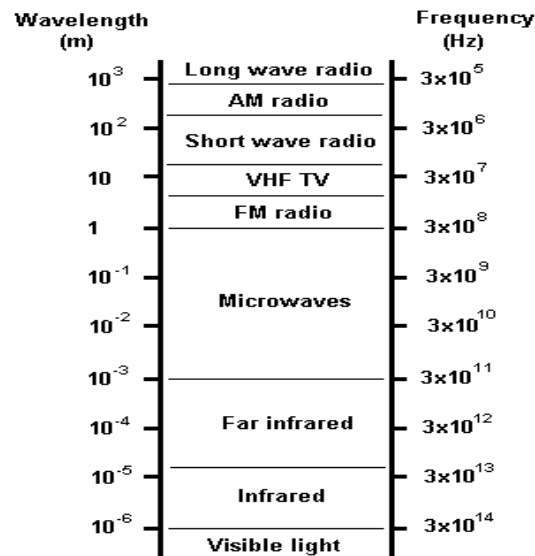
Microwave oven terdiri dari beberapa komponen berikut ini :

- Transformator bertegangan tinggi, digunakan untuk memberikan energi pada *magnetron*.
- *Magnetron* berongga.
- *Magnetron control circuit* (biasanya dengan *microcontroller*.
- Kamar pemanasan.

Microwave oven biasanya bekerja dengan melewati radiasi gelombang mikro yang tidak terionisasi pada makanan, biasanya gelombang tersebut berada pada frekuensi 2.45 Ghz (panjang gelombang 12,24 cm). Besarnya frekuensi mikrowave ini berada pada frekuensi radio pada umumnya dan frekuensi infrared (Gambar 14.17).

Air, lemak dan substansi lainnya didalam makanan menyerap energi gelombang mikro, yang disebut pemanasan dielektrik. Banyak molekul seperti air merupakan dipol elektrik, yang berarti molekul tersebut memiliki kutub positif dan negatif dan oleh karena itu molekul tersebut berputar terus menerus akibat perubahan medan listrik yang dilakukan gelombang mikro (*microwave*).

Ketika molekul tersebut berputar akan menghasilkan panas. Pemanasan dengan *microwave* lebih efektif dilakukan untuk air berfase cairan apabila dibandingkan pemanasan pada lemak dan gula karena memiliki momen dipol yang lebih rendah.



Gambar 14.17. Medan magnet dan medan elektrik sebuah gelombang elektromagnetik.

Pemanasan *microwave* kadang kala dijelaskan sebagai resonansi perputaran dari molekul air, tetapi hal ini adalah tidak benar, karena resonansi hanya terjadi pada uap air pada frekuensi yang lebih tinggi yaitu mencapai 20 Ghz. Padahal, alat mikrowave yang digunakan pada industri umumnya memiliki frekuensi 915 Mhz. Frekuensi yang digunakan pada mikrowave dipilih berdasarkan atas dua pembatasan utama yaitu frekuensi tersebut haruslah salah satu dari frekuensi ISM (Instrumentation Scientific and Medicals), ada sekitar 3 frekuensi yang bekerja sesuai dengan frekuensi *microwave* tetapi frekuensi tersebut tidak digunakan untuk memasak.

Dua dari frekuensi tersebut bekerja pada frekuensi 5.8 Ghz dan 24.125 Ghz tetapi tidak digunakan pada microwave karena diperlukan biaya dan energi yang sangat besar untuk menghasilkan frekuensi tersebut. Dan frekuensi yang ketiga bekerja pada 433,92 Mhz dimana dibutuhkan peralatan yang mahal untuk menghasilkan energi yang cukup tanpa menghasilkan interferensi diluar pita.

Kesalahan penafsiran yang terjadi pada *microwave* biasanya adalah bagaimana *microwave* memanaskan makanan, yaitu dari dalam ke bagian luar. Pada kenyataannya *microwaves* diserap oleh permukaan terluar dari substansi makanan dimana mempunyai kesamaan metode dengan pemanas konvensional. Penafsiran yang salah ini berkembang karena *microwaves* menembus substansi kering yang bersifat tidak konduktif pada permukaan makanan, dan dengan begitu biasanya meninggalkan panas awal yang lebih dalam dari pada metode pemanasan yang lain. Berdasarkan pada air, kedalaman dari peninggalan awal panas mungkin mencapai beberapa centimeter bahkan lebih, sebaliknya pada pemanasan konveksi peninggalan panas hanya menembus tipis permukaan makanan. Kedalaman penetrasi panas dari mikrowave berkaitan dengan komposisi makanan dan frekuensi, dimana frekuensi *microwave* yang lebih rendah mempunyai penetrasi yang lebih baik. Kebanyakan *microwave* dapat memberikan penggunaanya beberapa jenis pemanasan, meliputi satu atau beberapa level *defrosting*. Pada alat *Microwave oven* umumnya, tidak ada perubahan dalam intensitas radiasi *microwave*, akan tetapi variasi pemanasan dilakukan dengan menghidupkan dan mematikan *magnetron* setiap beberapa detik dalam selang waktu tertentu. Kamar pemanasan itu sendiri disebut dengan “sangkar Faraday”, dimana dapat mencegah mikrowaves keluar menuju lingkungan. Pintu oven biasanya terbuat dari panel kaca, tetapi mempunyai lapisan mata jala konduktif yang digunakan sebagai isolasi. Karena ukuran lubang-lubang pada mata jala konduktif biasanya lebih kecil dari panjang gelombang mikro, maka radiasi gelombang mikro tidak dapat menembus panel kaca tersebut. Beberapa varian dari mikrowave konvensional antara lain adalah *microwave* konveksi, mikrowave ini adalah kombinasi

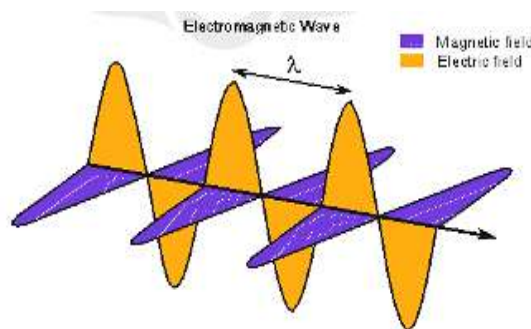
dari *microwave* standar dan *convection oven*. Alat ini memberikan kecepatan dalam memasak dan mengurangi gosongnya masakan.

3.10. Cavity Magnetron

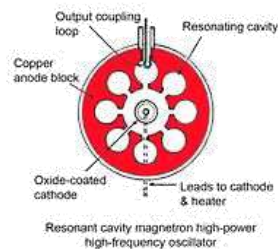
Teori dari pengoperasian magnetron berkaitan dengan pergerakan elektron dibawah kombinasi dari pengaruh medan magnet dan medan listrik. Untuk mengoperasikan silinder tersebut, elektron harus bergerak dari katode menuju anode.

Ada 2 hukum dasar yang mengatur pergerakan elektron yaitu :

- Gaya yang digunakan oleh medan elektrik pada electron proposional dengan kekuatan medan magnet. Electron cenderung untuk bergerak dari potensial negative menuju potensial positif.
- Gaya yang digunakan pada electron dalam medan magnet adalah pada sudut positif untuk medan magnet dan untuk lintasan dari electron. Arah dari gaya ini menyebabkan elektron berproses cenderung untuk membentuk kurva daripada membentuk garis lurus menuju anode dalam gelombang elektromagnetika (Gambar 14.18 dan 14.19)



Gambar 14.18. Medan magnet dan medan elektronik

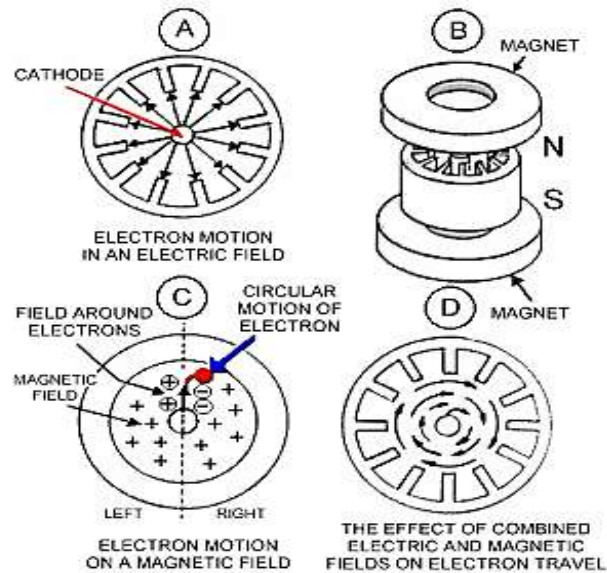


Gambar 14.19. Cavity Magnetron.

3.11. Efek dari Medan Magnet

Pada Gambar 14.20, dua magnet permanen ditambahkan diatas dan dibawah struktur silinder, dalam Gambar 14.20c asumsikan magnet yang berada diatas adalah kutub utara, dan magnet yang sebelah bawah adalah kutub selatan, sehingga medan magnet akan mendekati dari kanan kertas. Ketika elektron bergerak melewati konduktor menyebabkan medan magnet terbentuk mengitari konduktor, sehingga elektron bergerak melewati ruang cenderung untuk membuat medan magnet mengitari dirinya sendiri. Pada sisi kiri lintasan elektron, menginduksi medan magnet dirinya sendiri menambah medan magnet yang mengitarinya. Pada sisi lain dari lintasan elektron (sisi kanan), mempunyai efek yang bertolak belakang dimana terjadi pengurangan dari efek medan magnet permanen. Oleh karena hal tersebut sisi kanan dari lintasan mempunyai medan magnet yang lebih lemah, dan lintasan elektron menghasilkan gerak melingkar untuk menuju anode. Proses ini dimulai ketika tegangan rendah diberikan pada filament, dimana menyebabkan filament tersebut panas (tegangan dari filament biasanya antara 3-4 V, tergantung pada pembuatan dan modelnya). Peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan aktivitas

molekular didalam katode, hal ini menyebabkan katode memancarkan elektrons. Ukuran dari rongga menentukan resonansi frekuensi, dan dengan demikian menentukan frekuensi yang dipancarkan oleh *microwaves* Meskipun demikian frekuensi yang dihasilkan tidak dapat dikontrol secara tepat. Ketika frekuensi yang tepat dibutuhkan, maka alat lain Klystron dapat digunakan. *Magnetron* merupakan alat yang cukup efisien, sebagai contohnya dalam *microwave oven* yang mempunyai daya input 1100 Watt umumnya akan menghasilkan 700 Watt energi *microwave*, maka efisiensinya mencapai 65%.



Gambar 14.20. Pergerakan elektron dalam magnetron.

Interaksi Medan Elektromagnetik terhadap Material

Pada dasarnya material dapat dibagi berdasarkan kemampuannya dalam berinteraksi dengan medan elektromagnetik, keempat kelompok tersebut antara lain :

Konduktor

Material yang mempunyai elektron bebas didalamnya, contohnya seperti metal, material ini pada umumnya memantulkan gelombang elektromagnetik, seperti cermin yang memantulkan cahaya. Material ini biasanya digunakan sebagai pengarah gelombang elektromagnetik dan *applicators*.

Insulator

Material ini menyerap dan memantulkan gelombang elektromagnetik pada jumlah yang dapat diabaikan (sangat sedikit sekali) biasanya gelombang elektromagnetik hanya menembus material ini, karenanya material sering disebut material yang transparan. Contoh dari material ini antara lain gelas, keramik dan udara. Material ini biasanya digunakan untuk menopang material yang akan dipanaskan didalam *microwave*, seperti digunakan sebagai sabuk conveyor dan sebagainya.

Dielektrik

Material ini mempunyai karakteristik antara konduktor dan insulator, material ini dapat menyerap gelombang elektromagnetik dan merubahnya menjadi panas. Contoh dari material ini antara lain yaitu air, minyak, kayu dan material yang mempunyai kandungan air didalamnya.

Campuran magnetik

Material ini biasanya digunakan sebagai pelapisan dan untuk mencegah kebocoran gelombang elektromagnetik.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan dalam microwave

a. Kandungan air dalam material

Jumlah kandungan air bebas dalam suatu substansi sangat mempengaruhi konstanta dielektriknya, dimana air mempunyai konstanta dielektrik yang cukup tinggi yaitu 78 pada temperatur ruangan. Oleh karena itu, semakin banyak persentase air dalam suatu substansi maka konstanta dielektriknya semakin tinggi biasanya proporsional. Walaupun demikian ada beberapa kriteria yang harus diterapkan dalam hubungan kandungan air dan konstanta dielektrik antara lain:

- Semakin tinggi kandungan air maka konstanta dielektrik juga semakin tinggi.
- *Dielectric loss*, biasanya meningkat dengan meningkatnya kandungan air tetapi pada kandungan air 20%-30%, fenomena tersebut terhenti dan pada kandungan air yang lebih tinggi *dielectric loss* cenderung menurun.
- Konstanta dielektrik dari campuran berbagai material, berada diantara komponen-komponen penyusunnya.
- Semakin tinggi konstanta dielektrik maka pengeringan akan semakin cepat.

Karena proses pengeringan adalah suatu metode yang berfokus pada penghilangan air dari suatu material, hal ini sangat menarik untuk diamati bahwa ketika cairan dikeluarkan maka konstanta dielektrik semakin menurun, karenanya pengeringan material menjadi menurun. Pada banyak kasus hal ini cenderung menjadi pembatasan diri terhadap proses pengeringan karena material menjadi transparan ketika kandungan airnya sangat rendah.

b. Kerapatan massa (densitas)

Konstanta dielektrik udara adalah satu, karena untuk semua proses pengolahan, udara mempunyai sifat transparan yaitu hanya melewati gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu keberadaan udara dalam suatu material menurunkan konstanta dielektrik dari material tersebut. Maka dapat disimpulkan ketika pori-pori suatu material diisi udara yang berarti kerapatannya menurun temperature maka konstanta dielektriknya akan menurun dan mengakibatkan pengurangan laju pengeringan.

c. Temperatur

Pengaruh temperatur terhadap konstanta dielektrik cukup kompleks, konstanta dielektrik dapat turun ataupun naik ketika temperatur dinaikkan dan diturunkan hal ini bergantung dari material tersebut. Pada umumnya material yang berada dibawah titik pembekuannya menunjukkan konstanta dielektrik yang rendah. Diatas suhu pembekuan keadaannya menjadi sulit untuk diprediksi.

d. Kedalaman penetrasi

Kedalaman penetrasi panas berpengaruh terhadap proses pengeringan (Tabel 14.2)

Tabel 14.2. Frekuensi gelombang mikro dan kedalaman penetrasi.

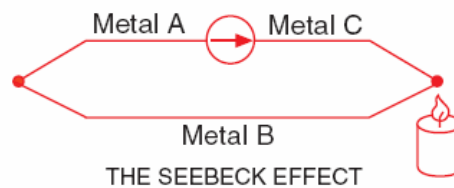
Frekuensi (MHz)						
	5.0	13.56	27.12	40.0	9.15	2450
Panjang Gelombang						
Meter	60	22.1	7.5	11.1	0.328	0.122
Feet	196.6	72.6	36.3	24.6	1.07	0.4
Kedalaman Penetrasi						
Meter	23.9	8.8	4.4	3.0	0.13	0.049
Feet	78.4	28.9	14.4	9.8	0.425	0.158

e. Thermocouple

Dalam elektronik dan dalam teknik elektrik, termokopel banyak digunakan sebagai sensor suhu atau temperatur dan dapat juga digunakan untuk mengubah perbedaan potensial suhu menjadi perbedaan potensial elektrik. Batasan yang penting adalah akurasi yang mana sistem errornya tidak lebih dari 1°C .

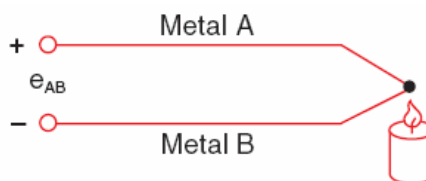
Di tahun 1821, Fisikawan Estonia bernama Thomas Johann Seebeck menemukan bahwa ketika konduktor (contohnya metal) di letakkan pada temperature yang berbeda, ini kan menghasilkan tegangan. Ini diketahui sebagai efek termoelektrik atau efek Seebeck. Beberapa orang mencoba untuk mengukur tegangan dengan menghubungkan ke konduktor lain pada ujungnya diberi panas. Penambahan konduktor ini akan mengalami gradient atau perbedaan temperature dan menimbulkan tegangan yang berlawanan dari awalnya. Untungnya, besarnya efek ini tergantung dari material yang digunakan. Dengan menggunakan metal yang tidak sama untuk melengkapi rangkaian akan membuat rangkaian, menghasilkan dua taraf perbedaan tegangan, meninggalkan sebuah perbedaan tegangan yang sangat kecil untuk diukur. Perbedaan tegangan bertambah sebanding dengan pertambahan temperature, dan mempunyai ciri khas antara 1 dan 70 mikrovolt per $^{\circ}\text{C}$ ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) untuk range saat ini dengan kombinasi metal yang tersedia. Beberapa kombinasi menjadi populer di standart industri, dilihat dari harga, ketersediannya, kebajikannya, titik leleh, sifat kimia, satabilitas dan keluaranya. Pasangan dua buah metal ini dinamakan termokopel.

Ketika dua buah kawat dihubungkan dengan jenis logam yang berbeda pada ujung yang satu digabungkan dan ujung yang satu lagi dipanaskan, ada aliran listrik yang continue dalam rangkaian termokopel tersebut, Gambar 14.21



Gambar 14.21. Efek Seebeck.

Jika rangkaian diputus pada bagian tengahnya, maka akan menjadi rangkaian tegangan yang terbuka (the Seebeck voltage) sebagai sebuah fungsi temperature dan komposisi dari dua buah metal, Gambar 14.22.



Gambar 14.22. Perbedaan tegangan antara kedua kawat karena perbedaan temperatur.

Semua metal yang berbeda menunjukan efek seperti ini. Dari banyak kombinasi dari dua buah metal memiliki karakteristik masing-masing yang sangat penting untuk diperhatikan. Untuk perubahan kecil pada temperature maka Seebeck voltage mempertunjukkan kelinieran yang proposional terhadap temperature.

$$\Delta e_{AB} = \alpha \Delta T$$

Dimana α adalah koefisien Seebeck.

Type K (chromel–alumel) umumnya banyak digunakan pada termokopel untuk tujuan umum. Type ini tidak terlalu mahal dan sangat populer, dan tersedia dalam banyak jenis probe. Tersedia untuk range temperature antara -2000°C sampai dengan $+12000^{\circ}\text{C}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown G. G. Donald Katz, Alan S. Froust and Richard Schneidewind (1956). Dryer-Simultaneous Heat and Mass Transfer. In Unit Operation John Wiley Sons. New York. pp.559-574.
- Carlson Kennet F (1996). Edible Oil & Fat Products, Vol 4: Bailey's Industrial Oil and Fat Edited by Y.H.Hui, John Willey & Sons Inc. Canada pp: 679.
- Driscoll Robert (2004) Food dehydration In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui Blackwell Publishing Iowa p : 31-44
- Fellows.P (2000). Dehydration, In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p 311-339
- Fellows P. (2000). Freeze drying and freeze concentration In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p. 441-451
- Hui Y. H.(2004) Food Plant Sanitation and Quality Assurance, Food Plant Sanitation and Quality Assurance, In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui, Blackwell Publishing Iowa p :151-164
- Hui Y. H., Miang-Hoog Lim, Wai-Kit Nip, J. Scott Smith, P. H. F. Yu (2004) Principles Of Food Processing. In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui, Blackwell Publishing Iowa p :1-30
- Ibarz Albert and Gustavo V. Barbosa-Cánovas (2003) Dehydration In Unit Operation in Food Engineering CRC Press, London, p : 573-617
- McCabe Warren L, Julian C. Smith and Peter Harriot (1993) Drying of Solids. In Unit Operation MacGraw-Hill Inc. New York p : 767-809.
- Susan Azam Ali (2008) Principles of post-harvest handling, storage and processing of fruits and vegetable In Home-based Fruit and Vegetable Processing in Afghanistan A manual for field workers and trainers Book One Edited by Charlotte Dufour.

BAB XV

PENDINGINAN DAN PEMBEKUAN

1. Pendahuluan

Hasil pertanian mudah mengalami kerusakan oleh mikroorganisme dan proses biokimia, memerlukan pengawetan cara fisika yaitu merubah kondisi bahan agar tidak sesuai dengan pertumbuhan mikroorganisme melalui proses pendinginan dan pembekuan. Pendinginan merupakan proses pengambilan panas dari produk pangan sehingga suhu produk menjadi -1 sampai $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, dengan proses pembekuan, suhu produk diturunkan sampai dibawah $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ seperti $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, bahkan dapat mencapai $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teknik pendinginan (refrigerasi) mengacu pada proses penurunan suhu produk yang tidak mencapai titik bekunya yang artinya selama proses pendinginan, suhu bahan pangan menurun tetapi kandungan air didalamnya tidak sampai membeku.

Pendinginan dapat menghambat pertumbuhan mikroba dan laju beberapa reaksi kimia dan biokimia, sehingga mampu meningkatkan daya tahan simpan. Akan tetapi pendinginan juga dapat menyebabkan *chilling injury* atau perubahan tekstur bahan yang didinginkan. Teknik pembekuan (*freezing*) adalah penyimpanan bahan pangan dibawah titik beku, yang menyebabkan proses perubahan fase cair menjadi es dan kristal es. Proses pembekuan pada suhu -18°C sampai dengan -40°C . Pada awal proses pembekuan terjadi fase pre-freezing suhu bahan pangan diturunkan dari suhu awal ke suhu titik bekunya. Titik beku produk pangan adalah suhu ketika sejumlah kristal es terbentuk dan mencapai kesetimbangan dengan air di sekitarnya yang pada tahap ini semua kandungan air bahan pangan dalam keadaan cair. Setelahnya masuk kepada tahap freezing disini terjadi perubahan fase dari cair ke padat (es) pada suhu konstan. Setelah freezing, bahan pangan yang membeku suhunya turun hingga mencapai suhu yang diinginkan. Dengan teknik pembekuan, bahan pangan akan tahan sampai beberapa bulan bahkan bisa sampai beberapa tahun. Pengaruh positif dari pembekuan dapat menghambat pertumbuhan mikroba dan menurunkan laju reaksi kimia dan biokimia sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk pangan, karena selama pembekuan, suhu produk pangan menurun hingga dibawah titik bekunya. Kecepatan pembekuan juga berpengaruh terhadap mutu produk yang dihasilkan, karena laju pembekuan lambat akan mengakibatkan pembentukan kristal es yang lambat dan kristal es yang terbentuk akan menjadi besar. Pembentukan kristal es yang lambat dan besar ini akan merusak struktur sel bahan pangan yang berakibat pada penurunan mutunya. Selama pembekuan lambat, kristal es yang tumbuh pada ruang antar sel menyebabkan perubahan bentuk (deformasi) dan kerusakan dinding sel.

2. Pembekuan

2.1. Suhu Beku

Suhu beku adalah suhu di mana kristal es dan air cair berdampingan dalam kesetimbangan. Untuk air murni, suhu ini sesuai dengan 0°C ($273\text{ }^{\circ}\text{K}$). Namun, air dalam makanan mengandung padatan terlarut, dan diketahui padatan tersebut menyebabkan penurunan titik beku air. Untuk alasan ini, suhu pembekuan makanan dimulai lebih rendah dari 0°C . Terbukti bahwa konsentrasi padatan terlarut dalam air yang tidak beku, porsi makanan meningkat saat pembekuan terjadi, menyebabkan suhu beku bervariasi dengan waktu. Karena itu, untuk keperluan perhitungan penetapan suhu di mana kristal es pertama muncul sebagai suhu awal pembekuan.

Pada awal pembekuan, larutan yang diencerkan, suhu awal pembekuan (T_f) dapat dihitung dengan menerapkan hukum Raoult:

$$T_f = K_w \frac{m_s}{M_s} \text{-----}(1)$$

di mana m_s = g zat terlarut/100 g air M_s = berat molekul zat terlarut dan K_w = 18,6 (konstanta kriogenik air).

Harus ditunjukkan bahwa, untuk makanan, M_s setara berat zat molekul terlarut yang terkandung dalam makanan. Persamaan empiris memungkinkan untuk menentukan suhu pembekuan awal makanan hanya sebagai fungsi dari konten kelembabannya. Saat kadar air bahan diketahui, fraksi molar air dapat dihitung. Persamaan yang memungkinkan perhitungan dari suhu pembekuan awal adalah:

$$T_f = \frac{T_{ow} \lambda}{1 - R T_{ow} \ln X} \text{-----}(2)$$

dimana: T_{ow} = suhu beku air murni (273 °K), λ = panas laten pembekuan air (6003 kJ / kmol), R = konstanta gas (8,314 kJ / kmol °K), X = fraksi molar air yang tidak beku.

2.2. Air Tidak Beku

Selama proses pembekuan, sebagian kecil air yang tidak beku selalu ada dalam makanan. Juga, seperti yang disebutkan sebelumnya, air yang terikat tidak dalam bentuk es pada titik beku akhir. Penting diketahui air yang tidak beku tidak hanya mempengaruhi sifat-sifat produk, tetapi juga terjadi entalpi yang diperlukan untuk pembekuan. Jika pada saat fraksi massa air dan padatan beku dalam makanan x_w dan x_s , maka masing-masing fraksi molar air tidak beku dapat dihitung dari ekspresi Persamaan 3

$$X = \frac{x_w/18}{x_w/18 + x_s/M_s} \text{-----}(3)$$

Dalam persamaan ini perlu diketahui berat molekul yang setara dari padatan. Oleh karena itu, air yang tidak beku adalah:

$$x_w = \frac{18 x_s x}{M_s (1 - x)} \text{-----}(4)$$

Oleh karena itu, fraksi massa es terbentuk (x_I) adalah fraksi massa awal dari kadar air makanan (x_{ow}) lebih kecil dari fraksi massa beku air:

$$x_I = x_{ow} x_w \text{-----}(5)$$

Fraksi molar air yang tidak beku dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2, diperoleh hasil bahwa fraksi molar air yang tidak beku merupakan fungsi suhu beku (Tabel 15.1)

2.3 Sifat Termal Makanan Beku

Sifat termal bahan muncul sebagai variabel persamaan yang berbeda dan digunakan untuk menghitung waktu pembekuan pada rancangan sistem pemrosesan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui nilai properti agar solusi berbagai masalah bisa dibuat. Meskipun banyak referensi tentang sifat-sifat makanan beku, perlu ada persamaan yang memungkinkan perhitungannya.

Tabel 15.1. Suhu pembekuan awal beberapa makanan

Produk	Kandungan Air (%)	Suhu Pembekuan (°C)
Daging	55-70	-1.0 -2.2
Buah buahan	87 -75	-0.9-2.7
• Cranberry	85.1	-1.11
• Plum	80.3	-2.28
• Raspberry	82.7	-1.22
• Persik	85.1	-1.56
• Pear	83.8	-1.61
• Strawberry	89.3	-0.89
Telur	74.0	-0.5
Susu	87	-0.5
Ikan	66-81	-0.6-2.0
Isotonik		-1.8-2.0
Hypotonik		-0.6-1.0
Sayuran	78-92	-0.8-2.8
Bawang	85.5	-1.44
Bayam	90.2	-.056
Asparagus	92,6	-0,67
Aplle	87.2	-1.44
Aple konsentrat	49.8	-11.3
Anggur	84.7	-1.78
Jeruk	89.0	-1.17
Bubur Tomat	92.9	-0.72

$$\ln x = \frac{\lambda}{R} \left(\frac{1}{T_{ow}} - \frac{1}{T_f} \right) \text{-----} (6)$$

2.3.1 Kepadatan

Ketika makanan dibekukan, kepadatannya menurun karena kandungan fraksi lain dalam es. Persamaan yang memungkinkan perhitungan kepadatan produk beku sebagai berikut:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x_w}{\rho_w} + \frac{x_l}{\rho_l} + \frac{x_s}{\rho_s} \text{-----}(7)$$

di mana x_w , x_l , dan x_s adalah fraksi massa air, es, dan total padatan yang tidak beku, masing-masing. Kepadatan air, es, dan total padatan dapat dihitung dari persamaan yang diberikan oleh Choi dan Okos (1986). Hal ini membuktikan bahwa perhitungan kepadatan total padatan memerlukan persentase komposisi fraksi.

2.3.2 Panas Jenis

Panas spesifik produk beku adalah fungsi dari isinya; air yang tidak beku, es, dan total padatan, sesuai dengan ungkapan berikut:

$$(C_p)_f = (C_p)_w (x_w + x_l + x_s) \text{-----}(8)$$

Namun, Choi dan Okos (1986) menyajikan persamaan umum panas spesifik produk yang dinyatakan sebagai jumlah dari panas spesifik dari setiap komponen dikalikan fraksi massanya. Persamaan ini harus digunakan untuk menghitung entalpi beku makanan. Namun, dalam pembekuan, secara umum, suhu awal makanan tidak sesuai dengan suhu beku, tetapi suhu lebih tinggi. Karena itu penting untuk menentukan panas spesifik dari makanan yang tidak beku.

Persamaan untuk menghitung panas spesifik dari makanan yang tidak beku sebagai fungsikadar airnya adalah:

$$(C_p)_{NF} = (C_p)_w (0.3 + 0.7x_{0w}) \text{ -----(9)}$$

Ada persamaan lain dalam literatur, beberapa di antaranya khusus untuk beberapa produk. Namun, sudah tepat untuk aplikasi persamaan Choi dan Okos dengan komposisi makanan dikenal.

2.3.3 Termal Konduktivitas

Perhitungan konduktivitas termal dari makanan beku mungkin lebih rumit dari pada perhitungan kepadatan panas spesifik, karena konduktivitas termal tidak hanya tergantung pada kadar air dan konduktivitas fase berair dan padat, tetapi juga pada struktur produk. Demikian, Kopelman (1966) menganggap bahwa tiga model struktur yang berbeda terdapat dalam makanan. 1). *Model pertama*, dianggap bahwa makanan itu homogen sistem dibuat dari dua komponen dalam bentuk tersebar. 2). *Model kedua* mempertimbangkan sistem homogen yang terbuat dari dua komponen, di mana fraksi padat disusun dalam bentuk serat dalam dua arah. 3). *Model ketiga* mengasumsikan sistem homogen di mana fraksi padat adalah disusun sebagai lempengan paralel dalam satu arah. Dengan demikian, aplikasi persamaan Kopelman (1966) memungkinkan perhitungan konduktivitas termal berbeda dari produk, tergantung pada jenis struktur. Konduktivitas fase cair biasanya lebih tinggi dari pada konduktivitas fraksi padatan; dengan demikian, untuk sistem yang homogen di mana kedua fase tersebar, konduktivitas termal makanan dihitung oleh persamaan.

$$k = k_l \frac{1 - (x_s^v)^2}{1 - (x_w^v)^2 (1 - x_s^v)} \text{ -----(10)}$$

Dalam persamaan ini, k_l adalah konduktivitas termal cairan, sementara x_s^v dan x_w^v adalah fraksi volumetrik masing-masing padatan dan air. Jika konduktivitas fase cair dan padat serupa, berikut inieksprasi harus digunakan:

$$k = k_l \frac{1 - Q}{1 - Q(1 - x_s^v)} \text{ -----(11)}$$

$$Q = (1 - x_s^v)^2 \left[1 - \frac{k_s}{k_l} \right]$$

dimana :

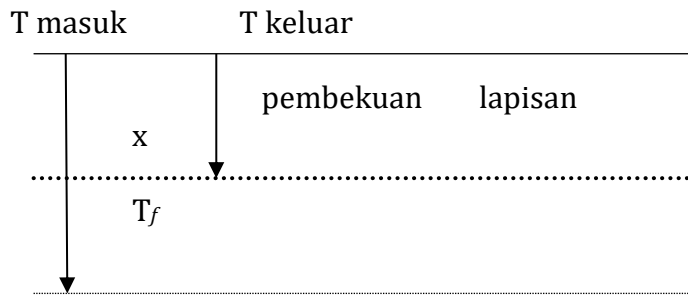
k_s = konduktivitas termal dari fraksi padat.

2.3.4 Proses Pembekuan

2.3.4.1 Waktu Beku

Perhitungan waktu pembekuan adalah salah satu parameter terpenting di dalam desain tahap pembekuan, karena menggambarkan lamanya bahan berada di dalam peralatan pembekuan. Pada prinsipnya, ini mewakili waktu yang dibutuhkan oleh pusat geometris makanan untuk mengubah suhu awal turun menjadi suhu akhir yang lebih rendah dari suhu beku, juga disebut waktu pembekuan yang efektif. Waktu pembekuan nominal adalah waktu yang dilewati antara saat permukaan makanan mencapai 0°C sampai pusat geometri mencapai suhu 10 °C lebih rendah dari suhu pembekuan awal. Perhitungan waktu pembekuan bisa rumit, karena suhu beku makanan berubah terus menerus sepanjang proses, seperti yang disebutkan sebelumnya. Namun, sebagai perkiraan pertama, waktu saat awal makanan pada suhu beku sampai seluruh makanan beku dapat dihitung. Untuk melakukan perhitungan ini, dengan lempengan dimensi tak terbatas, tetapi terbatas pada ketebalan. Ini menyiratkan bahwa perpindahan panas hanya akan menjadi satu arah. Bahan ini awalnya bersuhu T_f dan diperkenalkan ke dalam freezer di mana suhu eksternal T_e . Bagian depan yang beku terbentuk sepanjang proses pembekuan bergerak dari permukaan pada suhu T_s menuju pusat slab (jarak x) Gambar 15.1. Saat tampil keseimbangan energi, istilah outlet-panas harus sama dengan energi yang dilepaskan karena pembekuan. Panas ditransmisikan

melalui lapisan beku dengan konduksi, dan dari permukaan ke eksterior dengan konveksi, sehingga istilah outlet-panas per unit waktu dapat dinyatakan sebagai:



Gambar 15.1. Pembekuan slab

$$Q_s = A \frac{k}{x} (T_F - T_S) = Ah(T_F - T_e) = A \frac{T_F - T_e}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h}}$$

Istilah energi yang dilepaskan oleh pembekuan dinyatakan sebagai:

$$Q_D = A\rho\lambda_1 \frac{dx}{dt}$$

Dalam persamaan ini A adalah area lempengan, k dan ρ adalah termal konduktivitas dan kepadatan lapisan beku sementara h = adalah koefisien panas transfer dengan konveksi ke eksterior. Ketika menyamakan persamaan ini, diperoleh bahwa:

$$\rho\lambda_1 \frac{dx}{dt} = \frac{T_f - T_e}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h}}$$

Persamaan dengan variabel yang t dipisahkan, dapat diintegrasikan pada berikut ini kondisi batas:

$$\begin{aligned} t = 0 & \quad x = 0 \\ t = t_f & \quad x = e/2 \end{aligned}$$

t_c menjadi waktu pembekuan dan e ketebalan lempengan. Integrasi persamaan memungkinkan perhitungan waktu pembekuan

$$t_F = \frac{\rho\lambda_l}{T_F - T_e} \left(\frac{e^2}{8k} + \frac{e}{2h} \right) \text{-----(12)}$$

Ungkapan ini dikenal sebagai persamaan Plank dan hanya valid untuk periode pembekuan. Berarti hal ini diasumsikan awalnya pada suhu beku makanan. Juga, λ_l adalah panas laten dari fraksi beku dan dihitung dengan mengalikan panas laten dari air murni λ kali massa fraksi air beku:

$$\lambda_l = x_H \lambda$$

Untuk silinder dengan panjang dan bola tak terbatas, waktu pembekuan diperoleh dengan cara analog, meskipun ekspresi yang dihasilkan berbeda pada nilai koefisien 8 dan 2, yang dipengaruhi konduktivitas dan koefisien konveksi. Jadi, untuk silinder, nilai-nilai ini adalah 16 dan 4, sedangkan untuk bola nilai-nilai tersebut adalah 24 dan 6.

Persamaan ini berlaku untuk pelat dengan ketebalan tanpa batas dapat digeneralisasi untuk bola dan silinder dengan ketinggian tak hingga. Jika diperhitungkan bilangan Fourier, Biot, dan Stefan didefinisikan dengan persamaan:

$$\text{Fourier's number,.....(Fo)} = \frac{k}{\rho C_p (e)^2}$$

$$\text{Biot's number (Bi)} = \frac{he}{k}$$

$$\text{Stefan's number ----- (Ste)} = \frac{C_p (T_f - T_e)}{\lambda}$$

maka persamaan diubah menjadi ekspresi yang menghubungkan dari ketiga modul

$$Fo = \frac{1}{8} \times \frac{1}{Ste} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{(Bi)(Ste)}$$

Persamaan ini berlaku untuk pelat dengan ketebalan tanpa batas hingga dapat digeneralisasi untuk bola dan silinder dengan ketinggian tak hingga:

$$Fo = \frac{R}{Ste} + \frac{P}{(Bi)(Ste)} \text{----- (13)}$$

Nilai parameter P dan R untuk slab, silinder tak terbatas, dan bola dalam persamaan ini disajikan pada Tabel 15.2. Persamaan Plank adalah perkiraan dasar perhitungan pembekuan proses. Meskipun tidak dapat digunakan untuk perhitungan pembekuan yang tepat kali, ini berguna untuk mendapatkan perkiraan.

Tabel 15.2. Parameter P dan R sesuai dengan Persamaan (13)

Geometri	P	R	Dimensi
Lembaran	1/2	1/8	Tebal (e)
Silinder	1/4	1/16	Radius (r)
Bola	1/6	1/24	Radius (r)

Dalam praktiknya, ada kasus di mana produk yang akan dibekukan memiliki batas geometri. Persamaan 13 dapat digunakan dalam kasus seperti itu, meskipun parameternya parameter P dan R akan berbeda dari nilai yang disebut pada Tabel 15.2. Perhitungan parameter ini sangat kompleks. Jadi, untuk kasus *parallel piped* (pertemuan tiga sisi x, y, z) ketebalan (e), lebar, dan panjangnya (l), parameter panjang tanpa dimensi $\beta_1 = l/e$ dan $\beta_2 = l/e$ didefinisikan sedemikian rupa sehingga nilai P dan R adalah dihitung dari persamaan berikut (Plank, 1980):

$$P = \frac{\beta_1 \beta_2}{2(\beta_1 \beta_2 + \beta_1 + \beta_2)} \text{----- (14)}$$

$$R = \frac{(M-1)(\beta_1-M)(\beta_2-M) \ln\left(\frac{M}{M-1}\right) - (N-1)(\beta_1-N)(\beta_2-N) \ln\left(\frac{N}{N-1}\right)}{8L} + \frac{2\beta_1 + 2\beta_2 - 1}{72} \text{----- (14a)}$$

$$L = \sqrt{(\beta_1 - \beta_2)(\beta_1 - 1) + (\beta_2 - 1)^2} \text{----- (14b)}$$

$$M = \frac{\beta_1 + \beta_2 + 1 + L}{3} \text{----- (14c)}$$

$$N = \frac{\beta_1 + \beta_2 + 1 - L}{3} \text{----- (14d)}$$

Persamaan Plank berguna untuk menentukan waktu pembekuan, tetapi hanya dalam cara perkiraan. Persamaan ini dikembangkan dengan asumsi bahwa, pada awalnya proses pembekuan makanan berada pada suhu beku. Namun, umumnya, makanan biasanya pada suhu lebih tinggi dari pada titik beku suhu. Waktu sebenarnya harus merupakan jumlah waktu yang dihitung oleh Persamaan Plank ditambah waktu yang dibutuhkan oleh permukaan produk untuk menurun dari suhu awal ke suhu beku. Metode dijelaskan untuk transfer panas dalam keadaan tidak stabil harus digunakan untuk menghitung waktu tambahan, menggunakan properti dari makanan yang tidak beku. Beberapa karya untuk menghitung waktu seperti itu dapat ditemukan dalam literatur. Satu ini disajikan oleh Nagaoka et al. (1955), di mana perhitungan waktu pembekuan dilakukan menggunakan ekspresi berikut:

$$t_F = \frac{\rho \Delta H}{T_f - T_e} \left(\frac{Re_t^2}{k} + \frac{Pl}{h} \right) [1 + 0.008 (T_i - T_f)] \text{----- (15)}$$

Dalam persamaan ini, T_i adalah suhu makanan pada awal pembekuan, sementara ΔH adalah perbedaan antara entalpi makanan pada suhu awal dan pada akhir proses pembekuan. Peningkatan entalpi yang dialami oleh makanan selama proses pembekuan dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta H = (Cp)_{Nf} (T_i - T_f) + x l \lambda \omega (C_F)_f (T_i - T_f) \text{----- (16)}$$

Selain modifikasi ini, diperkenalkan parameter dimensi setara perpindahan panas, yang memperhitungkan bentuk produk yang akan dibekukan. Namun, karena koreksi faktor ini menghasilkan waktu beku yang lebih rendah, jadi mungkin lebih baik untuk tidak melakukan koreksi seperti itu dan tetap dalam posisi konservatif. Waktu pembekuan dihitung untuk makanan berbentuk biasa di semua metode dijelaskan sebelumnya. Namun, ada kasus pembekuan produk berbentuk tidak teratur. Untuk mengatasi masalah ini, faktor tanpa dimensi didefinisikan merupakan fungsi dari angka Biot dan bentuk faktor β_i . Persamaan yang memungkinkan perhitungan faktor ini dapat ditemukan dalam literatur (Cleland et al., 1987a, b; Cleland, 1992). Jadi, misalnya, dalam kasus tubuh berbentuk ellipsoid, di mana sumbu memiliki dimensi r , $\beta_1 r$, $\beta_2 r$, parameter E dihitung sesuai dengan ekspresi (Cleland, 1992):

$$E = 1 + \frac{1+2/Bi}{B_1^2+(2B_1/Bi)} + \frac{1+2/Bi}{B_2^2+(2B_2/Bi)} \text{ -----(17)}$$

2.3.4.2. Disain Sistem Pembekuan

Dalam desain sistem pembekuan, perlu diketahui jumlah energi yang harus dihilangkan dari makanan berubah dari awal menjadi suhu akhir dari produk beku. Untuk melakukan ini, entalpi makanan harus diketahui pada awal dan akhir proses pembekuan. Entalpi adalah fungsi dari status, itu harus diberikan dengan referensi suhu itu, dalam kasus proses pembekuan, adalah -40°C . Ini berarti bahwa, pada suhu ini, entalpi produk apa pun dianggap nol.

Untuk menghitung daya yang dibutuhkan pada proses pembekuan, perlu ditentukan variasi entalpi yang dialami oleh produk, sejak dimasukkan ke dalam freezer sampai produk mencapai suhu akhir. Ini dapat dicapai dengan menggunakan Persamaan 16. Faktor lain yang harus dihitung adalah daya pembekuan proses yang diberikan pada peralatan. Kekuatan seperti itu adalah energi total untuk dilepaskan dari makanan per unit waktu dan ukuran kapasitas sistem pembekuan. Daya pembekuan dihitung dengan persamaan berikut:

$$Po\omega = m \Delta H/t \text{ -----(18)}$$

Di sini, m adalah jumlah total makanan yang akan dibekukan, yaitu peningkatan entalpi yang dialami oleh makanan dari awal hingga suhu akhir, dan t waktu makanan berada di dalam peralatan pembekuan. Jika persamaan yang diberikan oleh Nagaoka et al. (Persamaan 15) digunakan untuk menghitung waktu pembekuan, kekuatan dapat dihitung dengan ungkapan berikut:

$$Po\omega = \frac{m(T_f - T_e)}{\rho \left(\frac{Re^2}{k} + \frac{Pe}{h} \right) [1 + 0.008(T_i - T_f)]} \text{ -----(19)}$$

Tidak perlu mengetahui peningkatan entalpi yang dialami oleh makanan, oleh karena itu, baik nilai panas spesifik maupun fraksi air yang tidak beku dibutuhkan.

3. Pendinginan

Pendinginan dapat didefinisikan sebagai proses di mana panas bahan pada suhu yang lebih tinggi dilepaskan ke suhu sekitarnya. Secara umum, pendinginan adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan penyimpanan makanan pada suhu lebih rendah dari 15°C dan di atas titik beku. Proses-proses ini telah diterapkan untuk pengawetan makanan. Apa yang disebut pendinginan alami telah digunakan sejak zaman kuno, yaitu mengambil keuntungan dari dengan pemanfaatan salju, es, dan air asin memungkinkan suhu lebih rendah dari suhu lingkungan. Harus ditunjukkan bahwa beberapa produk makanan telah dan masih disimpan dalam penyimpanan yang suhunya berbeda dengan suhu sekitar dan konstan dengan waktu. Namun, pendinginan mekanis dalam denominasi, di mana perangkat mekanik dan listrik digunakan untuk mencapai suhu lebih rendah dari suhu lingkungan, dibahas dalam bab ini.

Makanan diperoleh dari sumber alami, menghadirkan masalah seperti mudah rusak dan kegiatan komersial terbatas, karena makanan ini mudah berubah, terutama karena tiga mekanisme:

- Organisme hidup yang mencemari dan memperburuk makanan, tidak hanya mikroorganisme (parasit, bakteri, dan jamur), tetapi juga serangga dalam berbagai tahap siklus kehidupan serangga.
- Kegiatan biokimia yang dilakukan dalam makanan seperti respirasi, kecoklatan, dan terlalu matang, yang dalam banyak kasus disebabkan oleh kehadiran enzim dalam makanan. Aktivitas ini dapat mengurangi kualitas makanan seperti dalam sayuran setelah panen dan pada makanan dari hewan setelah disembelih.
- Proses fisik, seperti hilangnya kelembaban yang menghasilkan dehidrasi.

Penurunan suhu penyimpanan menyiratkan pengurangan kerusakan bahan oleh reaksi, sehingga meningkatkan umur simpan makanan. Tingkat kerusakan akan lebih rendah pada suhu lebih rendah, yang merupakan tujuan pendinginan yaitu untuk menurunkan suhu ke suhu lebih tinggi ke suhu paling rendah setiap kali dari pembekuan. Namun, ini tidak selalu mungkin. Telah diamati bahwa, pada suhu rendah, bahkan di atas suhu beku, reaksi yang tidak diinginkan dapat terjadi di beberapa makanan. Dengan demikian, beberapa jenis buah pada bagian internal dan inti kecoklatan terjadi selama penyimpanan, misalnya buah pir. Disarankan untuk menyimpannya di 3-4°C, karena jika disimpan pada 0°C, kecoklatan dapat terjadi. Tidak disarankan untuk menyimpan kentang di bawah 3°C karena ketidakseimbangan dalam sistem pati-gula dan berakibat pada kerusakan kentang yang menghasilkan akumulasi gula dapat terjadi dan, juga, masalah kerusakan yang dapat terjadi pada beberapa jenis makanan lainnya. Tabel 15.3 keadaan penyimpanan dibawah temperatur kerusakan yang dapat terjadi pada beberapa jenis makanan.

Parameter penting lainnya untuk dipertimbangkan selama penyimpanan makanan di bawah pendinginan adalah kelembaban relatif. Jika kelembaban lebih rendah dari kelembaban relatif terjadi kehilangan air dari makanan ke eksterior, menyebabkan dehidrasi produk. Di sisi lain, jika kelembaban relatif lingkungan lebih tinggi, maka kondensasi air aktif permukaan makanan dapat terjadi, dalam banyak kasus memfasilitasi pertumbuhan mikroba dan penurunan kualitas produk. (Tabel 15.3 dan 15.4).

Tabel 15.3. Kerusakan Buah dan Sayuran dalam Kondisi Penyimpanan Produk

Produk	Suhu Kritis Penyimpanan (°C)	Tipe Suhu Kritis Kerusakan antara Penyimpanan (°C) Suhu Kritis dan Dingin
Zaitun	7	Kecoklatan internal
Avocado	4-13	perubahan warna coklat dalam pulp
Cranberry	2	tekstur berkaret
Terong	7	melepuh dipermukaan membusuk
Ubijalar	13	perubahan warna internal, bintik membusuk
Squash	10	membusuk
Kacang hijau	7	bintik dan kemerahan
Lime	7-9	spot
Lemon	14	tanda merah, pewarnaan membran
Mangga	10-13	warna kelabu pada kulit, kematangan tidak sama
Melon	7-10	spot, kupas, pembusukan tidak ada kematangan
Apel	2-3	bagian dalam inti warna coklat melepuh dan lembab bintik berwarna coklat
Jeruk	3	membusuk tidak ada kematangan
Pepaya	7	warna buah mahoni kecoklatan
Kentang	3	spot, membusuk
Mentimun	7	warna hijau saat pemasakan
Nenas	7-10	warna buram saat pematangan
Pisang	12-13	melepuh, tepat
Anggur	10	perubahan warna, titik, zona tertanam membusuk
Quingombó"	7	bintik bau tidak sedap
Semangka	4	berair, melembut, membusuk dan basah
Tomat		warna trang saat masak, membusuk
- matang	7-10	
- hijau	13	

Tabel 15.4. Suhu Penyimpanan dalam temperatur Normal

T, °C	Produk
Tepat di atas titik beku	Jaringan hewan: daging mamalia, ikan, ayam Buah-buahan: aprikot, lemon (kuning), pir, nektarin, jeruk (Florida), prem, beri, apel (beberapa varietas), persik
2-7 °C	Sayuran: asparagus, bit, kacang polong, lobak, brokoli, kecambah brussels wortel, seledri, kembang kol, jagung, bayam, susu Telur (dengan cangkang)
> 7 °C	Buah: melon, jeruk (kecuali Florida), apel (beberapa varietas), matang nanas Sayuran: kentang awal Buah-buahan: alpukat, pisang, jeruk bali, mangga, lemon (hijau), limas, hijau nanas, tomat Sayuran: kacang hijau, mentimun, ubi jalar, kentang terlambat

3.1 Sistem Mekanik Pendinginan

Hukum kedua termodinamika menunjukkan bahwa panas hanya mengalir dari yang suhu tinggi ke yang rendah suhu. Namun, proses pendingin industri telah menghilangkan panas dari titik suhu rendah ke titik dengan suhu yang lebih tinggi sebagai tujuannya. Untuk mencapai ini, para siklus pendinginan denominasi, di mana fluida bersirkulasi berbeda tahap dalam siklus tertutup, digunakan. Sistem pendingin paling penting dengan kompresi uap seperti dilihat pada skema Gambar 15.2. Kompresi uap adalah siklus tertutup di mana cairan yang bersirkulasi disebut pendingin.

Tabel 15.5. Rekomendasi Kelembaban Relatif

Kelembaban Relatif	Produk
Kurang dari 85%	Mentega, keju, kelapa, buah-buahan kering, bawang putih, kacang-kacangan, bawang kering, telur (cangkang), kurma
85–90%	Jaringan hewan: daging mamalia (kecuali daging sapi muda), ayam.
90–95 %	Buah-buahan: pisang (kuning), sitrat, nanas, nektarin, prem, persik, tomat. Sayuran: ubi jalar, kentang awal. Jaringan hewan: sapi, ikan. Buah-buahan: apel (90%), berry, pir, pisang (hijau). Sayuran: kacang hijau, mentimun, jagung manis, kentang terlambat, sayurdaun, kacang hijau, akar yang bisa dimakan

Misalkan siklus dimulai pada titik 1, titik hisap kompresor, cairan dalam keadaan uap menerima energi dari kompresor dan pergi ke titik 2 melalui teknik kompresi di mana cairan meningkat tekanan dan suhu dan pada saat yang sama, entalpi nya meningkat. Cairan ini mengurangi kandungan energinya dalam kondensor dengan proses isobarik, lewat ke kondisi cair (titik 3). Kemudian mengalir melalui katup ekspansi di sebuah proses isoentropik, dengan penurunan tekanan (titik 4), memperoleh cairan campuran gas. Campuran ini berubah menjadi keadaan uap jenuh dalam suatu evaporator di mana fluida menerima panas, mengubah proses isobarik, lalu berubah ke kondisi titik 1, di mana siklus dimulai lagi. Itu harus ditunjukkan bahwa sistem global mengambil panas dari lingkungan di evaporator dan melepaskan panas di kondensor.

Proses global dapat direpresentasikan dalam diagram tekanan-entalpi Gambar 15.2. Cairan menerima pekerjaan kompresi selama kompresitahap 1 hingga 2, dan mungkin merupakan tahap paling mahal dari semua sistem. Kerja kompresi dapat dievaluasi dengan perbedaan entalpi antara titik pelepasan dan hisap kompresor. Dengan demikian, pekerjaan kompresi per satuan massa cairan adalah:

$$W_c = H_2 - H_1 \text{-----} (20)$$

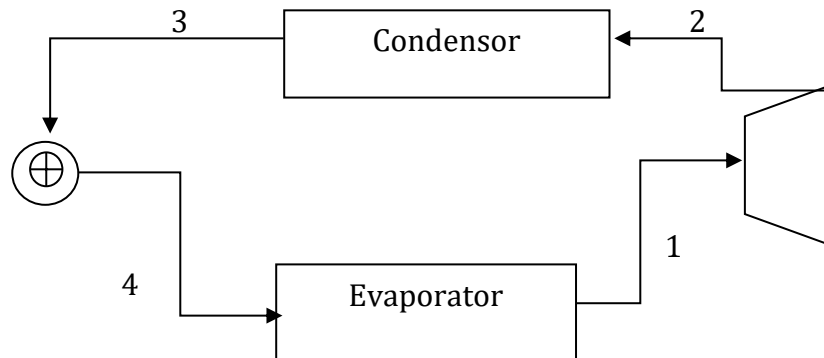
Jika diinginkan untuk mendapatkan kekuatan teoretis dari kompresor, kerja harus dikalikan dengan laju aliran massa cairan yang bersirkulasi sistem:

$$P_{ow} = w W_c = w (H_2 - H_1) \text{-----} (21)$$

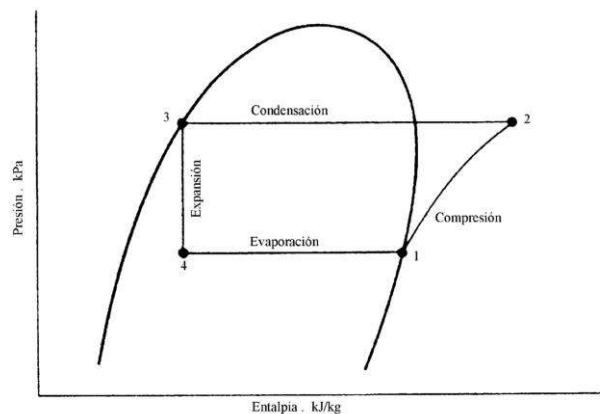
Seperti yang dapat diamati, aliran sirkulasi fluida menentukan beberapa luasnya ukuran kompresor yang akan digunakan, karena daya tekannya dibutuhkan akan lebih besar seiring aliran menjadi lebih besar. Jumlah energi yang dilepaskan oleh fluida dalam kondensor ditentukan dari entalpi titik 2 dan 3. Dengan cara ini, aliran panas dilepaskan oleh cairannya adalah

$$Q_s = w (H_3 - H_2) \text{-----} (22)$$

Dalam persamaan ini, w adalah laju aliran massa fluida dan $\hat{H}$ adalah entalpi per satuan massa cairan. Sejak titik 2, di mana cairan meninggalkan kompresor, memiliki entalpi lebih besar dari titik 3, panas dengan tanda negatif diperoleh. Oleh karena itu, panas yang dikeluarkan oleh fluida dan nilainya digunakan untuk mengukur kondensor dan menghitung jumlah cairan pendingin untuk digunakan. Tahap penguapan 4 hingga 1 mewakili efek refrigeran dari sistem. Gambar 15.2. tahap-tahap ini panas yang ditransfer dari lingkungan ke fluida adalah:



Gambar 15.2. Flowchart siklus pendinginan



Gambar 15.3. Siklus Kompresi Uap

Dalam persamaan ini, w adalah laju aliran massa fluida dan $\hat{H}$ adalah entalpi per satuan massa cairan. Sejak titik 2, di mana cairan meninggalkan kompresor, memiliki entalpi lebih besar dari titik 3, panas dengan tanda negatif diperoleh. Oleh karena itu, panas yang dikeluarkan oleh fluida dan nilainya digunakan untuk mengukur kondensor dan menghitung jumlah cairan pendingin untuk digunakan. Tahap penguapan 4 hingga 1 mewakili efek refrigeran dari sistem. Di tahap-tahap ini panas yang ditransfer dari lingkungan ke fluida adalah:

$$Q_s = w (H_1 - H_4) \text{ -----(23)}$$

Panas ini diserap oleh fluida sejalan dengan kapasitas pendingin, yang merupakan tujuan penting dari proses. Ada parameter penting dalam proses ini, koefisien Performance (ϕ), didefinisikan sebagai efek refrigeran dibagi dengan pekerjaan secara eksternal. Siklus kompresi uap. Pengawetan makanan dengan pendinginan disediakan. Karena pekerjaan ini hanya kinerja kompres. , Koefisien sistem pendingin adalah:

$$\phi = \frac{H_1 - H_4}{H_2 - H_1} \text{ -----(24)}$$

Daya per kilowatt pendinginan adalah kebalikan dari koefisien kinerja; sistem pendinginan yang efisien harus memiliki daya yang nilai rendah, tetapi nilai koefisien kinerja tinggi. Dalam beberapa sistem pendingin, kompresor mengumpulkan cairan dengan uap terlalu panas, dengan demikian memastikan bahwa tidak ada zat pendingin dalam keadaan cair memasuki kompresor. Untuk mencapai ini, uap jenuh yang meninggalkan evaporator melewati penukar panas, di mana cairan itu memberi panas adalah aliran yang meninggalkan kondensor. Selain efek yang dikutip, cairan dari kondensor didinginkan, mencegah pembentukan gelembung sebelum itu melewati katup ekspansi.

3.2 Bahan Refrigeran

Berbagai cairan digunakan sebagai cairan pendingin. Cairan yang digunakan dalam kompresi uap sistem disebut pendingin primer, sedangkan pendingin sekunder adalah yang digunakan untuk transportasi pada suhu rendah dari satu tempat kepada yang lain. Umumnya, solusi dengan suhu beku di bawah 0°C digunakan sebagai pendingin sekunder. Solusi cairan dari etileneglikol, propileneglikol, dan kalsium klorida adalah yang paling umum digunakan. Sifat-sifat dari solusi ini serupa, meskipun propyleneglycol memiliki keuntungan dari tidak menjadi berbahaya jika bersentuhan dengan makanan. Ada banyak refrigeran primer yang telah digunakan dan digunakan dengan halokarbon, penunjukan numerik ditentukan sebagai berikut: Digit pertama dari kanan ke kiri diberikan oleh jumlah atom fluor yang ada dalam molekul, digit kedua (tengah) sesuai dengan jumlah atom hidrogen dalam molekul ditambah satu, dan digit ketiga berkorespondensi dengan jumlah atom karbon minus satu. Untuk senyawa anorganik, senyawa dua digit terakhir mewakili berat molekulnya. Pemilihan jenis refrigeran tergantung pada proses di manarefrigeran akan digunakan. Kadang-kadang kebocoran dapat terjadi dalam sistem pendingin, dan jika refrigeran bersentuhan dengan makanan, bisa terjadi kontaminasi. Jadi, jika makanan diizinkan untuk bersentuhan dengan amonia untuk waktu lama, rasanya dan aromanya mungkin akan terpengaruh. Meskipun halokarbon tidak menyebabkan masalah serius ketika kontak dengan makanan, senyawa ini menghasilkan efek merusak pada lapisan ozon atmosfer. Oleh karena itu, penggunaannya terbatas dan beberapa telah dilarang.

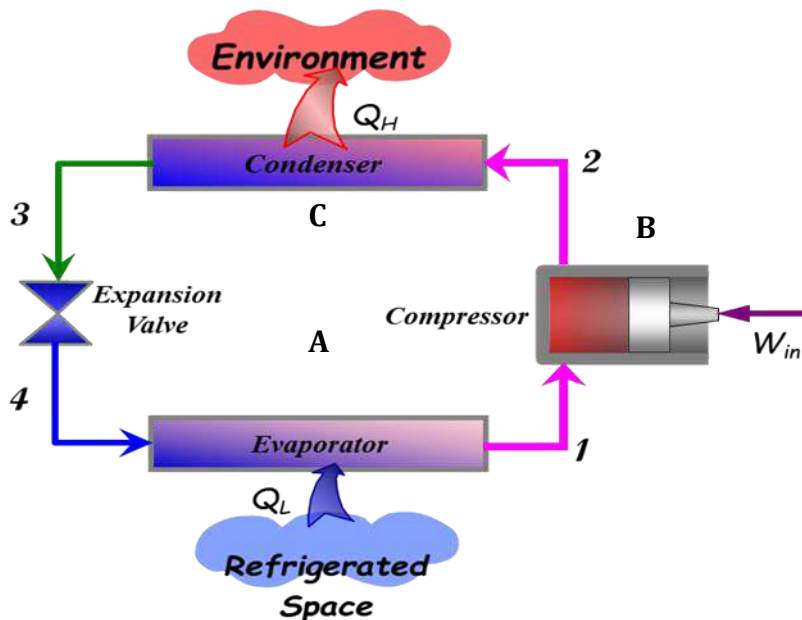
Tabel 15.6. Beberapa Jenis Refrigeran

Tipe	Nomor	Nama Kimia	Rumus Molekul
Halokarbon	11	Trichlorofluoromethane	CCl_3F
	12	Dichlorodifluoromethane	CCl_2F_2
	13	Chlorotrifluoromethane	CClF_3
	22	Chlorodifluoromethane	CHClF_2
	40	Chloromethyl	CH_3Cl
	113	Triclorotrifluoroethane	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
Hidrokarbon	114	Dichlorotetrafluoroethane	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$
	50	Metana	CH_4
	170	Ethane	C_2H_6
	290	Propana	C_3H_8
Anorgani	717	Ammonia	NH_3
	718	Air	H_2O
	729	Udara	
	744	Karbon dioksida	CO_2
	764	Sulfur dioksida	SO_2

4. Komponen Sistem Refrigerasi

Komponen utama dari sistem refrigerasi kompresi uap mekanis sederhana ditunjukkan pada Gambar 15.4. Saat refrigeran mengalir melalui komponen-komponen ini, fasa refrigeran berubah dari cair menjadi gas dan kemudian kembali ke cair. Aliran refrigeran dapat diperiksa dengan menelusuri jalur refrigeran pada Gambar 15.2. Di lokasi D pada Gambar 15.2, tepat sebelum pintu masuk ke katup ekspansi, zat pendingin berada dalam keadaan cair jenuh. Itu pada atau di bawah suhu kondensasinya. Katup ekspansi memisahkan wilayah bertekanan tinggi dari wilayah bertekanan rendah. Setelah melewati katup ekspansi, refrigeran mengalami penurunan tekanan yang disertai dengan penurunan suhu. Karena penurunan tekanan, beberapa refrigeran cair berubah menjadi gas. Campuran cairan / gas yang meninggalkan katup ekspansi disebut "gas flash".

Campuran cairan dan gas memasuki kumparan evaporator di lokasi A. Di dalam evaporator, zat pendingin menguap seluruhnya menjadi gas dengan menerima panas dari media yang mengelilingi kumparan evaporator. Uap jenuh dapat mencapai tahap super panas karena mendapatkan panas tambahan dari lingkungan. Uap jenuh atau super panas memasuki kompresor di lokasi B, di mana refrigeran dikompresi menjadi tekanan tinggi.



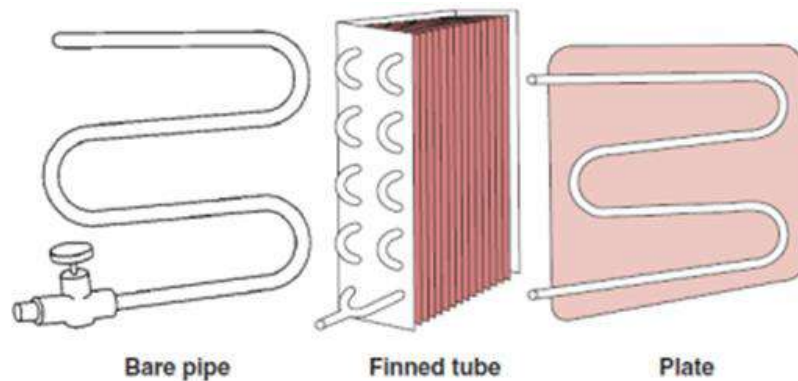
Gambar 15.4. Sistem pendinginan kompresi uap mekanis Lemari Es

Tekanan tinggi ini harus di bawah tekanan kritis refrigeran dan cukup tinggi untuk memungkinkan kondensasi refrigeran pada suhu yang sedikit lebih tinggi daripada pendingin yang umumnya tersedia, seperti udara ambien atau air sumur. Di dalam kompresor, proses kompresi uap terjadi pada entropi konstan (disebut proses isentropik). Ketika tekanan zat pendingin meningkat, maka suhu meningkat, dan refrigeran menjadi super panas seperti yang ditunjukkan oleh lokasi 2. Uap superheated kemudian dikirim ke kondensor. Menggunakan kondensor berpendingin udara atau berpendingin air, refrigeran melepaskan panas ke media di sekitarnya. Refrigeran mengembun kembali ke keadaan cair di kondensor seperti yang ditunjukkan oleh lokasi C. Setelah seluruh jumlah refrigeran diubah menjadi cairan jenuh, suhu refrigeran diubah dapat turun di bawah suhu kondensasinya karena panas tambahan yang dibuang ke media sekitarnya; dengan kata lain, mungkin subcooled. Cairan subcooled atau jenuh kemudian memasuki katup ekspansi dan siklus berlanjut.

4.1 Evaporator

Di dalam evaporator, refrigeran cair menguap menjadi gas. Perubahan keadaan membutuhkan panas laten, yang diekstraksi dari lingkungan. Berdasarkan penggunaannya, evaporator dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori. Evaporator ekspansi langsung memungkinkan refrigeran menguap di dalam kumparan evaporator; kumparan bersentuhan langsung dengan benda atau cairan yang didinginkan. Evaporator ekspansi tidak langsung melibatkan penggunaan media pembawa, seperti air atau air garam, yang didinginkan oleh penguapan refrigeran di kumparan evaporator. Media pembawa yang didinginkan kemudian dipompa ke bahan yang sedang didinginkan. Evaporator ekspansi tidak langsung membutuhkan peralatan tambahan. Ini berguna saat pendinginan dikehendaki pada beberapa lokasi dalam sistem. Air dapat digunakan sebagai media pembawa jika suhu tetap di atas titik beku. Untuk suhu yang lebih rendah, air garam (konsentrasi CaCl_2 yang tepat) atau glikol, seperti etilen atau propilen glikol, biasanya digunakan.

Evaporatornya adalah tipe pipa telanjang, pipa bersirip, atau pelat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.5. Evaporator pipa telanjang adalah yang paling sederhana, mudah dicairkan dan dibersihkan. Sirip yang ditambahkan ke evaporator tabung bersirip memungkinkan peningkatan luas permukaan, sehingga meningkatkan laju perpindahan panas. Evaporator pelat memungkinkan kontak tidak langsung antara produk (misalnya makanan cair) untuk didinginkan dan refrigeran.



Gambar 15.5. Berbagai jenis kumparan evaporator

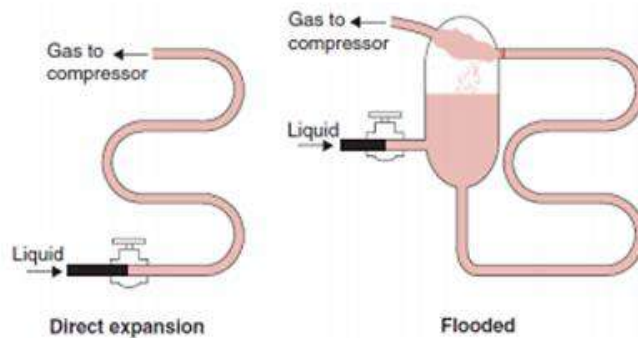
Evaporator juga dapat diklasifikasikan sebagai tipe ekspansi langsung dan tipe banjir. Pada evaporator tipe ekspansi langsung, tidak ada resirkulasi refrigeran di dalam evaporator. Refrigeran cair berubah menjadi gas saat dialirkan melalui tabung kontinyu. Sebaliknya, evaporator yang dibanjiri memungkinkan resirkulasi refrigeran cair. Refrigeran cair, setelah melalui alat pengukur, memasuki ruang gelombang. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.6, refrigeran cair mendidih di koil evaporator dan mengekstraksi panas dari sekitarnya. Refrigeran cair disirkulasi ulang melalui tangki gelombang dan koil evaporator. Gas refrigeran meninggalkan tangki lonjakan menuju kompresor.

4.2 Kompresor

Refrigeran memasuki kompresor dalam keadaan uap pada tekanan dan suhu rendah. Kompresor menaikkan tekanan dan suhu refrigeran. Karena tindakan kompresor inilah panas dapat dibuang oleh zat pendingin di dalam kondensor. Proses kompresi menaikkan suhu zat pendingin cukup di atas suhu lingkungan mengelilingi kondensor, sehingga gradien suhu antara refrigeran dan ambien meningkatkan aliran panas dari refrigeran ke ambien.

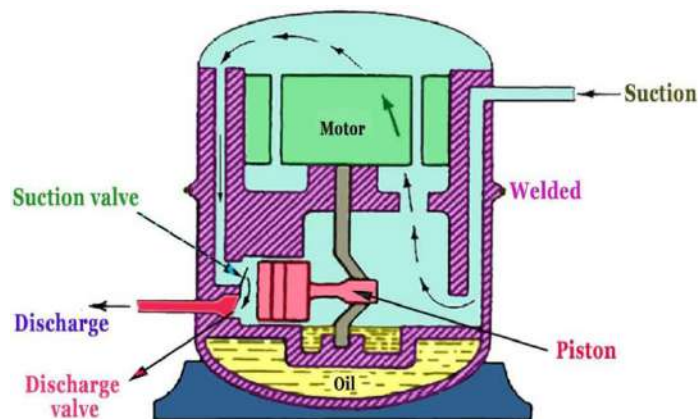
Refrigeran memasuki kompresor dalam keadaan uap pada tekanan dan suhu rendah. Kompresor menaikkan tekanan dan suhu refrigeran. Karena tindakan kompresor inilah panas dapat dibuang oleh zat pendingin di dalam kondensor. Proses kompresi menaikkan suhu zat

pendingin cukup di atas suhu lingkungan mengelilingi kondensor, sehingga gradien suhu antara refrigeran dan ambien meningkatkan aliran panas dari refrigeran ke ambien.



Gambar 15.6. Evaporator ekspansi langsung dan evaporator tipe banjir.

Tiga jenis kompresor yang umum adalah reciprocating, sentrifugal, dan rotary. Seperti yang terlihat dari namanya, kompresor bolak-balik berisi piston yang bergerak bolak-balik dalam silinder. Kompresor reciprocating paling umum digunakan dan kapasitasnya bervariasi dari fraksi satu ton hingga 100 ton pendinginan per unit. Kompresor sentrifugal berisi impeler dengan beberapa bilah yang berputar dengan kecepatan tinggi. Kompresor putar melibatkan baling-baling yang berputar di dalam silinder. Kompresor dapat dioperasikan dengan motor listrik atau mesin pembakaran internal. Gambar 15.7 menunjukkan instalasi tipikal dari kompresor bolak-balik yang dioperasikan dengan motor listrik.



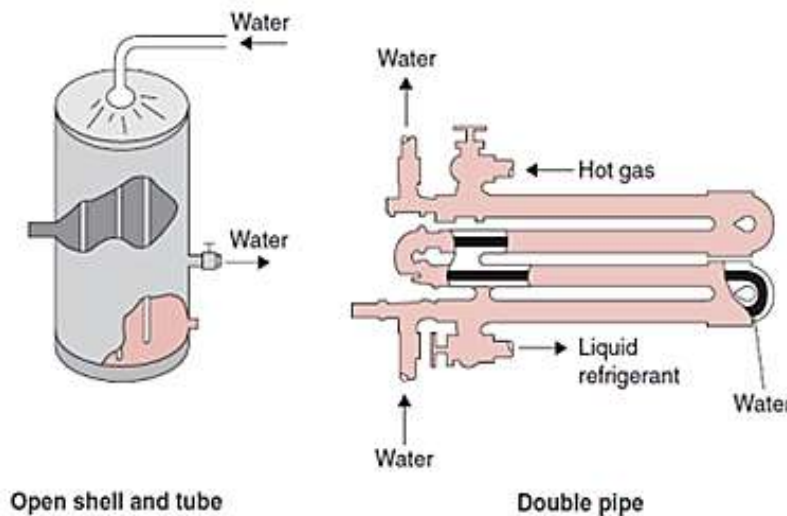
Gambar 15.7. *Compressor Refrigerator*

Parameter penting yang mempengaruhi kinerja kompresor adalah kapasitas kompresor. Kapasitas kompresor dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang melekat pada desain peralatan meliputi (a) perpindahan piston, (b) jarak bebas antara kepala piston dan ujung silinder saat piston berada di puncak langkahnya, dan (c) ukuran hisap dan katup pembuangan. Faktor lain yang mempengaruhi kapasitas kompresor adalah terkait dengan kondisi pengoperasian. Faktor-faktor tersebut meliputi (a) putaran per menit, (b) jenis zat pendingin, (c) tekanan hisap, dan (d) tekanan pelepasan.

Seringkali diperlukan untuk mengontrol kapasitas kompresor, karena beban pendinginan jarang konstan. Dengan demikian, kompresor lebih banyak dioperasikan pada beban parsial dibandingkan dengan beban pendinginan yang digunakan dalam desain kompresor. Kapasitas kompresor dapat dikontrol dengan (a) mengendalikan kecepatan (putaran per menit), (b) melewati gas dari sisi bertekanan tinggi ke sisi bertekanan rendah kompresor, dan (c) melewati internal gas dalam kompresor, dengan menjaga katup hisap buka. Kecepatan dapat dikontrol dengan menggunakan motor listrik kecepatan variabel.

4.3. Kondensor

Fungsi kondensor dalam sistem refrigerasi adalah untuk memindahkan panas dari refrigeran ke media lain, seperti udara dan / atau air. Dengan menolak panas, refrigeran berbentuk gas mengembun menjadi cairan di dalam kondensor. Jenis utama kondensor yang digunakan adalah (1) berpendingin air, (2) berpendingin udara, dan (3) evaporatif. Dalam kondensor evaporatif, baik udara dan air digunakan. Tiga jenis kondensor berpendingin air yang umum adalah (1) pipa ganda, (2) selubung dan tabung (seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 15.8, dan (3) selubung dan koil. Dalam kondensor pipa ganda, air dipompa ke dalam pipa bagian dalam dan zat pendingin mengalir di pipa bagian luar. Arus berlawanan arah dipertahankan untuk mendapatkan efisiensi perpindahan panas yang tinggi. Meskipun kondensor pipa ganda biasanya telah digunakan di masa lalu, sejumlah besar gasket dan flensa yang digunakan dalam penukar panas ini menyebabkan masalah perawatan.



Gambar 15.8. Kondensor *shellandtube* terbuka dan kondensor pipa ganda.

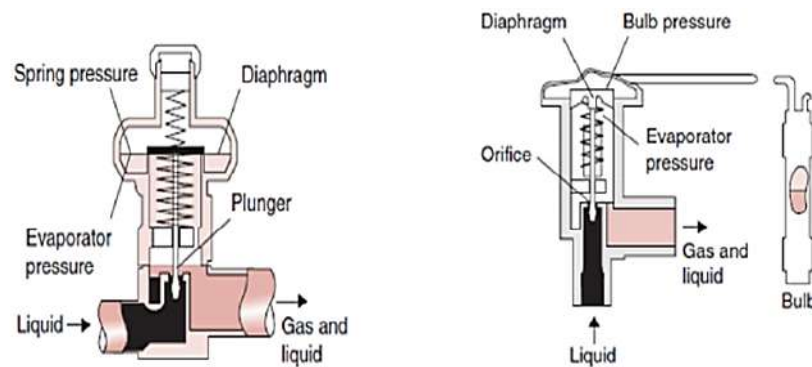
Dalam kondensor *shellandtube*, air dipompa melalui pipa sementara refrigeran mengalir di shell. Pemasangan sirip di pipa memungkinkan perpindahan panas yang lebih baik. Kondensor *shell-and-tube* umumnya berbiaya rendah dan mudah dirawat. Dalam kondensor *shell-and-coil*, *shell* yang dilas berisi gulungan pipa air bersirip. Biasanya paling kompak dan biaya rendah.

Kondensor berpendingin udara juga dapat menggunakan gerakan udara buatan dengan menggunakan kipas angin. Kipas membantu mendapatkan koefisien perpindahan panas konvektif yang lebih tinggi di permukaan kondensor. Dalam kondensor penguapan, pompa air yang bersirkulasi mengambil air dari panci di dasar kondensor dan menyemprotkan air ke gulungan. Selain itu, sejumlah besar udara ditarik ke atas koil kondensor. Penguapan air membutuhkan panas laten, yang diekstraksi dari refrigeran.

4.4. Katup Ekspansi

Katup ekspansi pada dasarnya adalah perangkat pengukur yang mengontrol aliran refrigeran cair ke evaporator. Katup dapat dioperasikan secara manual atau dengan merasakan tekanan atau suhu di lokasi lain yang diinginkan dalam sistem pendinginan. Jenis umum perangkat pengukur yang digunakan dalam sistem pendinginan meliputi (1) katup ekspansi yang dioperasikan secara manual, (2) katup apung sisi rendah otomatis, (3) katup pelampung sisi tinggi otomatis, (4) katup ekspansi otomatis, dan (5) katup ekspansi termostatis. Katup ekspansi sederhana yang dioperasikan secara manual ditunjukkan pada Gambar 15.9. Katup tersebut, secara manual disesuaikan, memungkinkan jumlah aliran refrigeran yang diinginkan dari sisi cairan bertekanan tinggi ke sisi gas / cairan bertekanan rendah. Refrigeran mengalami pendinginan saat melewati

katup. Panas yang diberikan oleh refrigeran cair diserap untuk mengubah sebagian cairan menjadi uap. Konversi parsial refrigeran cair menjadi gas saat melewati katup ekspansi disebut berkedip.



Gambar 15.9. Katup ekspansi yang dioperasikan secara manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Berk Zeki (2009) Refrigeration, chilling and freezing In Food Process Engineering and Technology, Israel Institute Technologi, Israel. 391-426.
- Bigliaa Alessandro, Lorenzo Combaa , Enrico Fabriziob, Paolo Gaya, Davide Ricauda Aimoninoa (2016) Case studies in food freezing at very low temperature. 71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2016, 14-16 September 2016, Turin, Italy Energy Procedia 101 (2016) 305 – 312
- Fellows P. (2000). Freezing In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p: 418- 439
- Fellows P. (2000). Chiling In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p.387- 403
- James J. Stephen and Christian James (2004) Chilling and Freezing of Foods In Food Processing: Principles and Applications, Second Edition. Edited by Stephanie Clark, Stephanie Jung, and Buddhi Lamsal. John Wiley & Sons, Ltd. Grimsby UK. P 79-105
- Mercer G. Donald, Daryl B. Lund (2015). An Introductioto the chilling of Food Products. Departemen Of Food Science University of Guelps p; 1-32
- Siagian S (2017). Perhitungan Beban Pendingin Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Ikan Tuna Pada Pt.X Program Studi Teknik Mesin, UPN Veteran Jakarta,BINA TEKNIKA, Volume 13 Nomor 1, Edisi Juni 2017, 139-14
- Toledo T Romeo (2007). Refrigeration In Fundamentals of Food Process Engineering ,Third Edition.Springer Science+Business Media, LLC. pp: 379-411

BAB XVI

DISTILASI

1. Pendahuluan

Distilasi adalah unit operasi bertujuan pemisahan atau fraksinasi, dengan proses penguapan, dari campuran cairan yang larut dan mudah menguap dan menghasilkan beberapa fraksi komponen. Proses penyulingan merupakan unit operasi yang lebih penting dalam industri kimia dan minyak bumi, juga digunakan dalam industri hasil pertanian seperti industri alkohol dan minyak atsiri. Apabila terdapat interaksi antara fase cair dan uap pemisahan dilakukan dengan proses distilasi bertingkat dan jika tidak ada maka dilakukan distilasi sederhana. Ketika fase berinteraksi selama perbaikan, fasa gas menjadi lebih kaya dalam komponen yang lebih mudah menguap (lebih ringan), sedangkan fasa cair menjadi lebih kaya komponen terberat. Kontak antara fase dapat dilakukan di bawah tahap keseimbangan atau melalui kontak terus menerus. Jenis distilasi lainnya adalah distilasi *azeotropik* (campuran dua komponen yang saling terikat kuat dan sulit dipisahkan dengan destilasi biasa) dan *ekstraktif rectification*. Ketika fase berinteraksi selama distilasi, fasa gas menjadi lebih kaya dalam komponen yang lebih mudah menguap (lebih ringan), sedangkan fasa cair menjadi lebih kaya dalam komponen terberat. Kontak antara fase dapat dilakukan di bawah tahap keseimbangan atau melalui kontak terus menerus. Jenis distilasi lainnya adalah distilasi azeotropik dan ekstraktif

2. Keseimbangan Cairan-Uap

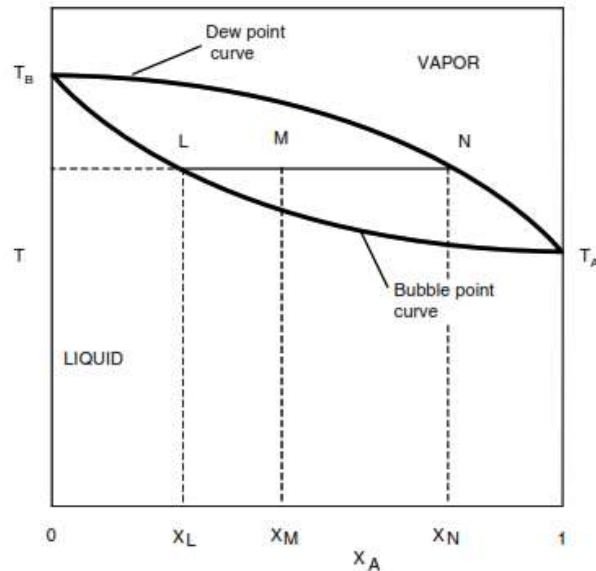
Pemindahan material maksimal ketika tercapai keseimbangan antara fase; dengan kata lain, pada saat itu, transfer bersih satu komponen berhenti. Karena itu, untuk mencapai kekuatan pendorong untuk transfer massa, keseimbangan harus dihindari. Sangat penting untuk mengetahui kapan keseimbangan antara dua fase terjadi. Komposisi uap dalam kesetimbangan dengan cairan komposisi yang diberikan secara eksperimental dengan kesetimbangan penyuling, yang disebut ukuran boiler-didih.

Jika campuran *binary* (kembar) yang dianggap dalam bentuk A dan B, dengan komponen A yang paling mudah menguap, gambaran grafis dari keseimbangan membutuhkan diagram tiga dimensi. Untuk memperjelas ini, bagian dipertimbangkan suhu dan tekanan konstan, mendapatkan isothermal dan diagram isobarik, masing-masing.

Aturan fase Gibbs diterapkan pada sistem binary tertutup dalam kesetimbangan: $L = C - F + 2$, di mana L adalah jumlah derajat bebas, C adalah jumlah komponen, dan F adalah jumlah fase. Dalam kasus distribusi *binary*, jumlah komponen dan fase adalah dua, sehingga derajat bebas juga akan menjadi dua. Dengan demikian, jika dua variabel sistem ditentukan (komposisi dan temperatur, suhu dan tekanan, atau tekanan dan komposisi), itu akan ditentukan dengan perolehan nilai kesesuaian diagram kesetimbangan.

Pada tekanan konstan, dua kurva dapat diamati dalam diagram isobarik atau diagram titik didih. Kurva atas mencerminkan variasi komposisi uap dari suhu titik didih cairan dan disebut kurva embun atau kondensasi. Kurva bawah, disebut gelembung atau mendidih titik kurva, menunjukkan hubungan antara suhu didih dan suhu komposisi cairan pada tekanan konstan. Kedua kurva menentukan tiga zona dalam diagram (Gambar 16.1). *Zona pertama* terletak di bawah titik-gelembung melengkung; setiap titik di zona tersebut mewakili sistem fase cair. *Zona kedua*, di mana setiap titik menunjukkan sistem yang diwakili fase uap, terletak di atas kurva titik-embun. *Zona ketiga* terletak di antara kurva, titik embun dan titik gelembung, di mana setiap titik mewakili sistem yang terdiri dari campuran dua fase. Jadi, titik M diagram di zona ketiga ini merupakan

keadaan di mana sistem tersebut didasari pada campuran cairan komposisi x_L dan uap komposisi x_N , dengan komposisi global sistem x_M .

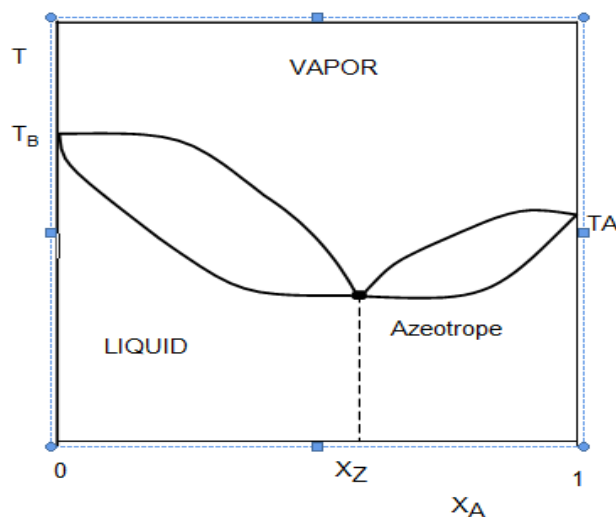


Gambar 16.1. Diagram temperatur setiap komponen

Garis lurus LN disebut garis distribusi. Jumlah relatif kedua fase terkait oleh segmen.

$$\frac{\text{mol cairan}}{\text{mol uap}} = \frac{MN}{ML}$$

Keadaan sistem di mana diagram isobarik menyimpang dari perilaku ideal atau sedemikian rupa sehingga menunjukkan kurva seperti pada Gambar 16.2. Dapat terjadi bahwa minimum dalam kurva penguapan yang sesuai dengan suhu titik didih dari campuran komposisi x_Z lebih rendah daripada komponen volatil murni. Campuran komposisi x_Z dikenal sebagai campuran azeotropik atau, secara sederhana, azeotrop. Dapat dilihat bahwa, dalam bentuk-bentuk campuran, komponen murni tidak dapat diperoleh hanya dalam satu tahap distilasi, karena, bahkan ketika mulai dengan campuran dengan komposisi lebih tinggi atau lebih rendah dari x_Z , azeotrop selalu diperoleh sebagai salah satu dari dua aliran terakhir. Sistem binary yang berperilaku sebagai azeotrop adalah air-etanol. Selain jenis azeotrop dengan minimum, ada sistem azeotrop dengan maksimum.

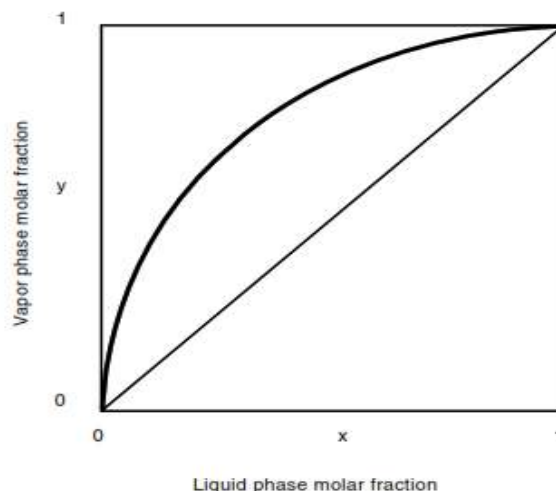


Gambar 16.2. Diagram T-X untuk binary azeotropik

Karena distilasi komersial pada dasarnya terjadi pada tekanan konstan, itu lebih dari cukup untuk mewakili komposisi cairan-uap dengan komposisi diagram fraction ($x - y$) disebut diagram kesetimbangan (Gambar 16.3). Komposisi diberikan dalam fraksi molar yang mewakili yang sesuai dengan fase cair pada absis, sedangkan fraksi molar fase gas adalah diwakili di ordinat. Dalam diagram ini, suhu setiap titik bervariasi di sepanjang kurva, dan garis-garis serikat diwakili oleh poin. Sejak uap lebih kaya di komponen yang paling mudah menguap, kurva terletak di atas diagonal. Pemisahan komponen lebih mudah karena jarak antar komponen kurva keseimbangan dan diagonal menjadi lebih besar dan perbedaannya antara komposisi cairan dan uap meningkat. Variasi tekanan dengan komposisi pada suhu konstan adalah diwakili dengan diagram isothermal. Tiga zona juga diamati didiagram ini: campuran cairan, uap, dan cair-uap.

2.1. Tekanan Partial : Hukum Dalton, Raoult, dan Henry

Campuran binary terdiri dari komponen A dan B. Tekanan parsial P_A yang diberikan oleh komponen A dalam campuran sedemikian dalam fase uap adalah tekanan yang diberikan komponen tersebut pada suhu yang sama jika hanya menempati volume yang sama saja. Tekanan total (P) adalah jumlah dari tekanan parsial semua komponen (P_i):



Gambar 16.3. Diagram kesetimbangan $y-x$

$$P = \sum P_i$$

Persamaan ini mewakili hukum Dalton yang dikenal untuk campuran ideal, dan dapat disimpulkan bahwa tekanan parsial yang diberikan oleh suatu komponen proporsional dengan fraksi molar komponen dalam fase uap (y_i).

$$P = y_i P_i \text{ -----(1)}$$

Hukum Raoult mengaitkan tekanan parsial dari setiap komponen dalam fase uap dengan fraksi molar dalam fase cair (X_i) sedemikian rupa sehingga faktor proporsionalitas adalah tekanan uap komponen murni (P_0) pada suhu yang sama:

$$P_i = X_i P_0 \text{ -----(2)}$$

Hubungan ini biasanya dipenuhi hanya pada nilai x_i yang tinggi. Solusi cair-cair yang ideal mengikuti hukum Raoult dan Dalton atas semuanya rentang konsentrasi komponen. Dalam solusi ideal, dua volatile cairan yang larut tanpa menyerap atau melepaskan panas dicampur sedemikian cara volume mereka menghasilkan aditif. Hukum Henry mengaitkan tekanan parsial yang diberikan oleh komponen dalam fase uap di atas larutan dengan fraksi molar dalam fase cair

$$P_i = x_i H \text{ -----(3)}$$

H adalah konstanta Henry. Hukum ini dapat dinyatakan sebagai berikut: suhu konstan, kelarutan gas dalam cairan secara langsung proporsional dengan tekanan parsial gas dalam kesetimbangan dengan larutan. Suhu konstan diasumsikan, konsentrasi gas terlarut dalam cairan berbanding lurus dengan tekanan yang diberikan gas pada larutan dalam keseimbangan.

Hukum Henry dipatuhi, untuk campuran binary di mana A adalah zat terlarut dan B adalah pelarut, ketika x_A kecil, misalnya untuk larutan encer di mana B memenuhi nilai x_B kecil. Jika hukum Henry dapat diterapkan pada satu komponen untuk rentang konsentrasi tertentu, dapat secara termodinamika disimpulkan bahwa hukum Raoult dapat diterapkan ke komponen lain dalam rentang konsentrasi yang sama. Untuk solusi ideal, kedua hukum sama dan konstanta Henry dengan tekanan uap komponen di bawah kondisi murni. Hubungan yang disebutkan di atas memungkinkan perhitungan keseimbangan dalam sistem uap-cair yang ideal di mana tekanan uap dari zat-zat murni diketahui pada suhu yang berbeda. Jadi, untuk sistem binary, diberikan x_A , dimungkinkan untuk menghitung komposisi y_A dalam uap fase yang berada dalam keseimbangan dengan x_A . Saat menggabungkan ekspresi dari hukum Dalton dan Raoult, persamaan berikut diperoleh:

$$P_A = X_A \frac{P_A^0}{p} \text{-----}(4)$$

Fraksi molar x_A dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = P_A + P_B = X_A P_B^0 + X_B P_B^0 = x_A P_A^0 + (1 - x_A) P_B^0 \text{-----}(5)$$

diperoleh

$$x_A = \frac{P - P_B^0}{P_A^0 - P_B^0} \text{-----}(6)$$

2.2. Volatilitas Relatif

Volatilitas juga dapat digunakan untuk menghubungkan komposisi keseimbangan antara fase gas dan cair. Volatilitas suatu komponen didefinisikan sebagai hubungan antara tekanan parsial dalam fase gas dan fraksi molarnya dalam fase cair:

$$\alpha = \frac{P_A^0}{p} \text{-----}(7)$$

Untuk campuran *binary*, volatilitas relatif dari satu komponen yang berkenaan dengan yang lain didefinisikan sebagai rasio antara volatilitas masing-masing komponen:

$$\alpha = \frac{\alpha_A}{\alpha_B} = \frac{P_{AXB}}{P_{BXA}} \text{-----}(8)$$

$$\begin{aligned} P_A &= y_A P & P_B &= y_B P \\ y_B &= 1 - y_A & x_B &= 1 - x_A \end{aligned}$$

$$\alpha_{AB} = \frac{y_A (1 - x_A)}{x_A (1 - y_A)} \text{-----}(9)$$

Persamaan ini satu peluang untuk memperoleh nilai fraksi molar dari fase cair:

$$y_A = \frac{\alpha_{AB} x_A}{1 + (\alpha_{AB} - 1) x_A} \text{-----}(10)$$

Kemungkinan untuk membangun kurva keseimbangan dengan persamaan ini, ketika nilai diberikan pada komposisi dalam fase cair, akan diperoleh nilai kesesuaian dalam fase gas. Keseimbangan fraksinasi campuran akan lebih mudah seperti nilai relatif volatilitas menjadi lebih besar. Ketika nilai ini adalah 1, tidak akan ada pemisahan tercapai. Dalam sistem yang ideal, volatilitas absolut dari setiap komponen adalah sama jumlahnya dengan tekanan uap komponen murni. Karena itu, volatilitas relatif adalah $\alpha_{AB} = P_A^0 / P_B^0$

Volatilitas relatif bervariasi seperti suhu sehingga ketika yang terakhir berkurang, yang pertama meningkat. Saat menghitung kurva kesetimbangan dari volatilitas relatif, nilai rata-rata harus diambil di sepanjang kolom. Ini valid jika volatilitas pada ekstrem atas dan bawah kolom berbeda kurang dari 15%. Ketika ini tidak benar, kurva keseimbangan seharusnya dibangun untuk bagian yang berbeda sehingga volatilitas relatif sama di setiap bagian. Dalam beberapa kasus, hubungan keseimbangan antara kedua fase diberikan oleh persamaan tipe $y_i = Kx_i$, di mana K_i , dalam banyak kasus, konstan untuk berbagai suhu.

2.3 Diagram Entalpi Komposisi

Pencampuran, laten, dan panas yang pantas (*sensible*) dari komponen campuran harus diperhitungkan dalam beberapa masalah destilasi. Dalam kasus campuran binary, semua data magnitudo dan keseimbangan dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik dalam diagram entalpi.

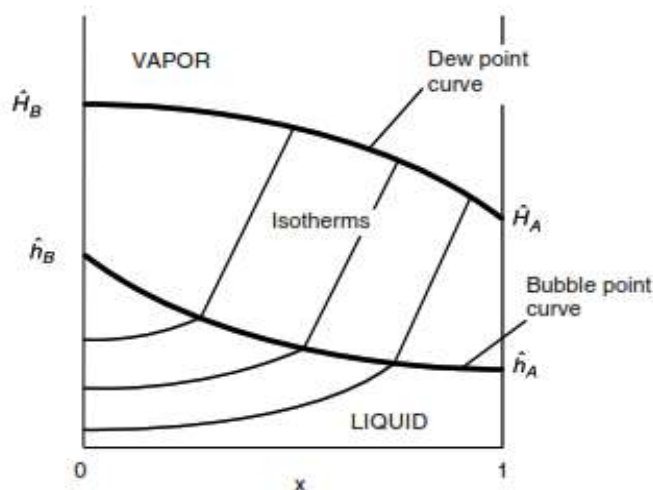
Dalam jenis diagram ini, komposisi molar (atau komposisi massa) dari komponen yang lebih volatil diposisikan pada absis, dan entalpi tertentu (kJ / kg atau kJ / kmol) yang sesuai dengan masing-masing komposisi diposisikan pada ordinat. Entalpi ini disebut sebagai keadaan referensi air cair pada 0°C dan 1 atm. Gambar 16.4 menyajikan diagram entalpi-komposisi khas untuk campuran binary. Fraksi molar atau massa uap (y) dan cairan (x) diwakili pada absis, sedangkan entalpi uap $\hat{H}$ dan cairan $\hat{h}$ diwakili di ordinate. Ketika mewakili entalpi dari cairan jenuh $\hat{h}$ terhadap komposisi, garis yang sesuai dengan kurva titik cair atau gelembung jenuh diperoleh. Jika entalpi uap $\hat{H}$ diwakili, maka garis uap jenuh atau kurva titik embun diperoleh.

3. Destilasi Campuran Binary

Ada berbagai metode destilasi untuk campuran binary. Destilasi sederhana dan flash akan dijelaskan di bagian ini, sementara metode perbaikan kontinu dan tidak kontinu dijelaskan secara rinci di bagian selanjutnya.

3.1. Penyulingan Sederhana

Destilasi sederhana atau diferensial bekerja secara batch dalam satu tahap saja (Gambar 16.5), sebagai berikut: ketel yang diberi panas diisi dengan campuran bahan yang akan didistilasi akan membentuk uap. Uap ditarik terus menerus sehingga kondensat tidak kembali ke ketel. Awalnya, uap yang terbentuk akan mengandung persentase tinggi dari komponen yang paling mudah menguap. Komposisi campuran dalam ketel bervariasi terus menerus sehingga fraksi komponen terberat meningkat dan tidak terjadi kondisi mantap. Karena panas disuplai ke ketel dengan kecepatan konstan, suhu didih beban akan meningkat karena menjadi buruk di komponen yang paling mudah menguap.



Gambar 16.4. Diagram Komposisi Entalpi

Untuk mendapatkan model matematika dari operasi ini, kesetimbangan terperinci selanjutnya harus dilakukan. Keseimbangan molar global dilaksanakan :

$$\frac{d(L+V)}{dt} = -D \text{ -----(11)}$$

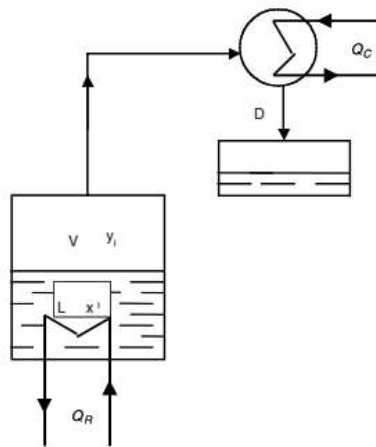
di mana L dan V adalah molar masing-masing cairan dan uap diketel, sedangkan D adalah jumlah distilat yang diperoleh. Densitas molar uap lebih rendah dari pada cairan, dan jika V tidak terlalu tinggi, maka persamaan terakhir dapat dinyatakan sebagai: $dL / dt = -D$.

Keseimbangan komponen volatil:

$$\frac{d(Lx+Vy)}{dt} = -Dy \text{ -----(12)}$$

Tetapi $dL/dt = -D$

$$L \frac{dx}{dt} + x \frac{dL}{dt} = y \frac{dL}{dt}$$



Gambar 16.5. Distilasi sederhana

$$(y - x) \frac{dL}{dt} = L \frac{dx}{dt} \text{ -----(13)}$$

Rentang waktu diffrensial dipenuhi dengan

$$\frac{dL}{L} = \frac{dx}{y-x} \text{ ----- (14)}$$

Ini adalah persamaan diferensial dengan variabel yang dapat dipisahkan. Jika mulai dengan L_0 mol komposisi x_0 , integrasi persamaan ini menghasilkan ekspresi:

$$\ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = \int_{x_0}^x \frac{dx}{y-x} \text{ -----(15)}$$

Ungkapan ini disebut persamaan Rayleigh. Istilah integral dapat berupa hitungan secara grafis atau numerik, jika hubungan ekuilibrium antara komposisi uap dan fase cair untuk diketahui pada awal dan suhu akhir. Jika $1/(y - x)$ diplot terhadap x , maka nilai integral antara komposisi x_0 dan x , awal dan akhir, masing-masing, diperoleh. Ketika hubungan ekuilibrium linier, yaitu, jika $y = mx + c$ dipenuhi, istilah integral memiliki solusi analitis.

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{y-x}{y_0-x_0}\right)^{1/(m-1)} \text{ -----(16)}$$

Jika keseimbangan sejalan dengan $y = Kx$, maka persamaan berikutnya adalah

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{x}{x_0}\right)^{1/(k-1)} \text{ -----(17)}$$

Ketika dapat diasumsikan bahwa volatilitas relatif konstan, integral Istilah juga memiliki solusi analitis, seperti persamaan dibawah ini:

$$\ln\left(\frac{Lx}{L_0x_0}\right) = \alpha \ln\left(\frac{L(1-x)}{L_0(1-x_0)}\right) \text{ ----- (18)}$$

3.2. Distilasi Flash

Distilasi flash, juga disebut distilasi tertutup atau destilasi seimbang, terdiri dari penguapan sejumlah cairan tertentu sehingga uap yang dihasilkan berada dalam kesetimbangan dengan sisa cairan. Uap ditarik dan dikondensasi secara terpisah. Distilasi flash dirangkai dalam Gambar 16. 6. Campuran dengan L_0 mol dan komposisi x_0 dimasukkan dalam ruang di mana tekanan lebih rendah daripada campuran. Dengan cara ini, V mol uap dengan komposisi y dan L mol cair dengan komposisi x dipisahkan. Komposisi y , x dari fasa-fasa yang dipisahkan berada dalam kesetimbangan. Ekspresi berikut ini diperoleh dari keseimbangan global dan komponen yang mudah menguap:

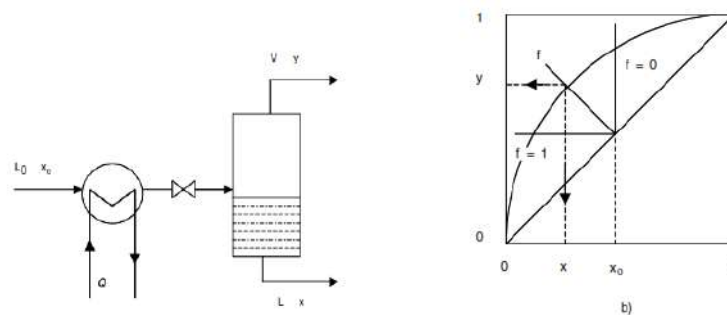
$$\begin{aligned} L_0 &= V + L \\ L_0 x_0 &= V y + L x \end{aligned}$$

Maka

$$y = -\left(\frac{L}{V}\right)x + \left(\frac{L+V}{V}\right)x_0 \text{-----(19)}$$

Jika mol fraksi dari umpan menguap $f = V/L_0$, dan

$$y = -\frac{1-f}{f}x + \frac{x_0}{f} \text{-----(20)}$$



Gambar 16.6. Flash distilasi a) bagan instalasi b) operasi pada diagram keseimbangan.

Diagram $y - x$ sesuai persamaan garis lurus yang menghubungkan komposisi campuran awal dengan uap yang dipisahkan dan aliran cairan. Karena itu, jika diinginkan mengetahui komposisi seperti itu aliran, garis lurus dengan kemiringan $(1 - f)/f$ diplot dari diagonal absis x_0 . Komposisi yang diinginkan diperoleh pada titik di mana garis lurus ini memotong silang kurva ekuilibrium (Gambar 16.6). Di mana $f = 0$, tidak ada aliran uap yang dihasilkan dan campuran tidak dipisahkan. Jika $f = 1$, seluruh campuran diuapkan, yang diperoleh hanya perubahan fasa tanpa fraksinasi campuran.

4. Kontinuitas Rektifikasi Larutan Binary

Dalam setiap proses distilasi, terbentuk uap dalam ketel yang lebih kaya pada komponen yang mudah menguap daripada dalam cairan yang tersisa. Namun, uap mengandung jumlah tertentu dari kedua komponen dan distilat jarang merupakan zat murni. Untuk meningkatkan komponen konsentrasi yang *volatil* dalam uap dan untuk memisahkan yang kurang *volatil*, uap dibawa ke dalam kontak dengan aliran cairan mendidih yang mengalir di kolom. Aliran cairan dengan konsentrasi tinggi dari komponen *volatil*, yang disebut *refluks*, menempati bagian atas kolom. Komponen yang paling *volatil* terkonsentrasi dalam fase uap dan paling tidak mudah menguap dalam fase cair. Dengan cara ini, fase uap menjadi lebih kaya dalam komponen yang paling mudah menguap saat naik kolom, sedangkan fase cair menjadi lebih kaya dalam komponen yang lebih berat saat turun kolom.

Pemisahan yang dicapai dalam campuran antara produk atas dan bawah tergantung pada volatilitas relatif komponen, jumlah tahap kontak, dan rasio refluks. Proses ini disebut perbaikan dan dilakukan dalam kolom fraksinasi yang beroperasi dalam mode kontinu. Gambar 16. 7 memperlihatkan diagram tipikal dari kolom rektifikasi. Di kolom ini, panaskan Q_R disuplai ke ketel, menghasilkan aliran uap yang naik. Uapnya ditarik dari bagian atas kolom V_D terkondensasi dan didorong dalam bentuk cairan ke wadah penyimpanan. Bagian dari kondensat ini diperoleh sebagai distilat produk D , kaya akan komponen yang paling mudah menguap, sedangkan bagian L_D dikembalikan ke kolom dengan memperkenalkannya di bagian atas dalam bentuk refluks.

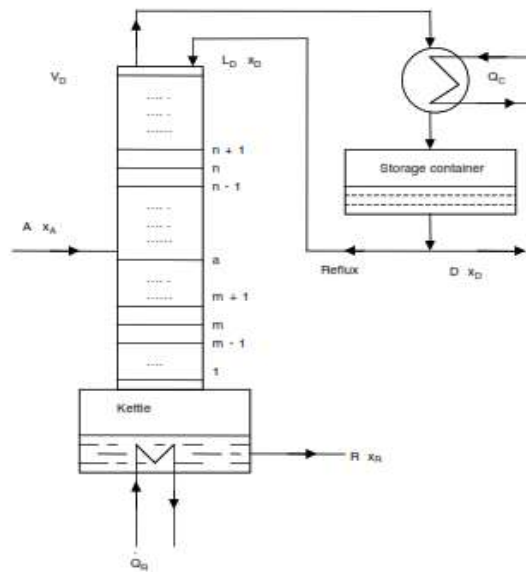
Cairan datang dari kolom mencapai ketel, menarik kelebihanannya sebagai aliran buang R , kaya akan komponen terberat. Kolom diumpankan dalam bentuk kontinu oleh aliran A , yang merupakan campuran yang akan didistilasi. Piring di mana pakan dimasukkan membagi kolom menjadi dua bagian; bagian atas adalah zona rektifikasi, atau pengayaan, dan bagian bawah adalah zona buang. Dalam zona rektifikasi atau pengayaan, uap menjadi lebih kaya di komponen yang paling mudah menguap, menghilangkan bagian dari komponen terberat dari uap yang naik ke kolom. Di zona pembuangan, komponen yang paling mudah menguap dihilangkan dari cairan yang turun ke kolom.

Sistem cenderung mencapai keseimbangan di setiap lempeng kolom. Uap air naik dan cairan turun di setiap lempeng tidak dalam kesetimbangan. Komponen terberat mengembun dari uap yang sedang naik, dan panas laten kondensasi digunakan untuk menguapkan bagian dari komponen yang paling mudah menguap dari aliran refluks, sehingga uap menjadi lebih kaya dalam komponen yang paling mudah menguap. Namun, aliran refluks menjadi lebih buruk di komponen yang paling tidak stabil. Hasilnya adalah aliran yang meninggalkan setiap lempeng cenderung ke kesetimbangan. Gambar 16.8 menunjukkan proses menuju keseimbangan dalam piring pada suhu mendatang T_n .

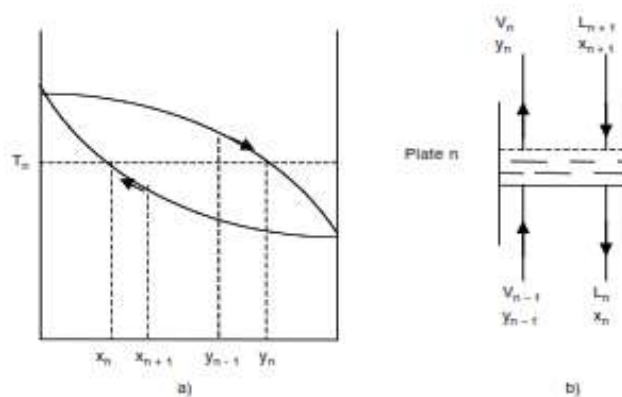
4.1. Perhitungan Jumlah Plat

Ketika merancang peralatan yang menghasilkan fraksinasi tertentu, diperlukan model matematika untuk menghitung jumlah pelat. Faktor-faktor dasar lain untuk merancang unit distilasi adalah jumlah pelat, diameter kolom, panas yang akan disuplai ke ketel, dan panas yang akan dikeluarkan dari kondensor. Analisis fungsi kolom pelat didasarkan pada pengaturan dan solusi keseimbangan massa dan energi. Untuk mengatur model matematika, diasumsikan bahwa kolom sangat terisolasi; kehilangan panas ke eksterior dianggap nol. Juga, sebuah sistem ideal adalah sistem di mana pencampuran panas dianggap nol. Keseimbangan akan diterapkan pada kolom perbaikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.7.

Model matematika akan diperoleh saat melakukan keseimbangan di sekitar bagian kolom yang berbeda. Juga, satuan molar akan digunakan untuk itu membuat perhitungan masalah distilasi lebih mudah. Entalpi aliran uap diwakili oleh $\hat{H}$, sedangkan cairan ditunjukkan oleh $\hat{h}$. Komposisi dan variabel yang berbeda memiliki subskrip dari aliran yang sesuai. Kesetimbangan molar global dan komponen, serta energi global kesetimbangan untuk mendapatkan:



Gambar 16.7. Kolom rektifikasi

➤ **Kesetimbangan global di sekitar kolom**

Gambar 16.8. Evolusi berbagai fase konsentrasi pada plat n

Kesetimbangan Global

$$A = D + R \quad \text{-----(21)}$$

Kesetimbangan Komponen mudah menguap:

$$A x_A = D x_D = R x_R \quad \text{-----(22)}$$

Kesetimbangan Energi

$$A \hat{H}_A + Q_R = D \hat{H}_D + R \hat{h}_g = Q_D \quad \text{-----(23)}$$

di mana masing-masing aliran molar umpan (A), dan aliran distilat (D), dan aliran limbah (R).

➤ **Kesetimbangan di sekitar kondensor:**

Kinerja keseimbangan di sekitar kondensor

$$V_D = L_D + D \quad \text{-----(24)}$$

$$V_D y_D = L_D x_D + D x_D \quad \text{-----(25)}$$

jika kondensasi total sesuai dengan $y_D = x_D$

$$V_D \hat{H}_D = (L_D + D) \hat{h}_D + Q_D \quad \text{-----(26)}$$

Panas yang dipindahkan dalam kondensor

$$Q_D = V_D \hat{H}_D - (L_D + D) \hat{h}_D = V_D (\hat{H}_D - \hat{h}_D) \quad \text{-----(27)}$$

Ketika uap memasuki kondensor molar vapor (V_D) berada pada titik embunnya, entalpi uap $\hat{H}_D$ dan cairan $\hat{h}_D$ berada pada titik jenuh, sehingga sesuai dengan $\hat{H}_D - \hat{h}_D = C$, yang merupakan panas laten dari kondensasi campuran uap yang mencapai kondensor. Karena itu jumlah panasnya dihilangkan dalam kondensor adalah:

$$Q_D = \lambda_C V_D \text{ -----(28)}$$

➤ *Keseimbangan di sekitar ketel:*

Ketika melakukan keseimbangan di sekitar ketel, diperoleh

$$L_1 = R + V_R \text{ ----- (29)}$$

$$L_1 x_1 = R x_R + V_R y_R \text{ ----- (30)}$$

$$L_1 \hat{h}_1 + Q_R = R \hat{h}_R + V_R \hat{H}_R \text{ ----- (31)}$$

panas yang harus disuplai ke ketel adalah:

$$Q_R = R \hat{h}_R + V_R \hat{H}_R - L_1 \hat{h}_1 \text{ ----- (32)}$$

Penting untuk ditunjukkan bahwa entalpi dari aliran yang berbeda muncul dalam persamaan terakhir bukan hanya bergantung pada suhu, tetapi juga pada komposisi. Karena itu:

$$\hat{h}_R = \hat{h}_R(x_R, T_R) \quad \hat{H}_R = \hat{H}_R(y_R, T_R) \quad \hat{h}_1 = \hat{h}_1(x_1, T_1)$$

Sangat mudah untuk mengamati dalam Persamaan 32 bahwa panas Q_R tidak diperoleh secara langsung dari panas kondensasi campuran dalam ketel, karena merupakan perbedaan antara entalpi uap dan cairan limbah, tetapi pada komposisi y_R dan suhu T_R yang sama:

$$\lambda_R = \hat{H}_R(y_R, T_R) - \hat{h}_R(x_R, T_R)$$

Ketika entalpi cairan (λ_R) hanya fungsi suhu, dengan asumsi panas yang masuk dapat diabaikan, yaitu:

$$Q_R = \lambda_g V_R \text{ -----(33).}$$

➤ *Kesetimbangan di sekitar zona pengayaan*

Kesetimbangan diterapkan antara pelat n (tidak termasuk itu) dan bagian atas dari kolom.

$$V_n - L_{n+1} = V_D - L_D = D \text{ -----(34)}$$

$$V_n y_n - L_{n+1} x_{n+1} = V_D y_D - L_D x_D = D x_D \text{ -----(35)}$$

$$V_n \hat{H}_n - L_{n+1} \hat{h}_{n+1} = V_D \hat{H}_D - L_D \hat{h}_D \text{ -----(36)}$$

➤ *Kesetimbangan di sekitar zona pembuangan*

Keseimbangan dilakukan antara pelat m dan bagian bawah dari kolom.

$$V_m + R = L_{m+1} \text{ -----(37)}$$

$$V_m y_m + R x_R = L_{m+1} x_{m+1} \text{ -----(38)}$$

$$V_m \hat{H}_m + R \hat{h}_R = L_{m+1} \hat{h}_{m+1} - Q_R \text{ -----(39)}$$

➤ *Kesetimbangan di sekitar piring umpan:*

Keseimbangan yang diterapkan pada plat ini menghasilkan persamaan berikut

$$A = V_a - L_{a+1} + L_a - V_{a-1} = D - R \text{ -----(40)}$$

$$A x_A = V_a y_a - L_{a+1} x_{a+1} + L_a x_a - V_{a-1} y_{a-1} \text{ -----(41)}$$

$$A \hat{H}_A = V_a \hat{H}_A - L_{a+1} \hat{h}_{a+1} + L_a \hat{h}_a - V_{a-1} \hat{H}_{a-1} \text{ -----(42)}$$

4.2. Rasio refluks

Seperti yang dinyatakan di atas, hubungan refluks didefinisikan sebagai hasil bagi antara jumlah refluks yang dikembalikan ke kolom di bagian atas dalam bentuk cair dan jumlah produk distilasi yang diperoleh: $r = L_D/D$. Garis pengayaan dapat diekspresikan sebagai fungsi dari hubungan refluks seperti persamaan 43.

$$y_n = \frac{r}{r+1} x_{n+1} + \frac{x_D}{r+1} \text{ -----(43)}$$

Oleh karena itu, jika hubungan refluks bervariasi, kemiringan garis operasi akan dimodifikasi, menghasilkan variasi dalam jumlah pelat yang diperlukan fraksinasi yang diberikan. Ketika hubungan refluks r diketahui, pengayaan garis dapat diperoleh dengan bergabungnya dengan titik koordinat (x_D, x_D) dan $(0, x_D / (r + 1))$.

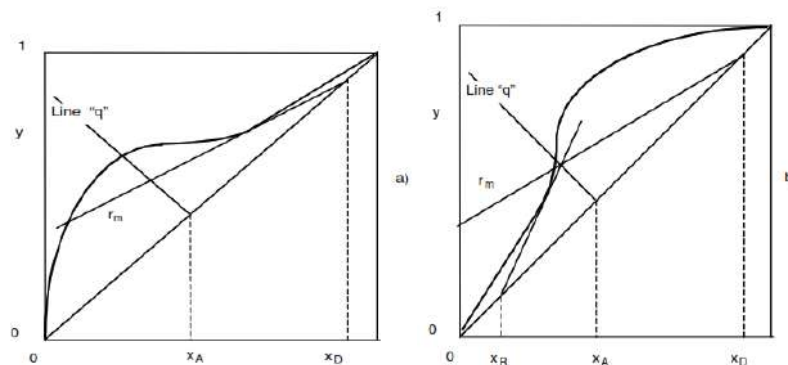
Ketika semua distilat dikembalikan ke kolom sebagai refluks, dikatakan kolom berfungsi pada refluks total. Karena tidak ada distilat ($D = 0$) yang diperoleh, maka garis operasi untuk zona pengayaan memiliki kemiringan sama dengan satu dan ditetapkan sama dengan nol. Dengan demikian, garis ini memiliki persamaan $y = x$, bertepatan dengan diagonal.

Jika hubungan refluks berkurang, itu berarti jumlah plat akan meningkat seiring kemiringan garis operasi berkurang. Jika r berkurang, maka, pada saat tertentu, garis operasi memotong garis keseimbangan pada titik di mana nilai komposisi persis x_A . Jika hubungan refluks berkurang di bawah nilai ini, tidak mungkin mencapai pelat umpan. Ketika garis operasi pengayaan memotong garis keseimbangan, jumlah pelat untuk mencapai umpan dengan komposisi x_A tidak terbatas.

4.3. Saluran Umpan dan Ekstraksi Lateral

Kadang-kadang dua atau lebih campuran umpan dari bahan yang sama dari komposisi yang berbeda harus disuling untuk mendapatkan produk yang sama (Gambar 16.9). Untuk mengatasi masalah ini dengan menggunakan metode McCabe-Thiele, garis pengayaan di atas umpan A_1 dibangun seperti biasa. Di sisi lain, garis pengayaan antara kedua umpan diambil dari perpotongan garis q_1 , yang mewakili lebih kaya umpan dalam komponen yang paling mudah menguap, dengan garis operasi atas, dengan kemiringan L_1 / V_1 . Di sini, L_1 dan V_1 adalah aliran cairan dan uap di zona kolom ini. Aliran ini dihitung untuk melakukan keseimbangan molar di sekitar pelat umpan atas.

Jalur operasi untuk zona pembuangan digambarkan dengan titik penghubung (x_R, x_R) , dengan titik yang dihasilkan dari perpotongan antara garis operasi antara kedua umpan dan garis q_2 mewakili kondisi umpan A_2 .



Gambar 16.9. Minimum refluks rasio pada sistem tertentu

Setelah hubungan refluks diperbaiki, jumlah pelat minimum adalah diperoleh dengan metode biasa, dan umpan diperkenalkan pada tahap yang ditunjukkan dalam diagram kesetimbangan $x - y$ oleh masing-masing garis q (Gambar 16.10). Ekstraksi lateral mengacu pada aliran produk yang berbeda dari atas atau produk limbah. Dalam Gambar 16.11, aliran E mewakili ekstraksi lateral. Jumlah pelat di kolom dan pelat ekstraksi diperoleh dengan menggambar langkah-langkah antara garis operasi dan keseimbangan. Sama halnya untuk beberapa kali pemberian umpan, persamaan dari garis operasi untuk bagian kolom yang berbeda seharusnya telah diplot sebelumnya. Oleh sebab itu kinerja ekstraksi lateral dalam cairan, sedemikian rupa sehingga aliran berada pada titik gelembung. Persamaan untuk garis operasi adalah:

$$\begin{aligned} L_1 &= L + q_1 A_1 \\ V_1 + V &+ (q_1 - 1) A \end{aligned}$$

Zona bagian atas ekstraksi lateral

$$y_n = \frac{L_D}{V_D} x_{n+1} + \frac{D x_D}{V_D} \text{ -----(44)}$$

Zona antara ekstraksi lateral dan umpan:

$$y = \frac{L_D - E}{V_D} x + \frac{D x_D + E x_E}{V_D} \text{ -----(45)}$$

Zona di dibawah umpan:

$$y = \frac{(L_D - E) + q A}{V_D + (q - 1) A} x + \frac{R x_R}{V_D + (q - 1) A} \text{ -----(46)}$$

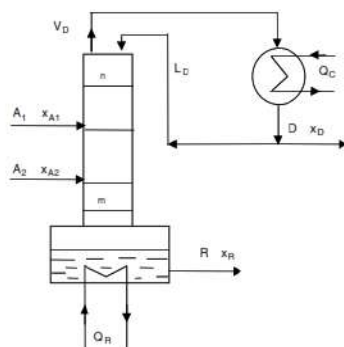
Cukup untuk menghitung dua garis lurus pertama, karena jika titik di mana garis operasi kedua (Persamaan 45) memotong garis q terhubung ke titik (x_R, x_R) , maka jalur buang diperoleh.

4.4. Efisiensi Lempeng

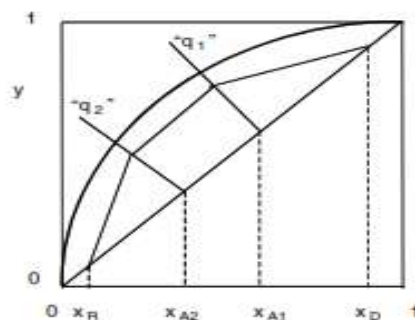
Jumlah pelat yang diperlukan untuk pemisahan dapat dihitung seperti yang dijelaskan sebelumnya. Namun, diasumsikan bahwa aliran yang meninggalkan setiap lempeng berada bukan dalam posisi keseimbangan. Untuk ini, diperlukan sejumlah pelat untuk melakukan destilasi yang dimaksud. Untuk perhitungan jumlah sebenarnya piring atau tahapan, tiga bentuk efisiensi dapat digunakan: Efisiensi global, Murphree, dan lokal.

Efisiensi global didefinisikan sebagai hasil bagi antara jumlah tahapan teoretis ($NTS = \text{number teoritical stage}$) dan jumlah sesungguhnya dari tahapan ($NRS = \text{number real stage}$) yang diperlukan untuk perbaikan yang ditentukan:

$$\eta = \frac{N_{TS}}{N_{RS}} 100 \% \text{ -----(47)}$$

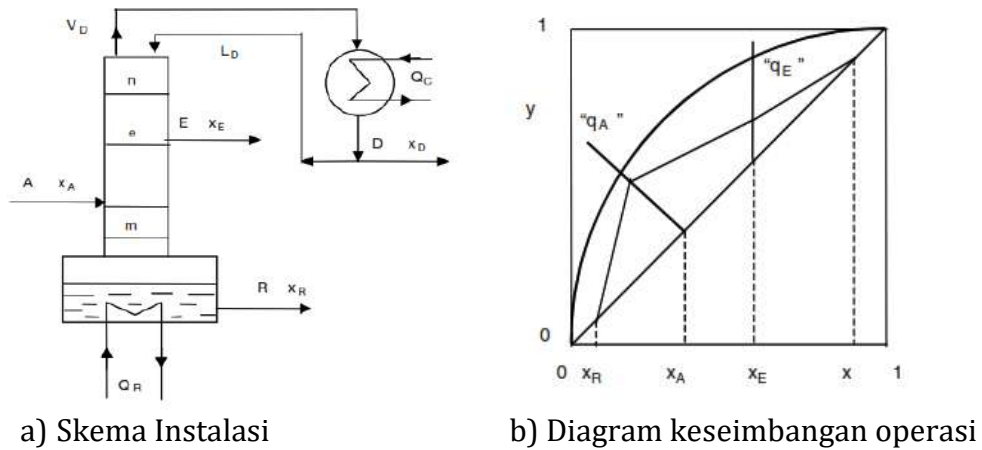


a) Skema Instalasi



b) Diagram Keseimbangan Operasi

Gambar 16. 10. Rektifikasi beberapa umpan



Gambar 16.11. Rektifikasi dengan lateral ekstraksi

Namun, biasanya dianggap bahwa keseimbangan tercapai dalam ketel sedangkan satu tahap diabaikan, sehingga efisiensi global (η) akan:

$$\eta = \frac{N_{TS}-1}{N_{RS}-1} 100 \% \text{ -----(48)}$$

Efisiensi Murphree adalah fungsi dari setiap lempeng dan dapat didefinisikan sebagai rasio antara perubahan aktual yang dicapai dalam komposisi dan perubahan yang akan terjadi jika keseimbangan tercapai:

$$\eta_{MV} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n^* - y_{n-1}} 100 \% \text{ -----(49)}$$

di mana y_n adalah konsentrasi fase uap sebenarnya yang meninggalkan piring, y_{n-1} adalah konsentrasi fase uap sebenarnya yang memasuki pelat, dan y_n^* adalah konsentrasi uap yang seimbang dengan cairan itu, Efisiensi Murphree dapat juga didefinisikan dengan merujuk pada fase cair.

$$\eta_{ML} = \frac{x_{n+1} - x_n}{x_{n+1} - x_n^*} 100 \% \text{ -----(50)}$$

Efisiensi Murphree dapat memiliki nilai lebih dari satu (lebih tinggi dari 100%), karena uap yang dihasilkan cairan yang mencapai pelat lebih kaya dalam komponen yang paling mudah menguap daripada uap yang dilepaskan cairan yang meninggalkan piring. Uap dengan komposisi rata-rata lebih kaya dapat diproduksi daripada uap sesuai dengan keseimbangan; ini sering terjadi di kolom besar.

Efisiensi lokal didefinisikan serupa dengan efisiensi Murphree, tetapi hanya satu titik lempeng. Efisiensi lokal jarang digunakan dalam praktiknya, karena variasi konsentrasi pada titik yang berbeda dari pelat harus diketahui.

5. Rektifikasi Batch

Dalam situasi tertentu, jumlah umpan destilasi tidak tinggi dan operasi berkelanjutan mungkin sangat mahal. Dalam hal ini, lebih disukai melakukan destilasi batch atau diskontinu. Dalam operasi batch, ketel atau pot dimuat dengan umpan untuk destilasi dan dipanaskan sedemikian rupa sehingga uap yang terbentuk dilewatkan melalui kolom rektifikasi. Komposisi distilat tergantung pada komposisi beban, jumlah pelat, dan rasio refluks yang digunakan.

Ketika proses dimulai, distilat kaya akan komponen yang paling mudah menguap, sementara campuran dalam ketel mengandung komponen volatil lebih rendah. Ketika destilasi berlangsung, aliran destilasi komponen yang paling mudah menguap semakin menurun dan limbah atau residu menjadi lebih kaya dalam komponen terberat.

Operasi batch dapat dilakukan sedemikian rupa hingga komposisi distilat konstan, memerlukan pengaturan laju refluks secara kontinu. Ini juga dapat dioperasikan sehingga rasio refluks tetap konstan; dengan demikian, komposisi distilat akan berkurang. Untuk menyelesaikan masalah yang diatur di sini, akan diasumsikan bahwa hipotesis McCabe-Thiele dipenuhi.

Kolom yang digunakan dalam jenis distilasi ini sama dengan operasi kontinu, tetapi tanpa aliran umpan. Harus ditunjukkan bahwa jumlah distilat yang diperoleh pada saat tertentu (D) adalah fungsi dari aliran distilat $D(t)$ sesuai dengan ungkapan berikut:

$$D = \int_0^t D(t) dt \text{ -----(51)}$$

sedangkan komposisi rata-rata distilat (x_D) adalah fungsi dari komposisi aliran distilasi:

$$x_D = \frac{\int_0^t x_D(t) D(t) dt}{\int_0^t D(t) dt} \text{ -----(52)}$$

5.1. Operasi dengan Komposisi Distilasi Konstan

Diasumsikan bahwa ketel pada awalnya diisi dengan R_0 mol campuran untuk dipisahkan; di mana kandungan komponen yang paling mudah menguap adalah x_{R0} , D distilat dari komposisi x_D akan diperoleh setelah waktu operasi tertentu, sedangkan R mol komposisi x_R akan tetap berada di ketel. Ketika melakukan keseimbangan global dan keseimbangan komponen yang paling tidak stabil di seluruh kolom, diperoleh bahwa:

$$\begin{aligned} R_0 &= R + D \\ R_0 x_{R0} &= R x_R + D x_D \end{aligned}$$

maka

$$R = R_0 \frac{x_D - x_{R0}}{x_D - x_R} \text{ -----(53)}$$

di mana R_0 , x_{R0} , dan x_D adalah konstanta, sedangkan x_R dan R bervariasi dari waktu ke waktu.

Ketika operasi dikembangkan pada komposisi distilat yang konstan ($x_D = \text{konstan}$), rasio refluks harus bervariasi. Ketika pemanasan campuran yang dimuat dimulai, aliran uap (V_D) yang naik di sepanjang kolom terbentuk, dan distilat diperoleh dengan menggunakan kondensor kepala, mengembalikan sebagian distilat sebagai refluks (L_D); bagian lain terakumulasi dalam penerima distilat. Setelah waktu operasi t tertentu, R mol campuran tetap berada di dalam panci, sementara sejumlah distilat D diperoleh. V_D uap kondensasi memunculkan aliran L_D dan $D(t)$:

di mana R_0 , x_{R0} , dan x_D adalah konstanta, sedangkan x_R dan R bervariasi dari waktu ke waktu.

$$V_D = L_D = D t$$

Jika jumlah panas yang disuplai ke ketel konstan ($Q_C = \text{konstan}$), maka aliran uap V_D akan konstan. Namun, urutan L_D harus bervariasi untuk menjaga komposisi distilat konstan. Variasi L_D menyiratkan variasi dalam rasio refluks.

Variasi R dengan waktu dapat diperoleh dengan keseimbangan diferensial kolom:

$$\frac{dR}{dt} = -D(t) = -(V_D - L_D) = -V_D + L_D$$

$$\frac{dR x_R}{dt} = -D(t) x_D$$

$$R \frac{dx_R}{dt} + x_R \frac{dR}{dt} = -(V_D - L_D) x_D$$

$$\frac{R_0}{V_D} (x_D - x_{R0}) \frac{dx_R}{\left(\frac{-V_D + L_D}{V_D}\right) (x_D - x_R)^2}$$

Persamaan ini dapat diintegrasikan pada batas kondisi: untuk awal waktu $t = 0$, komposisi campuran dalam pot adalah x_{R0} :

$$t = \frac{R_0}{V_D} (x_D - x_{R0}) \int_{x_R}^{x_{R0}} \frac{dx_R}{\left(\frac{-V_D + L_D}{V_D}\right)(x_D - x_R)^2} \text{-----(54)}$$

dimana jumlah pelat diketahui dan diinginkan untuk memperoleh limbah atau residu komposisi x_R . Untuk menghitung nilai istilah integral, garis operasi berbeda dengan kemiringan (L_D / V_D) saya harus ditarik dari titik diagonal (x_D, x_D). Dengan menggunakan diagram kesetimbangan, jumlah tahapan ditelusuri untuk mendapatkan nilai residu yang sama dengan x_i dalam setiap kasus. Perpotongan setiap garis operasi dengan sumbu ordinat menghasilkan nilai $x_D / (r_i + 1)$, memungkinkan penentuan nilai r_i rasio refluks. Istilah integral dapat dievaluasi dari data yang diperoleh dalam bentuk grafik atau numerik, sehingga memecahkan masalah.

Jika aliran panas yang disuplai ke ketel adalah konstan, maka laju aliran uap yang dihasilkan juga konstan, jadi:

$$Q_C = V_D \lambda \text{-----(55)}$$

di mana λ panas laten molar.

Jika refluks terus menerus disesuaikan sepanjang operasi sedemikian rupa maka komposisi aliran distilat tidak bervariasi, berikut:

$$r = \frac{dL_D}{dD(t)}$$

dan jumlah total refluks yang mengalir ke bawah kolom dapat diperoleh dari integrasi ekspresi:

$$dL_D = r dD(t) \text{-----(56)}$$

Juga, panas dipasok ke kondensor untuk menghasilkan refluks selama seluruh proses penyulingan adalah:

$$Q_C = \lambda \int_0^{L_D} dL_D = \lambda \int_{r1}^{r2} r dD(t) \text{----(57)}$$

Persamaan ini dapat diintegrasikan jika hubungan yang ada antara rasio refluks dan aliran distilat diketahui.

5.2. Operasi Berdasarkan Rasio Refluks *Konstan*

Jika kolom bekerja pada refluks konstan, maka komposisi aliran distilat bervariasi sepanjang waktu distilasi. Jika panas yang disuplai ke ketel atau pot konstan, maka aliran uap V_D akan konstan. Oleh karena itu, rasio refluks konstan, aliran L_D yang bersirkulasi melalui kolom akan konstan juga.

Keseimbangan global dan komponen menghasilkan ekspresi:

$$R \frac{dx_R}{dt} + x_R \frac{dR}{dt} = -(V_D + L_D)x_D$$

maka :

$$R \frac{dx_R}{dt} + x_R \frac{dR}{dt} = x_D \frac{dR}{dt}$$

Pada saat tertentu, dipatuhi bahwa:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dx_R}{x_D - x_R}$$

Persamaan ini dapat diintegrasikan pada batas kondisi: untuk awal waktu $t = 0$, komposisi residu adalah x_{R0} , yang memungkinkan seseorang memperoleh persamaan Rayleigh:

$$\ln \left(\frac{R}{R_0} \right) = \int_{x_R}^{x_{R0}} \frac{dx_R}{x_D - x_R}$$

Istilah integral dapat diselesaikan dengan integrasi grafis atau numerik. Cara memecahkan integral untuk kasus jumlah piring atau tahapan teoritis dan rasio refluks diketahui, atau kapan hubungannya (L_D / V_D) diketahui, dijelaskan selanjutnya. Nilai komposisi distilat x_{iD} adalah tetap, dan garis lurus dengan kemiringan L_D/V_D diambil dari titik diagonal yang sesuai dengan nilai distilat tersebut. Sejumlah langkah sama dengan jumlah pelat di kolom ditarik antara garis ini dan garis kesetimbangan, sehingga diperoleh nilai yang sesuai dengan komposisi residu x_{iR} .

Operasi diulangi untuk nilai komposisi yang berbeda dari distilasi terlambat, menggunakan garis yang memiliki kemiringan yang sama dengan yang pertama, memperoleh dalam setiap kasus nilai yang sesuai dengan komposisi residu. Untuk setiap nilai komposisi residu, nilai $1/(x_D - x_R)$ diperoleh dan nilai-nilai ini diplot terhadap residu. Nilai istilah integral dari persamaan Rayleigh dapat dievaluasi secara grafis atau numerik integrasi. Integrasi ini antara nilai residu komposisi x_{OR} dan x_R memungkinkan seseorang untuk menghitung jumlah campuran yang tersisa di ketel.

Penentuan waktu operasi diperlukan untuk melakukan keseimbangan global diperoleh

$$\frac{dR}{dt} = -D(t) = -V_D + L_D = \text{constant}$$

Waktu operasi diperoleh dari integrasi dan diferensial persamaan sebelumnya:

$$t = \frac{R_O - R}{V_O \left(1 - \frac{L_D}{V_D}\right)} \text{-----} (58)$$

Tetapi, dengan mempertimbangkan bahwa panas yang dipasok ke ketel adalah $Q_C = V_D$, kemudian:

$$t = \frac{R_O - R}{\frac{Q_C}{\lambda} \left(1 - \frac{L_D}{V_D}\right)} \text{-----} (59)$$

6. Distilasi Uap

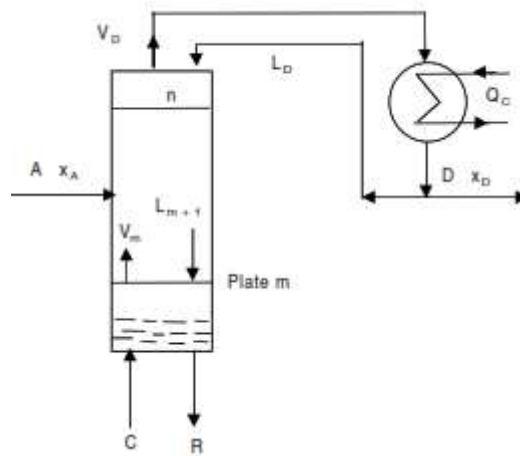
Secara umum, panas disuplai ke kolom distilasi secara tidak langsung oleh penukar panas. Namun, ada beberapa kasus di mana distilasi uap digunakan, misalnya, ketika salah satu komponen campuran adalah air dan diambil sebagai residu, atau ketika air membentuk fase kedua yang tidak dapat dicampur. Jenis distilasi ini juga digunakan ketika campuran yang akan dipisahkan memiliki titik didih tinggi dan dapat memberikan tempat bagi dekomposisi termal dari komponen. Uap dilewatkan langsung melalui campuran cairan yang terkandung dalam penyuling, tetapi kelarutan uap dalam cairan harus sangat rendah. Dengan cara ini, penyulingan dapat dilakukan tanpa ketel, meskipun kolom membutuhkan lebih banyak pelat (Gambar 16.12). Bagian pengayaan kolom tidak terpengaruh; namun, keseimbangan panas dan massa global di sekitar zona pembuangan terpengaruh.

Jika C adalah aliran uap yang diumpankan ke kolom, maka keseimbangan komponen dan energi global yang paling tidak stabil di sekitar zona pembuangan dinyatakan sebagai:

$$L_{m+1} + C = V_m + R$$

$$L_{m+1} x_{m+1} = V_m y_m + R x_R$$

$$L_{m+1} \hat{h}_{m+1} + C \hat{h}_C = V_m \hat{h}_m + R \hat{h}_R$$



Gambar 16.12. Distilasi uap

Mempertimbangkan hipotesis dipatuhi ketika metode McCabe-Thiele diterapkan: $L_{m+1} = R$ dan $V_m = C$. Oleh karena itu, garis exhaust (saluran pembuangan) dinyatakan sebagai:

$$y_m = \frac{R}{C} (x_{m+1} - x_R) \text{-----(60)}$$

Dapat diamati bahwa, untuk $x_{m+1} = x_R$, nilai ordinat ke asal adalah nol ($y_m = 0$), menyiratkan bahwa, dalam diagram kesetimbangan, garis buang melewati titik $(x_R, 0)$ alih-alih titik (x_R, x_R) .

Menurut hipotesis McCabe-Thiele, dapat diduga demikian panas laten dari campuran adalah sama. Namun, secara umum, jika m adalah panas laten campuran dan C adalah panas laten uap, dan jika panas yang masuk akal diabaikan, maka dipatuhi bahwa:

$$\lambda_m V_m = C \lambda_C$$

maka

$$L_{m+1} + C = V_m + R$$

$$L_{m+1} + C \frac{\lambda_C}{\lambda_m} = R - C$$

Dengan demikian, saluran pembuangan akan diekspresikan sesuai dengan persamaan:

$$y_m = \frac{R+C\left(\frac{\lambda_C}{\lambda_m}-1\right)}{C(\lambda_C/\lambda_m)} x_{m+1} - \frac{Rx_R}{C(\lambda_C/\lambda_m)} \text{-----(61)}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, G. Granger, Donald Katz, Alan S. Foust and Richard Schneidewind (1956). Evaporation in Unit Operations, John Willey Sons, New York. p: 474-490.
- Fellows,P (2000). Evaporation and Distillation In Food Processing Technology. Principle and Practice. 2th Edition p:CRC Press. Woodhead Pub.Ltd, Cambridge England p: 278 – 290
- Ibarz Albert and Gustavo V. Barbosa-Canovas (2003). Evaporation in Operations of Food Engineering CRC Press New York, p: 625 – 654
- Kolmetz Karl and Timothy Zygula (2017) Resolving Process Distillation Equipment Problems. Engineering Prfactice. Vol 3 No, 8 p:1-26.
- McCabe Warren L, Julian C. Smith and Peter Harriot (1993) Evaporation. In Unit Operation of Chemical Engineering McGraw Hill International Editions. Singapore, p: 463-492
- McCabe Warren L, Julian C. Smith and Peter Harriot (1993) Evaporation In Unit Operation of Chemical Engineering McGraw Hill International Editions. Singapore, p: 521-581
- Seader, J.D, Jefdfreey Siirola and Scott D, Barnicki (2007), Distillation In Perry's Chemical Engineering Handbooks, 7th Edition Mc Graw Hill New York, p: 13-1 to 13-105

BAB XVII

KRISTALISASI

1. Pendahuluan

Kristal yang disebut dengan penghabluran (*crystalization*) adalah proses pembentukan partikel padat dalam satu fase homogen. Kristalisasi terjadi dengan pembentukan partikel seperti dalam uap, seperti halnya dalam pembentukan salju sebagai pembekuan (*soilidification*). Didalam lelehan cair sebagaimana pembentuk kristal tunggal yang besar. Atau sebagai kristalisasi dari larutan cair. Proses ini adalah salah satu teknik pemisahan padat-cair yang sangat penting dalam industri, karena dapat menghasilkan kemurnian produk hingga 100%. Contoh proses kristalisasi : gula pasir, pupuk kristal, lemak, protein, pati, garam, dll. Kristalisasi pembentuk struktur dalam bahan atau produk pangan adalah kristal. Berbagai produk pangan seperti permen dan cokelat mengandung struktur dalam bentuk kristali. Kristalisasi adalah salah satu teknik pemurnian untuk. Menghasilkan bahan kimia murni dalam kondisi yang memenuhi syarat untuk pengemasan dan penyimpanan.

Dalam kristalisasi dan larutan sebagaimana dilaksanakan dalam industri, campuran dua fase cairan induk (*mother liquor*) dan kristal segala ukuran yang mengisi kristalizer (*crystalizer*) dan dikeluarkan sebagai hasil disebut magma.

a. Ukuran kristal

Tujuan utama kristalisasi adalah untuk mendapatkan perolehan yang memuaskan serta kemurnian yang tinggi, tetapi bentuk dan ukuran kristal yang menentukan keberhasilan kristalisasi. Kristal akan diproses lebih lanjut, maka ukuran yang wajar dan keseragaman yang diperlukan dalam proses filtrasi, pencucian dan pelaksanaan reaksi dengan bahan kimia lain, pengangkutan dan penyimpanan kristal. Selain itu kristal yang diinginkan dalam pasar, kuat, tidak mengumpul, besarnya seragam, tidak melekat dalam kemasan. Ukuran kristal ditetapkan dengan luas permukaan total S_p kristal terhadap volumekristal, V_p

$$\left(\frac{S_p}{V_p}\right) = \frac{6}{\phi_s D_p} \text{-----(1)}$$

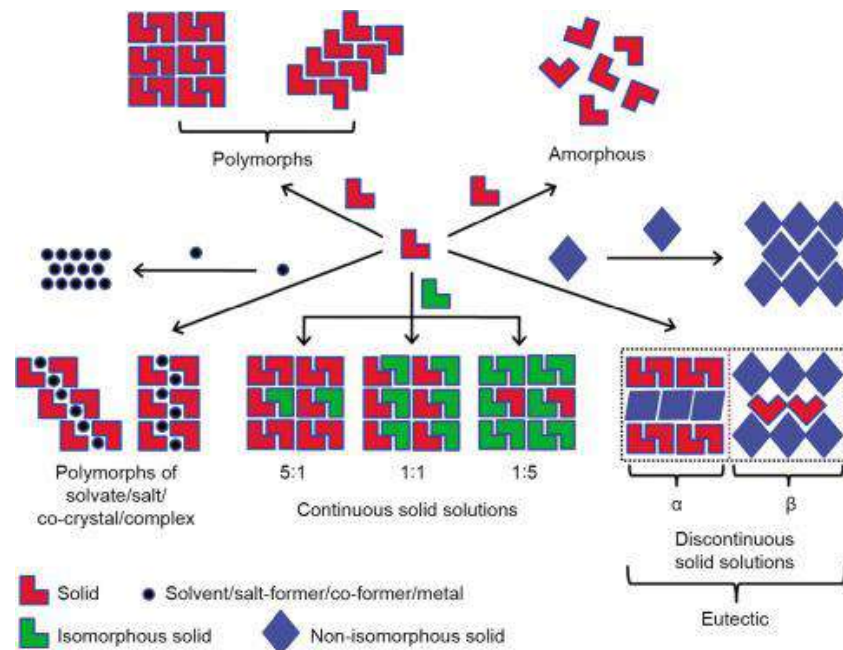
Jika panjang karakteristik L suatu kristal didefinisikan sama dengan $\phi_s D_p$ maka :

$$L = \phi_s D_p = \frac{6 V_p}{S_p} \text{-----(2)}$$

Untuk kubus ditetapkan *sphericity* $\phi = 1$ dan D_p = diameter partikel.

b. Bentuk kristal

Kristal terdiri dari susunan dan berbentuk tiga dimensi yang disebut dengan ***lattice***. Jika proses pembentukan kristal berjalan dengan baik dan tidak ada gangguan dari kristal lain maka bentuknya polihedron yang mempunyai sudut-sudut tajam dan sisi yang rata yang disebut muka (*face*). Bentuk dan ukuran kristal yang berasal dari bahan yang sama selalu mempunyai sudut dan bidang permukaan yang sama sebanding. Oleh karena semua kristal dari setiap bahan tertentu mempunyai sudut antar muka yang sama walaupun terdapat perbedaan besar dalam tingkat perkembangan masing-masing muka, bentuk kristal diklasifikasi atas dasar sudut-sudut. Ada tujuh kristal yaitu kubus, heksagonal, trigonal, tetragonal, ortotrombik, monoklin, dan triklin. Satu bahan dapat terbentuk dua kelas bentuk kristal atau lebih tergantung pada kondisi proses.



Gambar 17.1. Bentuk kristal

2. Prinsip Kristalisasi

2.1. Proses kristalisasi

Kondisi lewat jenuh untuk suatu larutan adalah persyaratan pembentukan kristal seperti larutan gula atau garam. Kondisi lewat dingin suatu cairan atau lelehan (melt) akan membentuk kristal seperti air atau lemak. Komponen bahan pangan yg terutama berperan membentuk kristal adalah air, gula, alkohol, lemak, dan pati. Untuk membentuk kristal, fase cairan (*liquid*) harus melewati kondisi kesetimbangan dan menjadi lewat jenuh (untuk larutan) atau kondisi lewat dingin (untuk lelehan). Kondisi tersebut dapat tercapai melalui pendinginan di bawah titik leleh suatu komponen (misalnya air) atau melalui penambahan sehingga dicapai kondisi lewat jenuh (misalnya garam dan gula).

a. Kemurnian Hasil

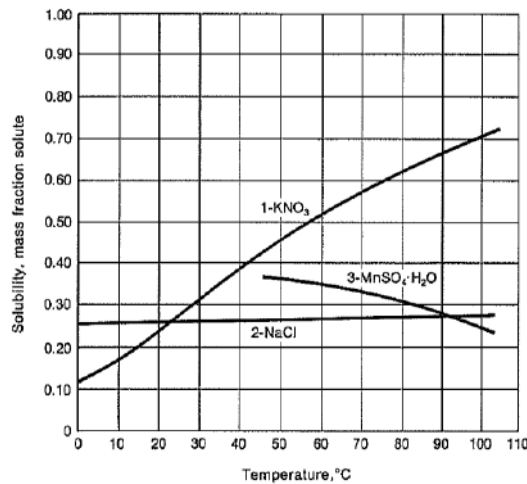
Kristal yang terbentuk dengan baik biasanya hampir murni tetapi masih mengandung cairan induk saat dikeluarkan dari magma akhir. Bila kemurnian cairan induk yang terkandung rendah dapat dikeringkan akan tetapi dapat terjadi kontaminasi. Dalam prakteknya sebagian besar cairan induk yang terkandung itu dipisahkan dari kristal dengan cara filtrasi atau sentrifugasi, sedang sisanya dikeluarkan dengan mencucinya dengan pelarut segar. Langkah pemurnian tergantung pada ukuran dan keseragaman kristal.

b. Keseimbangan Hasil

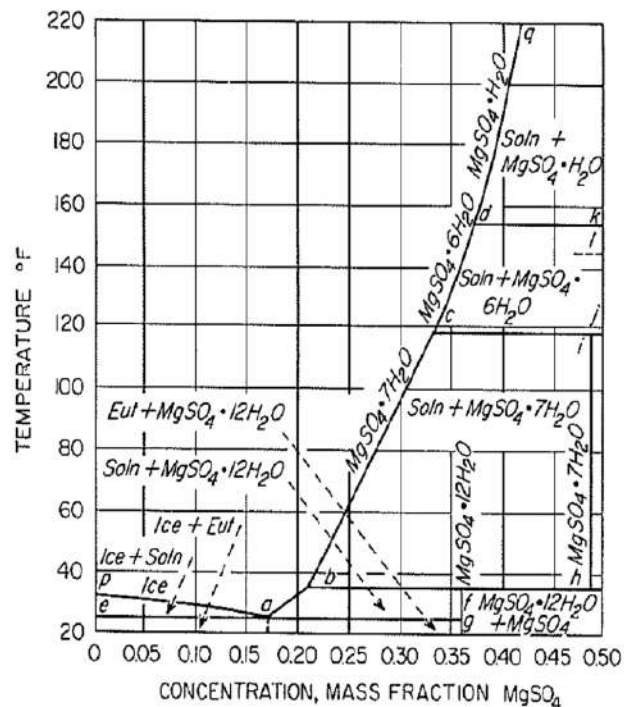
Keseimbangan dalam proses kristalisasi dapat dicapai bila larutan jenuh dan keseimbangan untuk kristal adalah kurva kelarutan. Kelarutan kristal berukuran besar lebih tinggi dari kelarutan kristal berukuran kecil. Jika diperhatikan kurva kelarutan tersebut di atas bahwa kenaikan suhu pada pada Gambar 17.2 contoh (3) tidak menaikkan kelarutan berbeda halnya dengan no (1).

Grafik dibawah (Gambar 17.3) ini menunjukkan kelarutan $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dalam air. Garis putus-putus *e-a-g-h-f-h-i-j* menunjukkan pembekuan (solidifikasi) larutan zat cair berbagai fase zat padat. Luas *p-a-e* menunjukkan campuran es dari larutan jenuh, setiap larutan mengandung kurang dari 16.5 %, MgSO_4 akan mengendapkan es bila suhunya mencapai garis *p-a*. Garis putus-putus *a-b-c-d-g* merupakan kurva kelarutan. Zat padat yang terbentuk titik *a* disebut eutectic, merupakan campuran antara es dan $\text{MgSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Antara *a-b*, kristalnya adalah $\text{MgSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Antara *b-c* zat padat $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan diatas titik *c-d* kristalnya adalah $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Dalam daerah *c-i-h-b* sistem keseimbangan terdiri dari campuran larutan jenuh kristal $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ daerah *d-k-j-c* campuran

antara larutan jenuh dengankristal $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan daerah gdk campuran larutan jenuh dengan $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.



Gambar 17.2. Kurva kelarutan. (1). KNO_3 , (2) NaCl , (3) MnSO_4 , semua larut dalam air



Gambar 17.3. Diagram fase sistem $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Soal 1

Satu larutan yang terdiri dari 30 % MgSO_4 dan 70 % H_2O didinginkan sampai 60 °F. Selama pendinginan, 5 % dari total air yang terdapat dalam sistem menguap. Berapa kg kristal yang terdapat per kilogram campuran semula.

Penyelesaian.

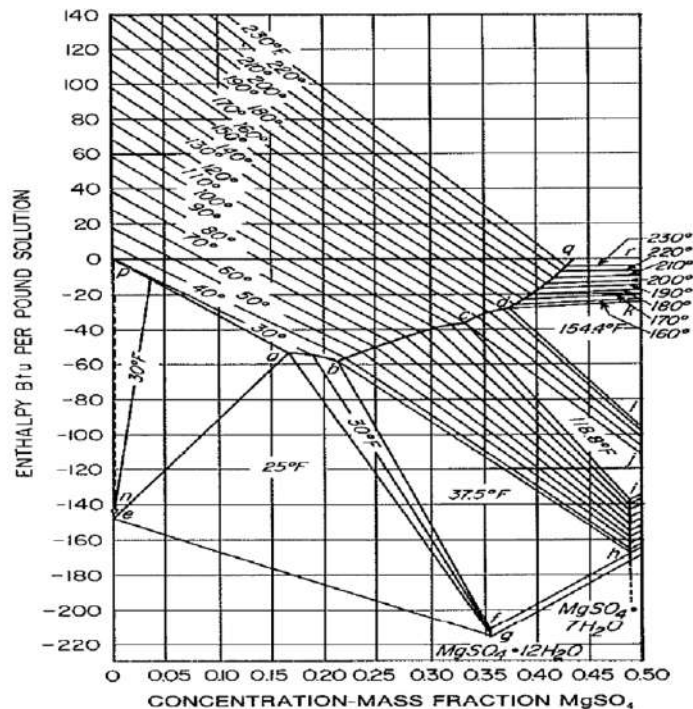
Dari Gambar 17. 3 terlihat bahwa kristal ialah $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan bahwa konsentrasi cairan induk ialah 24.5 % MgSO_4 . Bebas air dan 75.5 % H_2O per 1000 kg larutan awal, air total adalah 70 % x 1000 kg = 700 kg. banyaknya penguapan 5 % x 700 kg = 35 kg. Bobot molekul MgSO_4 dan $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ adalah 120.4 dan 246.5 sehingga total dalam batch adalah $1000 \times 0.30 (246.5/120.4) = 614$ kg dan bebas air adalah $1000 - 35 - 614 = 351$ kg. Dalam 100 kg cairan induk terdapat 24.5 $(246.5/120.4) - 50.16$ kg $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan $100 - 50.16 - 49.84$ kg air bebas jadi $(50.16/49.84) \times 351 = 353$ kg. Panen akhir adalah $614 - 353$ kg = 261 kg kristal.

2.2 Neraca Entalpi

Perhitungan neraca kalor sangat penting dalam perhitungan pemakaian energy. Kalor ini adalah kalor laten yang keluar, karena pembentukan zat padat dari larutan. Kristalisasi itu eksoterm dan kalor kristalisasi berubah menjadi suhu dan konsentrasi. Kalor kristalisasi sama dengan kalor kristal yang diserap saat menjadi larutan jenuh.

Soal 2:

Satu larutan MgSO_4 32.5 % pada suhu 120°F didinginkan tanpa penguapan yang berarti menjadi 70°F dalam kristalisator batch dengan pengisian air. Berapa banyak kalor yang harus dikeluarkan dari larutan per ton kristal?



Gambar 17.4. Diagram entalpi sistem $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ atas dasar air cair pada suhu 32°F (0°C)

Penyelesaian

Larutan awal ditunjukkan oleh titik pada Gambar 17.4 pada konsentrasi 0.325 di dalam bidang larutan tak jenuh pada isoterm 120°F koordinat titik ini ialah -33.0 Btu/lb. Titik untuk magma terakhir terletak pada daerah *c-i-h* pada konsentrasi 0.325. Koordinat entalpi pada titik ini adalah -78.4. Jadi untuk setiap 100 lb larutan terjadi perubahan entalpi larutan.

$$100 (78.4 - 33.0) = 4540 \text{ btu.}$$

Prinsip alam proses ini adalah isoterm, dengan membaca pada Garfik 3, pada suhu 70°F. Konsentrasi cairan induk adalah 0.259 dan kristal 0.488. Jadi banyaknya kristal adalah

$$100 \frac{0.325-0.259}{0.4880-0.259} = 28.8 \text{ lb/100 lb bubur.}$$

2.3 Keadaan Supersaturasi

Neraca masa dan entalpi tidak dapat memberikan gambaran tentang distribusi ukuran kristal (*Crystal Size Distribution* =CSD) yang keluar dari crystalizer. Hukum kekekalan tidak berbeda nyata dengan kristal besar dan kristal kecil. Dalam pembentukan kristal diperlukan dua langkah; (1) lahirnya satu partikel baru yang disebut dengan nukleasi (*nucleation*) dan, (2) tumbuhnya partikel menjadi sesuatu dengan ukurannya makroskopik yang disebut dengan tahap pertumbuhan. Dalam katalisator CSD ditentukan oleh interaksi antara laju nukleasi dan laju pertumbuhan. Keseluruhan proses ini sangat rumit ditinjau dari segi kinetik. Potensial pendorong untuk kedua langkah itu ialah

kelewat-jenuhan atau supersaturasi (*supersaturation*), dan baik nukleasi maupun pertumbuhan tidak dapat berlangsung didalam larutan jenuh atau tidak jenuh dan kemudian berfungsi sebagai inti untuk pertumbuhan kristal selanjutnya apabila larutan menjadi lewat jenuh. Dalam nukleasi dan pertumbuhan menggunakan mol pengganti satuan massa.

Keadaan lewat jenuh dapat diciptakan dengan tiga metode;

- (1) jika kelarutan zat terlarut itu meningkat dengan kenaikan suhu, sebagaimana halnya dengan bahan kimia anorganik, maka larutan jenuh menjadi lewat jenuh hanya dengan pendinginan dan penurunan suhu,
- (2) jika kelarutannya tergantung pada suhu relatif kecil sebagaimana halnya pada garam dapur kita dapat membuat keadaan jenuh dengan menguapkan sebagian dari pelarut,
- (3) penambahan komponen yang bekerja secara fisik dengan membentuk satu pelarut dengan pelarut asal, dimana kelarutan zat terlarut berkurang. Proses ini disebut dengan penggaraman (*salting*), komponen ini dapat bereaksi dengan zat terlarut dan membentuk senyawa yang baru dan kelarutan yang menurun.

Tahapan kristalisasi :

- a. Supersaturated state =>kondisi larutan lewat jenuh
- b. Nucleation =>pembentukan inti kristal dari larutan jenuh tersebut
- c. Growth =>pertumbuhan/perkembangan molekul kristal dari fase nucleation hingga mencapai keseimbangan (*Equilibrium state*).

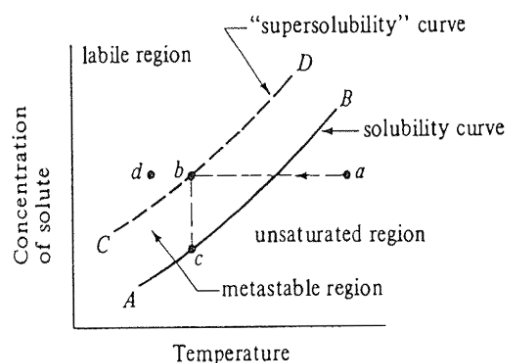
Supersaturasi

Pendinginan dalam proses kristalisasi menyangkut kelarutan yang menurun oleh suhu pendinginan yaitu: solubilitas padatan dalam cairan akan menurun seiring dengan penurunan suhu (pendinginan) untuk larutan yg dipengaruhi suhu.

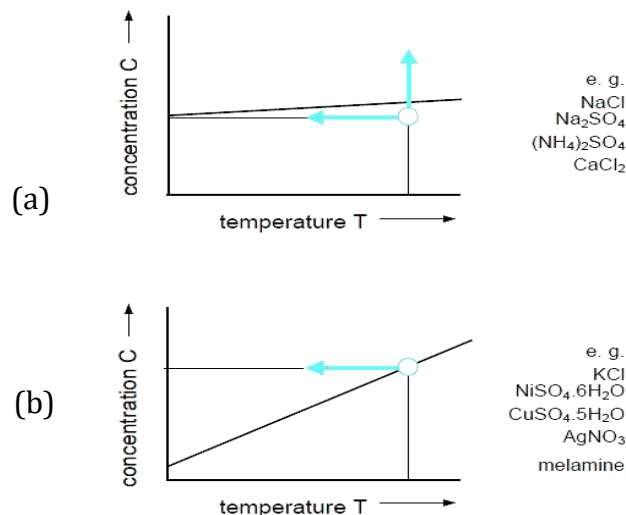
- a. Penguapan solven konsentrasi larutan menjadi makin pekat
- b. Penambahan larutan lain (non solven) menurunkan solubilitas padatan
- c. Reaksi kimia
- d. Ketika suatu cairan atau larutan telah jenuh, terdapat termodinamika yang mendorong kristalisasi. Molekul-molekul cenderung membentuk kristal karena pada bentuk kristal, energi sistem mencapai minimum.
- e. Selama nukleasi atau pembentukan inti kristal, molekul dalam wujud cair mengatur diri kembali dan membentuk kluster yg stabil dan mengorganisasikan diri membentuk matriks kristal.

3. Nukleasi

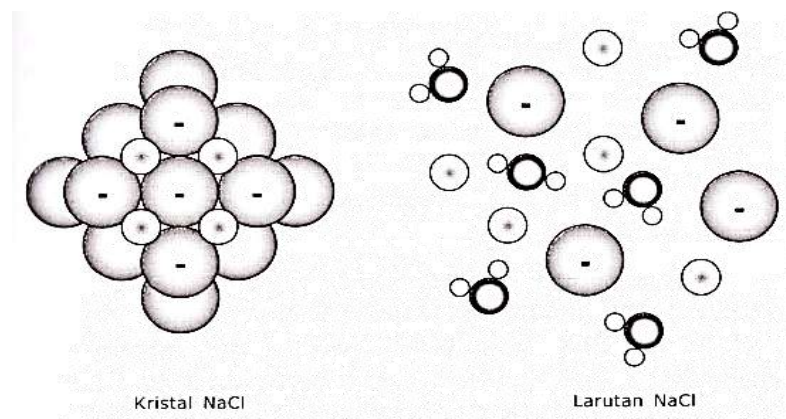
Laju nukleasi ialah banyaknya partikel baru yang terbentuk persatuan waktu persatuan volume magma atau larutan induk babas zat padat. Besaran ini merupakan parameter kinetik pertama yang mengendalikan CSD (= distribusi ukuran kristal).



Gambar 17.5. Hubungan konsentrasi dan temperatur



Gambar 17.6. (a) Kristalisasi NaCl , Na_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, CaCl_2
 b). KCl , $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, AgNO_3 , melamine



Gambar 17.7. Perbedaan larutan NaCl dengan kristal NaCl

Asal kristal dalam kristaliser, jika semua sumber partikel dapat dikatakan termasuk dalam satu nukleasi, maka terdapat beberapa nukleasi. Kristaliser dalam pembentukan kristal dikelompokkan atas tiga yaitu:

- (1) nukleasi palsu (*spurious nucleation*),
- (2) nukleasi primer dan
- (3) nukleasi sekunder.

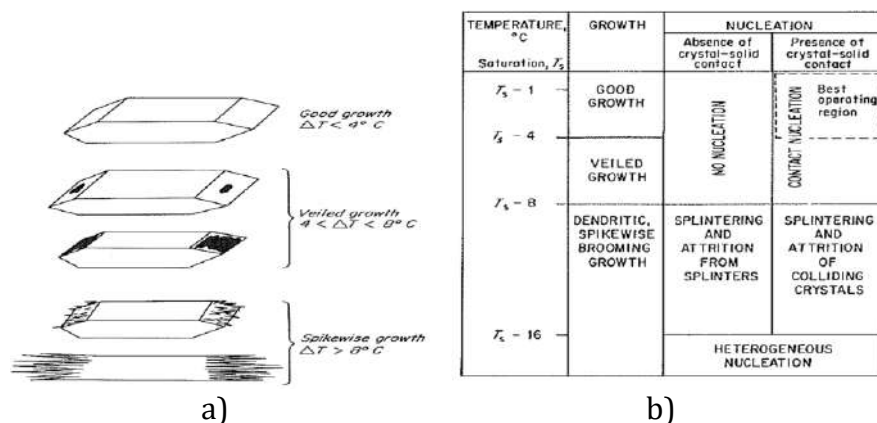
Salah satu asal kristal ialah pengurasan makroskopik yang berkaitan dengan nukleasi. Kristaliser magma sirkulasi mempunyai pengaduk propeller (bentuk kipas) yang bekerja didalamnya atau pompa sirkulasi yang bekerja di luar kristaliser. Oleh karena dampak bagian bergerak itu, kristal yang lunak dan lemah dapat pecah fragmen-fragmennya membulatkan sudut-sudut dan ujung-ujungnya, dan menghasilkan kristal yang baru, baik besar maupun kecil. Atrisi (pengurasan) adalah satu-satunya sumber kristal baru yang tidak bergantung pada lewat jenuh. Pada sistem kristalisasi itu ditambahkan kepada benih kristal-kristal yang berasal dari hasil kristalisasi sebelumnya. Benih-benih ini biasanya mempunyai sejumlah kristal pada permukaannya, yang terbentuk pada waktu pengeringan dan penyimpanannya yang biasanya dilakukan sesudah pembuatan kristal itu. Kristal-kristal kecil itu segera tersapu lepas dan kemudian tumbuh sendiri dalam larutan lewat jenuh. Keadaan ini disebut pembiakan awal (initial breeding). Hal ini dapat dicegah dengan mengolah kristal itu sebelum digunakan, baik dengan

kontak dengan larutan tak jenuh atau pelarut atau dengan melakukan penumbuhan permulaan di dalam larutan lewat jenuh yang stagnan. Nukleasi palsu yang berhubungan dengan pertumbuhan terjadi bila keadaan lewat jenuh itu besar atau bila sirkulasi magma tidak baik. Cirinya terdapat pertumbuhan abnormal berupa jarum atau serrat pada ujung kristal dan pada kondisi ini dapat tumbuh lebih cepat dari pada sisi kristal. Ketidak-sempurnaan lain yang berhubungan dengan pertumbuhan tetapi tidak berkaitan dengan nukleasi disebut pertumbuhan terkerudung (veiled growth).

3.1 Nukleasi Primer

Pada dasarnya fenomena nukleasi sama dengan kristalisasi dari larutan, kristalisasi dari cairan, kondensasi tetesan kabut didalam uap yang lewat dingin, dan pembangkitan gelembung didalam zat cair panas lanjut. Fenomena pada dasarnya disebut nukleasi homogen yang terbatas pada pembentukan partikel baru didalam satu fase tanpa terpengaruh oleh satu zat padat apapun juga termasuk dinding bejana atau bahkan partikel bahan asing mikroskopik yang paling halus sekalipun. Tahapan nukleasi primer adalah:

- Kondisi supersaturasi dicapai, langkah pertama adalah membentuk inti kristal primer, yang akan merangsang pembentukan kristal.
- Untuk membentuk inti kristal primer, jika dibuat dari larutan induk, maka beda konsentrasi larutan lewat jenuh dengan konsentrasi jenuh ($C-C^*$) sebagai driving force proses kristalisasi harus dibuat besar (membutuhkan energi yang sangat besar) untuk skala industri, tidak efisien.
- Lebih disukai cara penambahan kristal yang sudah jadi, untuk menginisiasi pembentukan inti kristal primer.



Gambar 17.8. (a) Contoh rejim-rejim pembentukan (b) Efek lewat jenuh terhadap pertumbuhan kristal dan jenis nukleasi $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Nukleasi Homogen

Kristalisasi yang berlangsung pada larutan hampir tidak pernah terjadi, kecuali pada beberapa reaksi pengendapan. Namun prinsip fenomena ini sangat penting untuk memahami jenis-jenis nukleasi lain yang lebih berguna. Inti kristal dapat terbentuk dari berbagai jenis partikel: molekul, atom atau ion. Partikel itu bergabung membentuk satu gerombol atau klaster, yaitu kumpulan yang longgar dan mudah hancur, tetapi karena banyaknya partikel bergabung membentuk embrio yang merupakan permulaan susunan kisi dan permulaan pembentukan dari satu fase baru yang terpisah. Dalam kebanyakan hal embrio ini berumur pendek, dan kembali menjadi gerombol atau partikel individual tetapi jika larutan lewat jenuh (supernaturated) cukup besar maka embrio tumbuh sehingga mencapai titik keseimbangan termodinamik dengan larutan tersebut, dan ini disebut dengan inti (nucleus). Merupakan perhimpunan terkecil dari partikel-partikel yang tidak larut kembali, dan membentuk kristal. Jumlah partikel membentuk inti yang stabil untuk air berkisar ± 80 .

Keseimbangan

Secara termodinamik perbedaan antara partikel kecil dan partikel besar pada suhu yang sama yaitu partikel kecil memiliki energy permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan partikel besar. Akibat perbedaan ini tingkat kelarutan partikel kecil yang besarnya kurang dari beberapa mikrometer lebih besar dari kristal ukuran besar. Kristal ukuran kecil dalam keseimbangan larutan lewat jenuh tidak stabil, oleh sebab itu jika dalam system keseimbangan itu terdapat kristal besar akan tumbuh hingga kristal kecil itu pupus. Fenomena ini disebut pematangan Oswald (Ostwald ripening). Pengaruh ukuran partikel terhadap kelarutan merupakan faktor menentukan nukleasi.

Persamaan Kelvin. Kelarutan satu zat dihubungkan dengan ukuran partikelnya oleh persamaan Kelvin:

$$\ln \alpha = \frac{4V_M \sigma}{vRTL} \quad (3)$$

dimana :

L = ukuran kristal

α = konsentrasi larutan lewat jenuh dan larutan jenuh

V_M = volume molar kristal

σ = tegangan antar muka rata-rata antara zat padat dan zat cair

v = banyaknya ion per molekul zat terlarut (untuk kristal $v=1$)

s = faksi lewat jenuh

Jika $\alpha = 1+s$ menunjukkan bahwa kristal yang sangat kecil dengan ukuran L dapat berada dalam keseimbangan dengan larutan yang lewat jenuh s relatif terhadap larutan jenuh yang berada dalam keseimbangan dengan kristal besar. Laju nukleasi dari teori kinetika kimia, diberikan oleh persamaan:

$$B^0 = C \exp \left\{ - \frac{16\pi\sigma^3 V_M^2 Na}{3v^2 (RT)^3 (\ln \alpha)^2} \right\} \quad (4)$$

B^0 = laju nukleasi, jumlah/cm³-det

Na = tetapan Avogadro

R = tetapan gas, 8,3143 x 10 erg/g mol

C = faktor frekuensi.

Nukleasi Heterogen

Efek katalisasi dari partikel-partikel padat terhadap laju nukleasi ialah menurunkan energi yang diperlukan untuk nukleasi. Diperkirakan jika inti itu membasahi permukaan katalis, kerja pembentukan nukleasi akan berkurang. Hasil percobaan nukleasi heterogen larutan kalium klorida menunjukkan bahwa nukleasi zat cair konsisten dengan nilai tegangan nyata permukaan sebesar 2-3 erg/cm² baik untuk nukleasi yang dikatalisa maupun nukleasi tanpa penambahan katalis. Jika situasi terakhir ini adalah nukleasi sekunder yang dikatalisa sendiri oleh benih-benih mikroskopik, nilai σ untuk larutan KCl yang dibenih adalah sebesar 2,8 erg/cm² pada suhu 300°K. Jika σ digunakan untuk menandai tegangan permukaan nyata, jika C dianggap 10^{25} , dan jika pendekatan matematik $\ln \alpha = \alpha - 1 = s$ diterima untuk $\alpha - 1$ yang kecil, ditulis dengan persamaan tersebut dibawah ini (5)

$$B^0 = 10^{25} \exp \left\{ - \frac{16\pi V_M^2 Na \sigma_a^3}{3(RT)^3 v^2 s^2} \right\} \quad (5)$$

Soal 3

Andaikan laju nukleasi heterogen kalium klorida konsisten dengan tegangan antar muka sebesar 2 erg/cm², tentukan laju nukleasi sebagai fungsi s pada suhu 80°F (300 °K).

Penyelesaian. Gunakan persamaan (5), bobot molekul KCl ialah 74,56. Densitas kristal adalah 1.988 g/cm³. Oleh karena KCl terdissosiasi menjadi dua ion K⁺ dan Cl⁻, $v = 2$.

Jadi

$$V_M = \frac{74,56}{1,988} = 37,51 \text{ cm}^3/\text{g mol}$$

$$\sigma_a = 2,5 \text{ erg/cm}^2$$

Eksponen dalam persamaan 5 adalah

$$- \frac{16\pi(37,51)^2 \times 6,0225 \times 10^{23} \times 2,5^3}{3(300 \times 8,3134 \times 10^7)^3 (2^2 s^2)} = -\frac{0,03575}{s^2}$$

Untuk $B^0 = 1$ nilai s diberikan oleh

$$1 = 10^{25} e^{-\frac{0,03575}{s^2}} = e^{57,565} e^{-0,03575/s^2}$$

$$\frac{0,03575}{s^2} = 57,565 \rightarrow s = \sqrt{\frac{0,03575}{57,565}} = 0,025$$

$$B^0 = e^{57,565} e^{0,03575/0,025}$$

Soal 4.

Berapakah besarnya inti yang berada dalam keseimbangan dengan lewat jenuh sebesar 0.029, pada kondisi soal 3 ?

Penyelesaian.

Soal ini diselesaikan dengan persamaan Kelvin dengan Nilai $\alpha = 1 + 0.029 = 1.029$. Substitusi nilai V_M, σ_a, v, R, T dari contoh (3)

Rumus $\rightarrow \ln \alpha = \frac{4V_M \sigma}{vRTL}$

$$\ln 1.029 = \frac{4 \times 35.51 \times 2.5}{2 \times 8.3143 \times 10^7 \times 300 L} \quad L = 2.63 \times 10^{-7} \text{ atau } 2.63 \text{ nm}$$

Tabel 17.1. Hubungan laju s dengan nilai B^0

s	B^0	s	B^0
0,023	$4,47 \times 10^{-5}$	0,0255	13,3
0,024	$1,11 \times 10^{-2}$	0,027	$5,04 \times 10^3$
0,02492	1	0,029	$3,46 \times 10^6$

3.2 Nukleasi Sekunder

Proses pembentukan kristal dipengaruhi oleh kristal-kristal makroskopik yang sudah ada dalam magma dinamakan nukleasi sekunder. Nukleasi dikenal 2 macam yaitu (1) yang dihasilkan oleh geser fluida (2) tubrukan antara sesama kristal atau antara kristal dengan dinding kristaliser, impeller putar atau agitator bentuk daun.

a. Nukleasi geser fluida

Dapat terjadi bila larutan lewat jenuh bergerak dengan kecepatan agak tinggi melewati permukaan kristal yang sedang bertumbuh, tegangan-tegangan geser (*shear stress*) pada lapisan batas dapat menyebabkan embrio atau inti itu tersapu dan muncul kristal baru. Jika tidak ada kejadian itu, embrio seharusnya menjadi bagian dari kristal yang sedang bertumbuh tadi. Fenomena ini telah didemonstrasikan dalam nukleasi $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dimana larutan pada keadaan lewat jenuh diberi tegangan geser pada muka kristal dan larutan itu didinginkan segera sehingga menjadi lebih jenuh lagi. Kemudian larutan itu dibiarkan sehingga inti itu tumbuh menjadi ukuran makroskopik.

b. Nukleasi kontak

Nukleasi kontak merupakan fenomena yang lazim terjadi pada kristalizer industri terjadi pada larutan lewat jenuh rendah, umumnya dipengaruhi oleh intensitas pengadukan menyebabkan kristal tumbuh dikarenakan kontak antara kristal dan larutan. Seharusnya laju pertumbuhan kristal optimum untuk menghasilkan kualitas baik. Nukleasi sekunder membutuhkan bibit atau kristal yang sudah jadi untuk merangsang pertumbuhan kristal yang baru. Energi yang diperlukan untuk menumbuk kristal itu rendah sekali, yaitu < 1000 erg, dan efeknya tidak terlihat pada muka kristal. Posisi nukleasi kontak pada pertumbuhan kristal ditunjukkan pada Gambar 17.8 (b).

Nukleasi kontak merupakan gabungan antara pemecahan dan pertumbuhan mikroskopik yang terdapat pada muka kristal yang sedang bertumbuh dan gangguan oleh benda yang kontak dengan gerombol partikel zat terlarut yang bergerak sehingga terorganisasi menjadi kristal

3.3 Pertumbuhan Kristal

Pertumbuhan kristal adalah satu proses difusi, yang dimodifikasi oleh pengaruh permukaan padat tempat pertumbuhan itu berlangsung. Koefisien perpindahan massa yang biasa, yaitu k_y berlaku pada langkah ini.

Koefisien pertumbuhan individual dan menyeluruh. Setelah mencapai permukaan, molekul atau ion itu harus ditampung oleh kristal dan disusun dalam kisi ruang. Reaksi berlangsung dengan laju tertentu pada permukaan dan keseluruhan proses itu terdiri dari dua langkah. Baik langkah difusi maupun langkah antara hanya dapat berlangsung jika larutan itu lewat jenuh.

Koefisien Pertumbuhan Individual dan Menyeluruh.

Dalam perpindahan massa diandaikan terdapat keseimbangan pada antar muka kedua fase. Jika ini benar terdapat pada kristalisasi, konsentrasi larutan pada muka kristal tentu sama dengan nilai jernih y_s dan gaya dorong total perpindahan massa itu adalah $y - y_s$ dimana y adalah konsentrasi pada jarak tertentu dari muka kristal. Tetapi karena adanya reaksi permukaan, diperlukan pada gaya dorong sebagai langkah antara, karena itu y' dimana y_s, y', y . Hanya $y - y'$ yang beragitasi sebagai gaya dorong untuk perpindahan massa (Gambar 17.9 dan 17.10). Koefisien untuk perpindahan massa dapat dituliskan.

$$N_A = \frac{m}{s_p} = k_y (y - y') \text{ ----- (6)}$$

N_A = fluks molar. Mol persatuan waktu persatuan luas

m = laju perpindahan massa, mol/jam

s_p = luas permukaan kristal

k_y = koefisien perpindahan massa

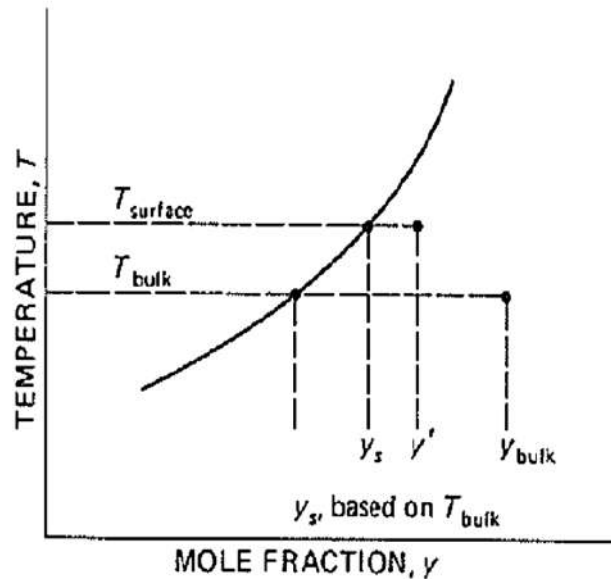
Koefisien untuk reaksi permukaan k_s dari persamaan

$$\frac{\dot{m}}{s_p} = k_s (y' - y_s) \text{ ----- (7)}$$

Tahanan ke dua langkah itu dapat dijumlah disebut

$$K = \frac{\dot{m}}{s_p (y - y_s)} \text{ ----- (8)}$$

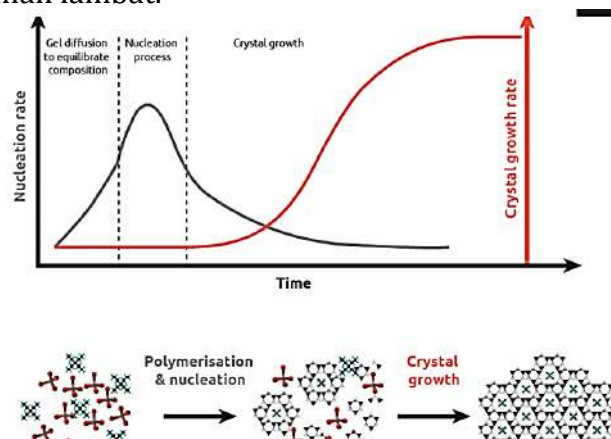
$$K = \frac{1}{\frac{1}{k_y} + \frac{1}{k_s}} \text{ ----- (9)}$$



Gambar 17.9. Hubungan suhu dan konsentrasi dalam proses kristalisasi Kecepatan pertumbuhan nukleasi

3.3.1 Beberapa Parameter yang Mempengaruhi Terbentuknya Inti Kristal

- Kondisi lewat dingin larutan.* Semakin dingin larutan waktu induksi (waktu yg diperlukan sampai inti kristal terbentuk) akan semakin pendek. Penurunan suhu akan menginduksi pembentukan kristal secara cepat.
- Sumber inti kristal.* Inti yg terbentuk pada pembentukan tipe heterogen memiliki kecenderungan mempercepat kristalisasi
- Viskositas.* Ketika viskositas meningkat akibat menurunnya suhu dan meningkatnya konsentrasi larutan, proses pembentukan inti kristal akan terbatas. Hal ini disebabkan berkurangnya pergerakan molekul pembentuk inti kristal dan terhambatnya pindah panas sebagai energi pembentukan inti kristal.
- Kecepatan pendinginan.* Pendinginan yg cepat akan menghasilkan inti kristal yg lebih banyak dibandingkan pendinginan lambat.



Gambar 17.10. Pertumbuhan Kristal

- Kecepatan agitasi.* Proses agitasi mampu meningkatkan laju pembentukan inti kristal. Agitasi menyebabkan pindah massa dan pindah panas berjalan lebih efisien.
- Bahan additive.* Bahan tambahan dan pengotor bahan-bahan tambahan dapat berperan untuk membantu atau menghambat pembentukan inti kristal

- g. *Densitas massa kristal*. Jumlah kristal yg terdapat dalam satu unit volume yg terdapat dalam larutan akan berpengaruh pada tingkat pertumbuhan setiap kristal.

3.3.2 Pertumbuhan Kristal

- Fase ini sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dari larutan, suhu, energi yang dipakai untuk berada pada tahap ini (misalnya agitasi) dan tambahan eksternal (memakai molekul kristal kembali –seeding agent).
- Kecepatan pertumbuhan kristal

$$G = \lim_{\Delta L \rightarrow \infty} \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{dL}{dt}$$

G = kecepatan pertumbuhan kristal selama interval waktu Δt ,
 ΔL = pertambahan ukuran kristal, Ukuran {panjang atau tebal kristal}

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{solut dalam kristal}}{\text{solut dalam umpan}}$$

Neraca massa total di sekitar kristaliser

$$F = L + C$$

Neraca massa solut di sekitar kristaliser

$$X_F \cdot F = X_L \cdot L + X_C \cdot C$$

Keseimbangan “ Mother Liquor berkeseimbangan dengan kristal, Neraca panas disekitar kristaliser”

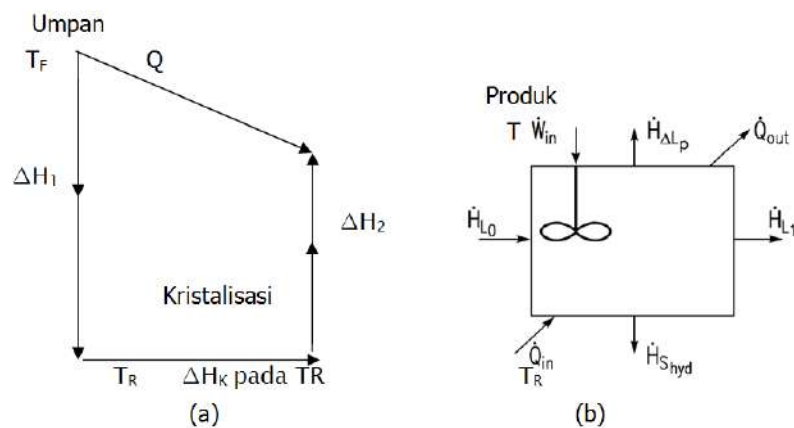
$$F \cdot h_F + Q = C \cdot h_C + L \cdot h_L$$

h_F = entalpi umpan ; h_C = entalpi kristal ; h_L = entalpi liqor Q = kalori yang diberikan

3.3.3. Jenis kristalisasi

Berdasarkan metode pembentukan larutan supersaturation, kristalisasi dibedakan menjadi:

- Cooling crystallization Evaporative crystallization
- Salting out crystallization Reactive crystallization



Gambar 17.11. (a) Keseimbangan energi (b) Pengadukan dalam proses kristalisasi

$$Q = \Delta H_1 + \Delta H_K C + \Delta H_2$$

$$Q_{in} + H_{L0} + W_{in} = Q_{out} + H_{L1} + H_{shyd} + H_{\Delta Lp}$$

Q_{in} = pasokan aliran panas H_{L0} = entalpi larutan umpan
 W_{in} = pasokan daya H_{L1} = entalpi suspensi produk
 Q_{out} = panas yang keluar H_{shyd} = entalpi kristal
 $H_{\Delta Lp}$ = entalpi uap

3.4 Jenis kristalisator

- 1) *Tangki Kristalizer*. Kristalizer yang paling kuno. Larutan jenuh, panas dibiarkan berkontak dengan udara terbuka dalam tangki terbuka.
- 2) *Scraped Surface Crystallizers*. Contoh kristalizer jenis ini adalah Swenson-Walker Crystallizer. Bagian luar dinding dilengkapi dengan jaket pendingin dan sebuah pisau pengeruk yang akan mengambil produk kristal yang menempel pada dinding
- 3) *Forced Circulating Liquid, Evaporator Crystallizer*. Kristalizer jenis ini mengkombinasikan antara pendinginan dan evaporasi untuk mencapai kondisi super saturasi. Larutan terlebih dulu dilewatkan pemanas HE (*heat exchanger*), kemudian menuju badan kristalizer. Disini terjadi flash evaporation, mengurangi jumlah pelarut dan meningkatkan konsentrasi solut, membawa ke kondisi super saturasi. Selanjutnya larutan ini mengalir melalui area fluidisasi dimana kristal terbentuk melalui nukleasi sekunder. Produk kristal diambil sebagai hasil bawah, sedangkan larutan pekat direcycle, dicampur dengan umpan segar.
- 4) *Circulating Magma Vacuum Crystallizer*. Pada tipe kristalizer ini, baik kristal ataupun larutan disirkulasi diluar badan kristal. Setelah dipanaskan larutan akan dialirkan ke badan kristalizer. Kondisi vakum menjadi penyebab menguapnya pelarut, sehingga menjadi lewat jenuh
- 5) *Continuous Laminar Shear Crystallizer*. Merupakan kristalizer jenis nanostruktur dengan desain alat yang dilengkapi dengan sistem pendingin. Merupakan jenis kristalizer dengan umpan-umpannya sebaiknya berukuran besar dengan bentuk polimorfik yang berasal dari lelehan. Continuous Laminar Shear Crystallizer untuk proses dan pembuatan coklat, margarine, susu, dan pelembut makanan.
- 6) *Continuous Stirred Tank Reactor Crystallizer*. Pertumbuhan kristal dalam sebuah Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Crystallizer dapat digunakan untuk meningkatkan ukuran pertambahan luas distribusi dari penyemaian populasi kristal dan juga dapat meningkatkan cakupan permukaan kristal.

Soal 4.

Sebuah kristalizer vacuum kontinu diumpan dengan larutan MgSO_4 31 %. Suhu keseimbangan magma didalam kristalizer itu adalah 86°F dan kenaikan titik didih larutan adalah 2°F . Magma yang dihasilkan ialah 5 ton $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ perjam. Ratio volume zat padat terhadap magma adalah 0.15, densitas kristal dan cairan masing masing 105 lb/ft^3 dan 82.5 lb/ft^3 , titik uap 0.5771 lb/in^2 dan enthalpi (H) = 1098 btu/lb . Berapakah suhu umpan, laju umpan dan laju evaporasi

Penyelesaian.

Entalpi dan konsentrasi rata-magma produk dihitung dari data pada Gambar 17. 4. Garis lurus fd ialah isotherm 86°F dalam daerah $bcdh$. Koordinat titik terminalnya adalah untuk titik f $H = -43 \text{ Btu/lb}$ dan $c = 0.285$, dan untuk titik d $H = -149 \text{ Btu/lb}$, $c = 0.488$. rasio massa kristal terhadap cairan induk adalah:

$$\frac{0,15 \times 105}{0,85 \times 82,5} = 0,224$$

Laju produksi cairan induk adalah $210.000/0.224 = 44.520 \text{ btu/jam}$, dan magma total yang dihasilkan adalah $10.000 + 44.520 = 54.520$. Konsentrasi rata MgSO_4 di dalam magma adalah:

$$\frac{0,224 \times 0,488 + 0,285}{1,224} = 0,332$$

Entalpi magma adalah $\frac{0,224(-149)(-43)}{1,224} = -62,4 \text{ Btu/lb}$,

Kedua nilai itu merupakan koordinat titik e , titik pada umpan itu harus terletak pada garis ae . Oleh karena konsentrasi umpan adalah 0.31 entalpi umpan itu adalah ordinat titik b yaitu -21 BTU/lb . Titik b terletak pada isotherm 130°F , sehingga suhu ini adalah suhu umpan. Menurut prinsip titik berat laju evaporasi adalah

$$54,520 \frac{-21 - (-62.4)}{1098 - (-21)} = 2,017 \frac{\text{lb}}{\text{jm}} \left(915 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

Laju umpan adalah $54,520 + 2,017 = 56,537 \text{ lb/jam}$ ($25,6345 \text{ kg/jam}$).

4. Kristalisasi Es krim

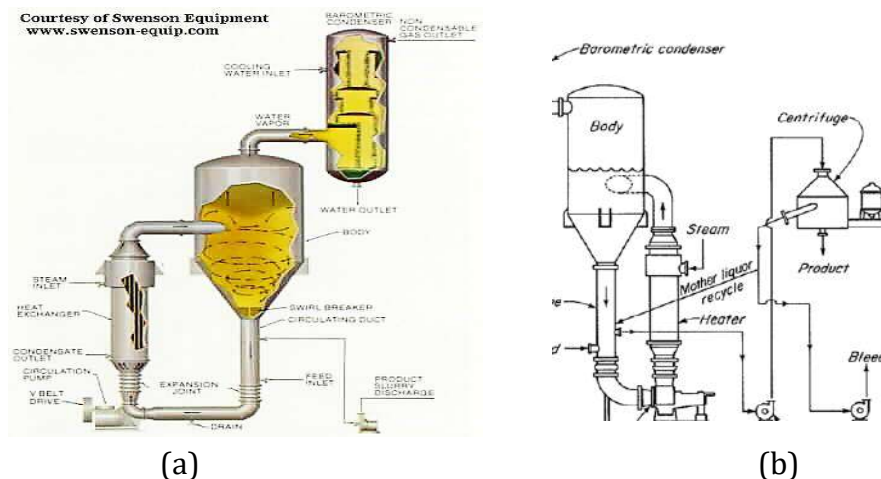
Es krim terbaik di pasaran memiliki tekstur yang halus dan lembut. Tekstur krem itu, terutama terkait dengan kandungan lemak tinggi, juga ditentukan, sebagian, oleh ukuran rata-rata kristal es. Kristal yang lebih besar (lebih besar dari $50 \mu\text{m}$) memberikan tekstur kasar pada es krim, sedangkan kristal yang lebih kecil (sekitar 10 hingga $20 \mu\text{m}$) memberikan es krim yang diinginkan (Marshall dkk. 2003; Eisner dkk. 2005).

4.1 Mekanisme Kristalisasi

Dengan konsumen saat ini menjadi semakin sadar kesehatan dalam pilihan makanan mereka, es krim rendah lemak menjadi semakin populer. Namun, tantangan dengan es krim rendah lemak adalah mencapai tekstur krim yang sama dari versi full-fat. Dengan sedikit lemak, es krim biasanya mengandung lebih banyak air dan, karenanya, kristal es yang lebih besar (Hartel 1996). Ukuran kristal es juga penting untuk umur simpan es krim.

Ketika es krim berada di tempat penyimpanan, kristal es terus tumbuh melalui rekristalisasi (Donhowe dan Hartel 1996b; Hartel 1998a). Fluktuasi suhu yang terlihat dalam freezer rumah bebas es berfungsi untuk mempercepat proses ini. Sebenarnya mekanisme kristalisasi es dalam penukar panas permukaan yang tergores tetap menjadi subjek penelitian karena kesulitan teknis dalam mengamati bentuk es melalui campuran es krim opak dan di dalam freezer permukaan yang dikerik. Namun, beberapa dasar dari mekanisme ini secara umum diterima dengan baik. Di dinding freezer es krim, dan hanya di dinding, itu suhu cukup dingin untuk membentuk kristal baru. Lapisan es terbentuk di dinding dengan sifat tergantung pada komposisi campuran dan operasi freezer. Bilah dasher kemudian muncul dan mengikis es dari dinding, menyebarkan lapisan beku ke dalam sebagian besar freezer.

Menurut tingkat panas dan perpindahan massa di pusat freezer, beberapa kristal meleleh sementara kristal lain tumbuh dalam proses kompleks yang disebut pematangan. Hasil akhir di pintu keluar freezer adalah distribusi kristal kecil berbentuk disk. Memahami bagaimana es terbentuk selama pembekuan es krim akan sangat membantu produsen dalam memprediksi efek perubahan proses dan formulasi. Tujuan dari tinjauan ini adalah untuk membahas penelitian tentang bagaimana kristal es terbentuk dalam freezer permukaan tergores dan parameter yang mempengaruhi pertumbuhan mereka. Deskripsi singkat kristalisasi umum dan pembuatan es krim disajikan pertama kali untuk memberikan latar belakang.



Gambar 17.12. Tipe Kristaliser kontinu (a) dan (b)

4.2 Proses Pembentukan Kristal

Kristalisasi adalah organisasi molekul menjadi fase padat dalam suatu fluida. Ini dapat terjadi dalam beberapa cara berbeda. Uap dapat mengkristal langsung dari gas ke fase padat, dengan contoh utama adalah salju. Suatu zat terlarut dapat dikristalisasi dari larutan, seperti dalam kristalisasi laktosa dalam produk susu. Atau, pelarut dapat mengkristal, seperti yang terjadi ketika es terbentuk dalam es krim. Untuk campuran cairan, menurunkan suhu dapat menyebabkan kristalisasi berdasarkan diagram fase campuran, seperti dalam metalurgi. Karena kristalisasi es yang keluar dari lelehan adalah tipe kristalisasi yang menjadi perhatian dalam pembuatan es krim, itu akan menjadi fokus dari sisa pembahasan tentang kristalisasi, meskipun prinsip umum yang sama berlaku untuk jenis kristalisasi lainnya.

Struktur es menentukan bagaimana molekul air akan diatur setelah kristalisasi. Es khas dikategorikan sebagai es yang berbentuk heksagonal dan prismatik dan terjadi di bawah 0 °C pada tekanan atmosfer. Sementara ada 9 bentuk es lainnya, sebagian besar ada pada tekanan lebih dari 200 MPa. Es memiliki struktur heksagonal, digambarkan oleh 3 a-sumbu dalam satu bidang dan c-sumbu normal untuk bidang itu. Eksperimen yang melibatkan larutan gula beku pada permukaan dingin telah menunjukkan kapak tumbuh lebih cepat dari kapak. Hal yang sama berlaku untuk serpihan salju, yang terkenal menunjukkan struktur heksagonal.

Sebelum kristalisasi dapat dimulai, suhu lelehan harus turun di bawah titik beku. Ketika leleh adalah solusi, zat terlarut menurunkan titik beku sampai batas tertentu berdasarkan sifat zat terlarut. Depresi titik beku, menjadi *properti koligatif*, didasarkan pada mol zat terlarut hadir dalam larutan, bukan pada massa. Oleh karena itu, satu gram glukosa (dengan sekitar dua kali lipat jumlah mol sukrosa) akan menurunkan titik beku lebih dari satu gram sukrosa. Protein, yang relatif sangat besar, tidak memiliki efek yang dapat diukur pada titik beku. Ukuran kristal juga dapat memengaruhi titik beku. Sementara es Ih memiliki titik beku nominal 0 °C, kristal es yang lebih kecil diketahui memiliki titik beku yang sedikit tertekan dibandingkan dengan kristal yang lebih besar. Hal yang sama juga berlaku untuk titik tajam pada permukaan kristal dibandingkan dengan permukaan datar. Fenomena ini disebabkan oleh apa yang dinyatakan Kelvin atau radius efek kelengkungan. Karena kristal kecil memiliki lebih banyak energi bebas permukaan per volume daripada kristal yang lebih besar, titik bekunya ditekan. Kristalisasi terjadi dalam 4 langkah: *pendinginan, nukleasi, pertumbuhan, dan rekristalisasi*. Pendinginan terjadi ketika suhu cairan turun di bawah titik beku. Secara umum, molekul air terus-menerus bergabung membentuk kluster yang disatukan oleh ikatan hidrogen. Cluster ini terus memecah lagi karena getaran molekuler, meskipun suhu yang lebih rendah meningkatkan pembentukan cluster (McCabe dkk 2005). Pada tingkat pendinginan tertentu, kelompok-kelompok seperti es memperoleh cukup molekul air sehingga mereka memiliki peluang yang sama untuk bertahan atau tidak sebagai inti kristal. Dengan demikian, ada jari-jari kritis di atas di mana nukleus cenderung bertahan hidup (Schwartzberg 1990). Dalam freezer permukaan tergores, kondisi kristalisasi dapat dibagi menjadi 2 zona. Dekat dengan dinding, fluida itu sangat dingin, jadi nukleasi hanya terjadi di zona itu. Jauh dari dinding, dalam sebagian besar fluida, suhu lebih dekat ke titik beku, dan pertumbuhan dan rekristalisasi mendominasi (Cebula dan Russell 1998).

4.3 Nukleasi

Nukleasi adalah kelahiran kristal (Hartel 2001). Dalam freezer permukaan tergores, ini hanya terjadi di dinding freezer di mana gradien suhu cukup tinggi untuk membentuk kristal baru. Tingkat nukleasi penting karena mempengaruhi jumlah kristal dalam suatu produk, yang padagilirannya mempengaruhi seberapa besar setiap kristal bisa menjadi. Untuk es krim, setelah keluar dari freezer, jumlah maksimum kristal es ditetapkan, dan kristal-kristal itu terus tumbuh sampai jumlah es dalam kesetimbangan dengan suhu (Hartel 1996). Proses nukleasi dimulai dengan gugusan es awal sebagai agregasi molekul yang longgar. Ketika cluster kehilangan energi,

molekul menjadi lebih teratur dan struktur kisi mulai terbentuk dan cluster menjadi embrio. Ketika embrio tumbuh cukup besar untuk berada dalam kesetimbangan termodinamika dengan solusi dan ketika embrio mengatasi penghalang energi untuk nukleasi, itu adalah inti — kumpulan molekul terkecil dalam kisi kristal yang tidak akan larut kembali. Ketika nukleus tumbuh, ia menjadi kristal (McCabe dkk. 2005). Nukleasi dapat terjadi dalam beberapa cara. Nukleasi primer menggambarkan pembentukan nukleus dari larutan secara spontan, sedangkan nukleasi sekunder menggambarkan pembentukan nukleus dari kristal atau fragmen kristal yang sudah ada sebelumnya. Ada 2 jenis nukleasi primer: homogen dan heterogen. Dalam nukleasi homogen, nukleus terbentuk dalam sebagian besar cairan dengan akresi molekuler (McCabe dkk. 2005). Dalam nukleasi heterogen, di sisi lain, nukleus terbentuk pada partikel atau benda asing, yang bisa berupa apa saja dari debu yang menempel di dinding pembeku es krim (Hartel 2001). Karena nukleasi heterogen terjadi lebih mudah dan dengan pendinginan lebih sedikit daripada nukleasi homogen, itu jauh lebih umum dalam aplikasi praktis (Schwartzberg 1990). Nukleasi sekunder paling umum terjadi dalam industri sebagai nukleasi kontak, yaitu ketika kristal bertabrakan dengan kristal lain, dinding, atau agitator (McCabe dkk. 2005).

Beberapa faktor mempengaruhi nukleasi. Faktor terpenting adalah kekuatan pendorong — perbedaan suhu antara larutan dan titik bekunya. Kekuatan pendorong yang lebih besar meningkatkan nukleasi. Namun, ketika suhu terlalu rendah, mobilitas molekul menurun memperlambat nukleasi. Di bawah suhu transisi gelas, T_g , tidak ada nukleasi yang terjadi. Agitasi dapat meningkatkan nukleasi dalam sistem labil (siap-ke-nukleat). Laju pendinginan juga mempengaruhi nukleasi. Sebagai contoh, jika tidak ada nukleasi yang diinginkan, larutan dapat dengan cepat didinginkan ke suhu di bawah transisi kaca sebelum timbulnya kristalisasi (Hartel 2001). Dalam makanan, formulasi dan bahan-bahan dapat mempengaruhi nukleasi; misalnya, sukrosa dapat memperlambat nukleasi es (Schwartzberg 1990).

4.4 Pertumbuhan

Setelah nukleasi es di dinding freezer es krim itu harus tumbuh menjadi kristal berbentuk cakram yang ditemukan di aliran keluar. Agar pertumbuhan kristal terjadi, air harus berdifusi ke permukaan kristal yang sedang tumbuh, zat terlarut harus berdifusi menjauh dari permukaan, molekul air harus menggabungkan diri ke dalam struktur kisi kristal, dan panas laten harus dihilangkan. Sementara struktur internal es umumnya seragam, kondisi pertumbuhan memiliki efek mendalam pada bentuk dan ukuran eksternal — morfologi — kristal. Secara umum, pembekuan lambat — pengangkutan panas laten yang lambat — menyebabkan lebih sedikit inti terbentuk per volume dan waktu tertentu, yang memungkinkan lebih banyak ruang bagi setiap kristal untuk tumbuh dan menghasilkan kristal yang lebih besar. Pembekuan cepat menghasilkan laju nukleasi yang lebih cepat dan sejumlah kecil kristal kecil. Biasanya, dendritik (seperti pohon), berbentuk jarum, dan kristal berserat terbentuk dengan pembekuan cepat, sedangkan pembekuan lambat memungkinkan pertumbuhan yang seragam menjadi bentuk yang lebih halus. Zat terlarut juga berdampak pada morfologi kristal dengan mengadsorpsi permukaan kristal, yang mengganggu langkah penggabungan kisi, dan dengan mengurangi mobilitas molekul (meningkatkan viskositas).

Morfologi dendritik dan bercabang umum terjadi pada kristal yang dibuat dengan pendinginan tinggi — seperti pada dinding lemari es es krim. Sebelum struktur dendritik berkembang, kristal es yang tumbuh kira-kira berbentuk lingkaran (Teraoka dkk., 2002). Ketika satu bagian kristal mulai menonjol, ujung itu dikelilingi oleh konsentrasi air yang lebih tinggi, sehingga kristalisasi lebih mudah di ujungnya. Dendrit berevolusi menjadi struktur bercabang dengan cabang primer mengembangkan cabang sekunder dan ke cabang tingkat tinggi. Lingkaran umpan balik positif ini disebut ketidakstabilan Mullins-Sekerka (Libbrecht 2005).

4.5 Rekristalisasi

Rekristalisasi, juga disebut pematangan atau pengerasan, adalah tahap akhir kristalisasi yang menggambarkan perubahan bentuk dan ukuran kristal individu sambil menjaga total massa kristal konstan. Ini dapat terjadi baik selama proses kristalisasi, seperti selama pembekuan es krim awal, dan setelah proses, seperti selama penyimpanan es krim. Rekristalisasi, seperti pertumbuhan, adalah fungsi perpindahan panas dan massa, serta efek Kelvin. Ini terjadi karena suatu sistem cenderung menuju keseimbangan dengan energi bebas minimal (Schwartzberg 1990). Selain itu, karena efek Kelvin, kristal-kristal kecil dan titik-titik tajam pada kristal (titik beku yang lebih besar) meleleh lebih cepat daripada kristal bulat yang lebih besar pada suhu tertentu. Ada 3 jenis utama rekristalisasi adalah *isomass*, *migrasi*, dan *rekristalisasi agresif*. Rekristalisasi isomass adalah perubahan bentuk kristal tanpa perubahan massa. Rekristalisasi migrasi, atau pematangan Ostwald, menjelaskan kristal besar yang tumbuh dengan mengorbankan kristal kecil. Agresi adalah 2 kristal yang bergabung bersama untuk membentuk 1 kristal. Rekristalisasi sering dimodelkan sesuai dengan Persamaan di mana jari-jari rata-rata partikel bola pada waktu t , adalah jari-jari awal rata-rata, dan τ dan n bergantung pada mekanisme.

Namun, rekristalisasi bukan hanya fungsi waktu. Distribusi ukuran kristal juga dapat berperan. Untuk distribusi tertentu pada suhu tertentu, mungkin ada beberapa kristal yang jari-jarinya menempatkan mereka dalam keseimbangan sempurna dengan suhu curah. Kristal lain akan menjadi lebih kecil atau lebih besar dari jari-jari keseimbangan, dan kristal kecil akan cenderung meleleh karena titik beku yang lebih rendah, dan kristal besar akan tumbuh. Mencairkan kristal-kristal kecil mengeluarkan energi dari larutan, dan penghilangan panas ini, pada gilirannya, menyediakan heat sink untuk panas laten kristalisasi yang dilepaskan dari kristal-kristal yang semakin besar. Sementara pertumbuhan diatur oleh perpindahan panas dan massa dan kinetika penggabungan kisi, pembubaran atau peleburan kristal terutama diatur oleh perpindahan panas dan massa. Manipulasi distribusi ukuran dapat mempengaruhi seberapa cepat sistem matang. Sebagai contoh, distribusi ukuran di mana setiap kristal berada dalam beberapa mikron dari jari-jari keseimbangan akan matang dengan sangat lambat, sedangkan distribusi yang sangat luas akan matang lebih cepat karena kristal pada setiap ekstrem akan memiliki kekuatan pendorong yang lebih besar untuk rekristalisasi.

Ketika membekukan es krim, dendrite dapat terbentuk pada awalnya namun, pada saat es krim keluar dari freezer, kristal — apa pun bentuk awalnya — telah menjadi berbentuk cakram. Bagaimana rekristalisasi dendrite telah dipelajari dengan baik di bidang metalurgi untuk pemadatan paduan logam. Sebagai dendrite kasar, cabang terpisah dari batangnya, cabang tertipis meleleh, batang bertambah lebar, dan semua titik menjadi lebih bulat. Dendrit diketahui matang dalam 3 cara. *Pertama*, lengan dendrit besar dapat tumbuh dengan mengorbankan lengan dendrit kecil. *Kedua*, lengan bisa "menyatu" ketika ruang antara lengan dendrit terisi dan dendrit mulai menjadi lebih bulat. Ketiga, jumlah dendrit, tetapi bukan massa, dapat bertambah banyak saat kristal pecah. Gerakan fluida pada tahap awal solidifikasi menyebabkan dendrit pecah, meskipun peningkatan kecepatan fluida tidak selalu meningkatkan laju putus.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, G. Granger, Donald Katz, Alan S. Foust and Richard Schneidewind (1956). Crystallization In Unit Operations, John Willey Sons, New York. p: 493-502
- GaoZ hengu, Sohrab Rohani ^aJunboGong and Jingkang Wang (2017). Recent Developments in the Crystallization Process: Toward the Pharmaceutical Industry. Engineering Vol 3. No 3, p :353-353
- Jones A.G. (2002) Crystallization Process Systems, Butterworth Heinemann, Wobun MA. p:1-355
- Kulkarni Sunil J (2015) A Review on Studies and Research on Crystallization. International Journal of Research and Review. India. Vol 2 No. 10. P. 615-618.
- McCabe Waren L, Julian C. Smith and Peter Harriot (1993) Crystallization In Unit Operation of Chemical Engineering McGraw Hill International Editions. Singapore, p: 882-921.
- Nusantoro P. Bangun. Isothermal Crystallization Properties Of Rbd-Palm Oil As Measured By Dsc And Oscillatory Rheometry. AGRITECH, Vol. 29, No. 4 , p. 177-182
- Roos H, Yrjo, John W Finley and John H deMan (2018) Water in Principle of Food Chemistry Ed John H deMan et all: p:1-34
- Sreepriya Vedantam and Vivek V Ranade (2013) Crystallization: Key Thermodynamic, Kinetic And Hydrodynamic Aspects. Indian Academy of Sciences *Sadhana* Vol. 38, Part 6, , pp. 1287-1337.

BAB XVIII

PROSES TERMAL PANGAN

1. Pendahuluan

Pemanasan makanan, baik dalam wadah tertutup maupun dengan melalui penukar panas, umumnya diikuti oleh pengemasan. Penting untuk memastikan bahwa makanan diperlakukan panas yang cukup dan untuk mengurangi kontaminasi pasca pengolahan (*post processing contamination/PPC*). kemudian makanan didinginkan dengan cepat serta dilakukan penyimpanan pada suhu dingin atau pada suhu kamar yang stabil. Proses pemanasan dapat berupa batch atau kontinu. Semua proses termal bertujuan untuk memanaskan dan mendinginkan produk secepat mungkin. Ini memiliki implikasi ekonomi dan mengarah pada peningkatan kualitas.

Panas atau energi (J) ditransfer dari suhu tinggi ke rendah, laju perpindahan panas sebanding dengan perbedaan suhu. Oleh karena itu, perlu pengaturan suhu tinggi untuk mendorong pemindahan panas. Satuan SI untuk laju perpindahan panas (J /satau W) terutama digunakan tetapi unit Imperial ($BTU\ h^{-1}$) juga dapat ditemukan. Media pemanas biasanya adalah uap jenuh atau air panas. Untuk suhu di atas $100\ ^\circ C$, uap dan air panas berada di atas tekanan atmosfer. Pendinginan dicapai dengan menggunakan uap air, air dingin, air garam atau larutan glikol. Regenerasi digunakan dalam proses berkelanjutan untuk mengurangi pemanfaatan energi lebih lanjut.

2. Pemanasan Makanan

2.2 Alasan Pemanasan

Makanan dipanaskan dengan beberapa alasan, yang utama adalah untuk menonaktifkan mikroorganisme patogen atau pembusuk. Mungkin juga penting untuk menonaktifkan enzim, untuk menghindari pencokelatan buah oleh polifenol oksidase yang menyebabkan perubahan rasa yang dihasilkan dari aktivitas lipase dan proteolitik. Sebagai contoh, pemanasan awal digunakan dalam produksi susu yang diuapkan untuk mencegah gelasi (perubahan fisik dari cair menjadi padat) dan penebalan dan pada pembuatan yoghurt untuk mencapai tekstur akhir yang diperlukan dalam produk. Proses pemanasan juga dapat mengubah nilai gizi makanan. Tingkat kerusakan proses mempengaruhi umur simpan dan karakteristik lainnya.

Makanan bisa berupa padat atau cair yang diberi perlakuan panas, dengan mekanisme konduksi dan konveksi. Makanan padat memiliki konduktivitas termal yang rendah, sedangkan proses konveksi jauh lebih cepat daripada konduksi. Cairan yang memiliki viskositas rendah berkisar ($1-10\ mPa$), hingga cairan yang sangat kental; dan keberadaan partikel (berdiameter hingga $25\ mm$) semakin mempersulit proses, karena diperlukan kepastian bahwa fase cair dan padat setidaknya memadai dan jika mungkin sama-sama dipanaskan. Kehadiran udara terlarut dalam salah satu fase adalah masalah karena menjadi kurang larut karena kenaikan suhu dan dapat keluar dari larutan. Udara adalah cairan transfer panas yang buruk dan udara panas jarang digunakan sebagai media pemanas. Perhatian harus diberikan untuk menghilangkan udara dari uap, mis. ventilasi retort uap dan menghilangkan udara dari wadah tertutup.

2.2 Masalah Keamanan Pangan

Masalah keamanan pangan umumnya melibatkan proses penonaktifan mikroorganisme patogen yang menjadi perhatian kesehatan masyarakat. Patogen-patogen ini menunjukkan variasi yang cukup besar dalam ketahanan panasnya: beberapa tahan panas, seperti *Campylobacter*,

Salmonella, *Listeria* dan perhatian terbaru *Escherichia coli* 0157, yang tidak diaktifkan dengan pasteurisasi, sementara resistensi panas yang lebih besar adalah *Bacillus cereus*, yang dapat bertahan dari pasteurisasi dan juga tumbuh pada suhu rendah. Spora bakteri patogen yang paling tahan panas adalah *Clostridium botulinum*. Selain patogen bawaan makanan ini, penting juga untuk menonaktifkan mikroorganisme yang terkontaminasi sering menyebabkan pembusukan makanan, seperti ragi, jamur, dan bakteri penghasil gas dan asam. Sifat tahan panas setiap mikroorganisme berubah ketika lingkungan berubah, misalnya perubahan pH, aktivitas air atau komposisi kimia; dan makanan itu sendiri menyediakan lingkungan yang begitu kompleks dan beragam. Mikroorganisme baru juga dapat ditemukan, seperti *Bacillus sporothermodurans*. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui jenis flora mikroba yang terkait dengan semua bahan mentah yang harus dipanaskan.

Setelah pemrosesan perlu dihindari infeksi ulang produk, yang umumnya dikenal sebagai *PPC* (*Post Processing Contamination*), yang dapat menyebabkan masalah dalam pasteurisasi dan sterilisasi. Karena itu, bahan baku dan produk tidak boleh dibiarkan berdekatan satu sama lain. Baru-baru ini, ada beberapa kasus serius reaksi alergi yang berat, dengan beberapa kematian, ditunjukkan oleh beberapa individu pada makanan seperti kacang tanah dan kerang. Ini semua adalah masalah yang juga perlu dipertimbangkan dalam pemanasan makanan. Perubahan kualitas, yang mungkin diakibatkan oleh aktivitas enzim, juga harus menjadi pertimbangan. Mungkin juga ada konflik antara masalah keselamatan dan kualitas. Misalnya, inaktivasi mikroba dan keamanan makanan ditingkatkan oleh kondisi pemanasan yang lebih parah, tetapi kualitas produk secara umum memburuk. Disimpulkan sangatlah penting untuk memahami kinetik reaksi dan bagaimana hubungannya dengan: a) inaktivasi mikroba, b) kerusakan kimia, c) inaktivasi enzim d) perubahan fisik.

2.3 Karakteristik Produk

Produk-produk yang dapat diisi ke dalam wadah dan kemudian disegel dan dipanaskan serta dapat diproses dengan melewatkannya melalui penukar panas terus menerus. Kategori terakhir ini termasuk susu dan minuman berbasis susu, jus buah dan sayuran, purees, sup dan saus (baik yang manis maupun gurih) dan berbagai produk yang mengandung bahan partikulat, berdiameter sekitar 25 mm. Ada dua termal proses yang dikehendaki sektor pasar yang berbeda.

- Yang pertama melibatkan produk-produk yang diberi perlakuan panas ringan dan kemudian disimpan dalam lemari pendingin selama penyimpanan
- Yang kedua melibatkan yang disterilkan dan disimpan pada suhu sekitar.

Kepentingan relatif dari dua sektor ini bervariasi dari satu negara ke negara lain untuk produk yang berbeda dan produk yang sama. Sebagai contoh, di Inggris dan Wales, susu pasteurisasi, yang disimpan dalam keadaan dingin, menyumbang sekitar 87% dari konsumsi susu cair, sementara UHT (*ultra high temperature*) dan susu yang disterilkan menyumbang sekitar 10%. Namun, susu UHT menyumbang proporsi jauh lebih besar dari susu yang dikonsumsi di negara lain mencoba, misalnya Perancis (78%) dan Jerman (58%), jadi penting untuk dicatat bahwa ada perbedaan dan preferensi regional.

Secara umum, proses pemanasan menghilangkan kebutuhan penggunaan aditif, serta untuk memperpanjang umur simpan, meskipun aditif dapat membantu meningkatkan karakteristik sensorik atau membuat proses kurang rentan terhadap pengotoran. Selain reaksi yang terjadi selama perlakuan panas, perubahan kimia, enzimatik dan fisik akan terus berlangsung selama penyimpanan. Mikroorganisme yang bertahan dari perlakuan panas juga dapat tumbuh jika kondisinya menguntungkan. Produk yang dipasteurisasi biasanya disimpan dalam lemari pendingin selama penyimpanan untuk menghambat pertumbuhan mikroba; dan suhu rendah harus dipertahankan di seluruh rantai dingin. Sebaliknya, produk yang disterilisasi biasanya tidak

didinginkan dan disimpan pada suhu sekitar. Ini mungkin sangat bervariasi di seluruh dunia, mulai dari bawah 0°C hingga di atas 50°C . Semua reaksi yang disebutkan di atas bergantung pada suhu, dan perubahan besar dapat terjadi selama periode penyimpanan. Salah satu contoh adalah pencokelatan susu dan produk susu, yang sangat signifikan setelah pemanasan. Penyimpanan 4 bulan pada 40°C . Perubahan selama penyimpanan dibahas secara lebih rinci untuk produk yang dipasteurisasi.

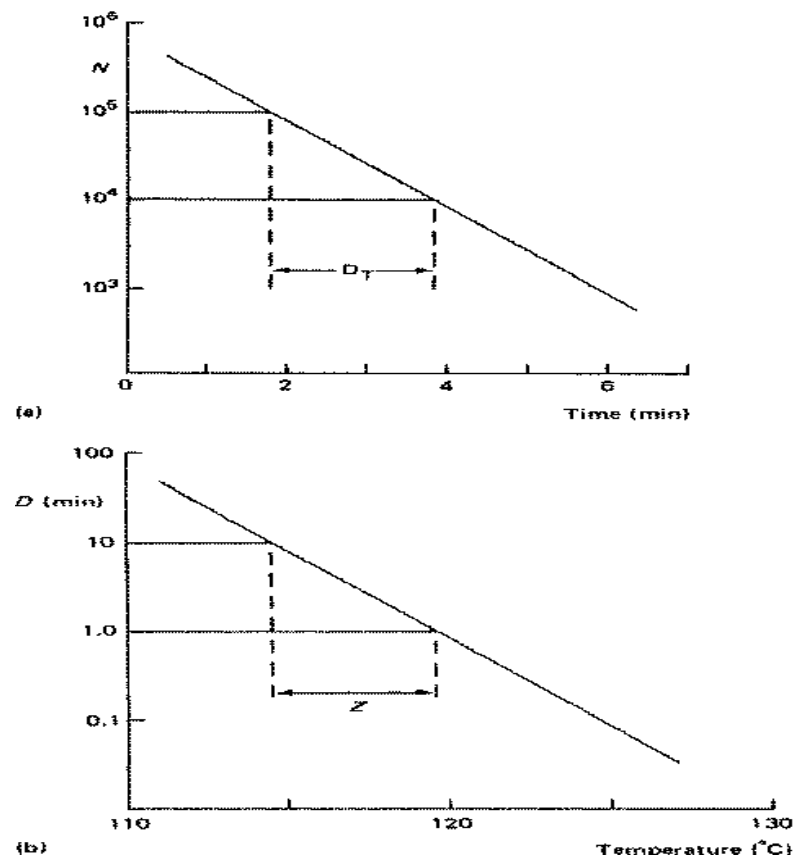
3. Kinetika Reaksi

3.1. Inaktivasi Mikroba

Semua proses termal melibatkan tiga periode berbeda: periode pemanasan, periode penahanan (*holding*) dan periode pendinginan. Secara teori, ketiga periode dapat berkontribusi pada reaksi yang terjadi, meskipun dalam situasi di mana pemanasan dan pendinginan berlangsung cepat, periode holding adalah yang paling signifikan. Namun, prosedur diperlukan untuk mengevaluasi masing-masing periode ini secara individual, untuk menentukan efek menyeluruh. Sejauh ini yang paling mudah untuk ditangani adalah periode holding, karena ini terjadi pada suhu konstan. Maka perlu ditetapkan bagaimana laju reaksi yang dipengaruhi oleh perubahan suhu selama pemanasan dan pendinginan. Untuk menyederhanakan analisis, inaktivasi mikroba pertama-tama diukur pada suhu konstan. Ini biasanya diikuti dengan mengamati bagaimana inaktivasi mikroba berubah dengan suhu.

3.2. Tahan Panas pada Suhu Konstan

Ketika studi inaktivasi panas dilakukan pada suhu konstan, sering diamati bahwa inaktivasi mikroba mengikuti kinetika reaksi orde pertama yaitu laju inaktivasi berbanding lurus dengan populasi. Ini dapat diilustrasikan dengan memplot log populasi terhadap waktu (lihat Gambar 18.1) dan menemukan bahwa ada hubungan garis lurus. Sifat tahan panas suatu organisme dicirikan oleh waktu reduksi desimal (D_T), yang didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk mengurangi populasi 90% atau dengan satu urutan besarnya atau satu siklus log, mis. Dari 10^4 hingga 10^3 , pada suhu konstan, T . Setiap mikroorganisme memiliki karakteristik tahan panas spesifik dan semakin tinggi nilai D_T -nya, semakin besar pula ketahanan panasnya. Ketahanan panas juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan lainnya, seperti pH, aktivitas air dan adanya zat terlarut lainnya, seperti gula dan garam.



Gambar 18.1. (a) Hubungan antara populasi mikroorganisme dan waktu pada suhu pemanasan yang konstan, (b) hubungan antara waktu reduksi desimal dan suhu, untuk menentukan nilai z

Tingkat inaktivasi mikroba diukur dengan jumlah pengurangan desimal yang dapat dicapai. Ini diberikan oleh $\log(N_0 / N)$, di mana N_0 adalah populasi awal dan N adalah populasi akhir; dan itu ditentukan dari persamaan berikut:

$$\log \frac{N_0}{N} = \frac{\text{masa pemanasan}}{D_T} \dots\dots\dots 1)$$

Terdapat dua aspek penting yang terkait dengan kinetika reaksi orde pertama, secara teori tidak mungkin untuk mencapai pengurangan 100% dan, untuk perlakuan panas spesifik, populasi akhir meningkat dengan meningkatnya populasi awal.

Contoh: untuk organisme dengan nilai D_{70} selama 10 detik, (pemanasan 10 detik pada 70 °C) akan mencapai pengurangan 90% dalam populasi, pemanasan 20 detik akan mencapai $2D_{70}$ (99%), 30 detik akan mencapai pengurangan $3D$ (99,9%) dan 60 detik akan mencapai pengurangan $6D$ (99,9999%). Meskipun secara teori tidak mungkin untuk mencapai pengurangan 100%, dalam praktiknya istilah hal ini mungkin tampak demikian. Untuk proses sterilisasi, istilah sterilitas komersial digunakan, dari pada sterilitas absolut, untuk menunjukkan bahwa akan selalu ada kemungkinan kecil bahwa satu atau lebih mikroorganisme akan selamat dari perlakuan panas. Meningkatkan pengaruh dari proses pemanasan, mis. dengan memperpanjang periode waktu atau dengan menggunakan suhu yang lebih tinggi, akan mengurangi kemungkinan menemukan penyintas (kehidupan yang tidak optimum dan tidak diinginkan) bakteri tertentu. Jadi, jika populasi awal adalah 10^6 ml^{-1} , setelah 80 detik memanaskan final populasi akan menjadi 10^{-2} ml^{-1} . Mungkin sulit membayangkan sebagian kecil dari organisme, tetapi cara lain untuk mengekspresikan ini adalah satu organisme per 100 ml. Jadi, jika sampel telah dikemas dalam porsi 1-ml, harus dimungkinkan untuk menemukan satu mikroorganisme yang masih hidup dalam setiap 100 sampel yang dianalisis; yaitu 99 akan bebas dari mikroorganisme. Perlakuan panas yang sama diberikan pada bahan baku dengan jumlah yang lebih rendah akan memberikan satu mikroorganisme yang bertahan dalam setiap 10.000 ml. Jadi jika 10.000 sampel (1 ml) dianalisis,

9999 akan bebas dari mikroorganisme yang layak. Perhatikan bahwa hanya satu bakteri yang masih hidup dalam suatu produk atau paket dapat menimbulkan produk atau paket yang rusak. Dalam praktiknya, penyimpangan dari kinetika reaksi orde satu sering dijumpai dan alasannya dibahas lebih rinci oleh Gould.

Untuk proses pasteurisasi kisaran suhu yang diinginkan adalah 60-90°C. Sterilisasi adalah proses yang lebih parah dan suhu lebih dari 100°C diperlukan untuk menonaktifkan spora tahan panas. Proses sterilisasi dapat dilakukan dalam wadah tertutup, 110-125°C selama 10-120 menit, atau dengan teknologi aliran kontinu yang menggunakan suhu di kisaran 135-142°C selama beberapa detik. Dalam kedua kasus, jumlah reaksi kimia meningkat dan rasanya berbeda dengan susu yang dipasteurisasi. Produk ini memiliki masa simpan hingga 6 bulan pada kondisi penyimpanan ambien.

3.3 Ketergantungan temperatur

Seperti disebutkan, sebagian besar proses tidak terjadi pada suhu konstan, tetapi melibatkan periode pemanasan dan pendinginan. Oleh karena itu, meskipun mudah untuk mengevaluasi efek dari periode penahanan pada panas optimal dan mematikan, yaitu jumlah pengurangan dari suatu proses, lihat Persamaan. (1), penting untuk menghargai bahwa pemanasan dan pendinginan juga dapat berkontribusi terhadap kematian keseluruhan. Dengan mudah ditunjukkan bahwa laju reaksi meningkat dengan meningkatnya suhu dan inaktivasi mikroba tidak terkecuali. Ahli makanan menggunakan parameter yang dikenal sebagai nilai z , untuk menggambarkan ketergantungan suhu. Ini didasarkan pada pengamatan bahwa, pada rentang suhu terbatas, ada hubungan linier antara log dari waktu reduksi desimal dan suhu (Gambar 18.1).

Ini digunakan untuk menentukan nilai z untuk inaktivasi mikroorganisme tertentu sebagai berikut: nilai z adalah perubahan suhu yang menghasilkan perubahan sepuluh kali lipat dalam waktu pengurangan desimal. Nilai z untuk sebagian besar spora tahan panas adalah sekitar 10 °C, sedangkan nilai z untuk bakteri vegetatif jauh lebih rendah, biasanya antara 4 °C dan 8 °C. Nilai z yang rendah menyiratkan bahwa reaksi yang dimaksud sangat sensitif terhadap suhu. Secara umum, inaktivasi mikroba sangat sensitif terhadap suhu, dengan inaktivasi bakteri vegetatif lebih sensitif terhadap suhu daripada spora yang tahan panas.

Berbeda dengan inaktivasi mikroba, tingkat reaksi kimia jauh lebih sensitif terhadap suhu dari pada inaktivasi mikroba, memiliki nilai z yang lebih tinggi (20-40 °C; lihat Tabel 18.1). Ini juga merupakan kasus untuk banyak enzim yang tahan panas, meskipun enzim yang labil panas seperti alkaline phosphatase atau lactoperoxidase adalah pengecualian untuk aturan ini. Perbedaan reaksi kimia dan inaktivasi mikroba ini memiliki beberapa implikasi penting untuk peningkatan kualitas ketika menggunakan suhu yang lebih tinggi untuk waktu yang lebih singkat.

Hubungan antara nilai-nilai D pada dua suhuyang berbeda θ_1 suhu awal dan θ_2 suhu akhir , dan z nilai diberikan oleh:

$$\log \left(\frac{D_1}{D_2} \right) = \left[\frac{(\theta_2 - \theta_1)}{z} \right] \dots\dots\dots (2)$$

Cara alternatif menggunakan nilai z adalah untuk membandingkan proses. Misalnya, jika diketahui bahwa suhu 68 °C efektif untuk 10 menit dan nilai z adalah 6 °C; maka proses yang sama efektifnya juga adalah 62 °C selama 100 menit atau 74 °C selama 1 menit, yaitu 1 menit pada setara dengan 0,1 menit pada (z) atau 10 menit pada (z).

Tabel 18.1. Nilai D dan z untuk inaktivasi mikroba, inaktivasi enzim dan beberapa reaksi kimia.

Microbe	D ₁₂₁ (°C)	z (°C)
<i>Bacillus stearothermophilus</i> NCDO 1096, milk	181.0	9.43
<i>B. stearothermophilus</i> FS 1518, conc. milk	117.0	9.35
<i>B. stearothermophilus</i> FS 1518, milk	324.0	6.7
<i>B. stearothermophilus</i> NCDO 1096, milk	372.0	9.3
<i>B. subtilis</i> 786, milk	20.0	6.66
<i>B. coagulans</i> 604, milk	60.0	5.98
<i>B. cereus</i> , milk	3.8	35.9
<i>Clostridium sporogenes</i> PA 3679, conc. milk	43.0	11.3
<i>C. botulinum</i> NCTC 7272	3.2	36.1
<i>C. botulinum</i> (canning data)	13.0	10.0
Proteases inactivation	0.5–27.0 min at 150 °C	32.5–28.5
Lipases inactivation	0.5–1.7 min at 150 °C	42.0–25.0
Browning	–	28.2; 21.3
Total whey protein denaturation, 130–150 °C	–	30.0
Available lysine	–	30.1
Thiamin (B ₁) loss	–	31.4–29.4
Lactulose formation	–	27.7–21.0

Demikian Persamaan (2) dapat ditulis ulang, menggantikan waktu reduksi desimal (D) dengan waktu pemrosesan (t), sebagai:

$$\log \left(\frac{t_1}{t_2} \right) = \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{z} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Dalam konteks pasteurisasi susu, jika proses pemegang (63 °C selama 30 menit) dianggap setara dengan proses suhu pendek waktu singkat (high temperature short time = HTST) 72 °C selama 15 detik, nilai z akan menjadi sekitar 4.3 °C. Pendekatan lain adalah dengan menggunakan konsep kesetaraan ini, bersama dengan suhu referensi. Sebagai contoh, 72 °C digunakan untuk pasteurisasi dan 121.1 °C dan 135 °C untuk proses sterilisasi. Mungkin yang paling dikenal adalah tabel letalitas standar, yang digunakan dalam sterilisasi makanan rendah asam.

Dengan demikian, kematian pada suhu percobaan (T) dapat dibandingkan dengan suhu referensi (θ), menggunakan persamaan berikut:

$$\log L = \left(\frac{T - \theta}{z} \right) \dots\dots\dots (4)$$

dimana : L = ekuivalensi masa tahan

Jadi untuk suhu referensi standar 121.1°C dan suhu eksperimental 118°C, menggunakan z = 10 °C, maka L = 0.49. Dengan demikian, 1 menit pada 118 °C akan setara dengan 0,49 menit pada 121,1 °C. Perhatikan bahwa penurunan suhu 3 °C akan mengurangi separuh kematiannya. Q₁₀ adalah parameter lain yang digunakan untuk mengukur ketergantungan suhu. Ini didefinisikan sebagai rasio laju reaksi pada T + 10 dengan yang di T, yaitu peningkatan laju reaksi yang disebabkan oleh peningkatan suhu 10 °C. Beberapa nilai D dan z untuk spora dan bahan kimia tahan panas reaksi diberikan pada Tabel 18.1.

Sangat menarik bahwa, meskipun banyak penyimpangan yang dilaporkan, hubungan log linier ini masih membentuk dasar untuk perhitungan proses termal dalam industri makanan. Gould [4] telah menduga bahwa ada pandangan kuat bahwa hubungan ini tetap setidaknya pendekatan yang sangat dekat dari kinetika inaktivasi termal spora yang sebenarnya. Tentu saja, kurangnya masalah besar ketika prosedur sterilisasi dilakukan dengan benar sesuai dengan prinsip-prinsip di atas telah memberikan bukti selama bertahun-tahun bahwa dasar pemikirannya, betapapun diturunkannya, adalah masuk akal meskipun mungkin hati-hati.

3.4 Batch dan Kontinu Proses

Proses seperti pasteurisasi dapat dilakukan secara bersamaan atau terus menerus. Proses batch melibatkan pengisian tangki, pemanasan, penahanan, pendinginan, pengosongan tangki, pengisian ke dalam wadah dan pembersihan tangki. Waktu penahanan mungkin hingga 30 menit. Akun yang sangat baik dari batch pasteurisasi disediakan oleh Cronshaw [5]. Memprediksi waktu pemanasan dan pendinginan melibatkan perpindahan panas keadaan tidak stabil dan menggambarkan sifat eksponensial dari proses perpindahan panas. Waktu pemanasan ditentukan dengan menyamakan laju perpindahan panas dari media pemanas ke fluida menyerap energi. Demikian:

$$UA = (\theta_2 - \theta_1) = mc \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots(5)$$

Diintegrasikan menjadi

$$t = \frac{m_c}{UA} \ln \left[\frac{\theta_h - \theta_1}{\theta_h - \theta_f} \right] \dots\dots\dots(6)$$

di mana m adalah massa (kg), c adalah panas spesifik ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), A adalah luas permukaan (m^2), U adalah over heat transfer coefficient OHTC ($Wm^{-2} \text{ K}^{-1}$) dan t adalah waktu pemanasan) diperlukan untuk menaikkan suhu dari θ_l (suhu awal) ke θ_f (suhu akhir) menggunakan suhu media pemanas, θ_h .

Rasio suhu tanpa dimensi mewakili rasio suhu awal. kekuatan pendorong temperatur ke suhu pendekatan. Konsep suhu pendekatan, yaitu seberapa dekat produk mendekati suhu medium pemanasan atau pendinginan, secara luas digunakan dalam penukar panas kontinu. Waktu pemanasan dan pendinginan bisa lama. Proses batch mudah dioperasikan, fleksibel, mampu menangani berbagai ukuran batch dan produk yang berbeda dan ini masih terjadi; juga, jika tercampur dengan baik, tidak ada distribusi waktu tinggal, yang merupakan masalah dengan proses berkelanjutan. Tingkat pemanasan dan pendinginan lebih lambat dan operasi lebih intensif tenaga kerja; itu akan melibatkan pengisian, pemanasan, penahanan, pendinginan, pengosongan, pembersihan dan pendesinfeksi, yang mungkin memakan waktu hingga 2 jam. Kontaminasi pasca pemrosesan (PPC) harus dihindari dalam operasi pengemasan berikutnya. Proses alternatif untuk pasteurisasi dan sterilisasi melibatkan proses berkelanjutan. Beberapa keuntungan dari proses berkelanjutan adalah sebagai berikut:

Makanan dapat dipanaskan dan didinginkan lebih cepat dibandingkan dengan proses dalam wadah. Ini meningkatkan ekonomi proses dan kualitas produk. Tidak ada batasan tekanan yang berlaku untuk produk pemanas dalam wadah tertutup. Ini memungkinkan penggunaan suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih singkat, yang menghasilkan lebih sedikit kerusakan pada nutrisi dan meningkatkan karakteristik sensorik, yaitu: penampilan, warna, rasa dan tekstur.

Proses berkelanjutan memberikan ruang untuk penghematan energi, di mana fluida panas digunakan untuk memanaskan fluida yang masuk. Ini dikenal sebagai regenerasi dan menghemat biaya pemanasan dan pendinginan.

Proses pemanasan dapat diklasifikasikan dalam bentuk langsung atau tidak langsung. Yang paling banyak digunakan adalah pemanasan tidak langsung, di mana cairan perpindahan panas dan makanan cair dipisahkan oleh penghalang. Untuk sterilisasi dalam wadah, ini akan menjadi dinding botol dan, untuk proses yang berkelanjutan, pelat penukar panas atau dinding tabung. Dalam proses langsung, uap adalah media pemanas dan uap langsung berhubungan dengan produk.

Mekanisme perpindahan panas dengan konduksi dalam padatan dan konveksi dalam cairan. Konduktivitas termal ($Wm^{-1} \text{ K}^{-1}$) adalah properti yang mengukur laju perpindahan panas akibat konduksi. Logam adalah konduktor panas yang baik, meskipun baja tahan karat memiliki nilai yang jauh lebih rendah ($20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dibandingkan tembaga ($400 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan aluminium ($220 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Namun, ini jauh lebih tinggi daripada kaca ($0,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Secara umum, makanan

adalah konduktor panas yang buruk ($0,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan ini bisa menjadi masalah ketika memanaskan sistem tertentu. Efisiensi perpindahan kalor secara konveksi diukur dengan koefisien film panas. Uap kondensasi memiliki koefisien film panas yang jauh lebih tinggi (serta panas laten penguapan yang tinggi) daripada air panas, yang berubah lebih tinggi daripada udara panas. Secara inheren, perpindahan panas dengan konveksi lebih cepat daripada perpindahan panas dengan konduksi.

Dalam proses tidak langsung, ada tiga hambatan untuk mentransfer panas dari sebagian besar fluida panas ke sebagian besar fluida dingin, dua karena konveksi dan satu karena konduksi. Koefisien perpindahan panas (U) keseluruhan memberikan ukuran efisiensi proses perpindahan panas dan memperhitungkan ketiga hambatan. Itu dapat dihitung dari:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{h_2} + \frac{L}{k} \dots\dots\dots(7)$$

di mana h_1 dan h_2 adalah koefisien film panas ($\text{Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$) untuk fluida panas dan fluida dingin, L adalah ketebalan dinding penukar panas (m) dan k adalah konduktivitas termal dari plat atau dinding tabung ($\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Semakin tinggi nilai U , semakin efisien sistem pertukaran panasnya. Masing-masing istilah dalam Persamaan (7) mewakili resistensi. Yang tertinggi dari istilah individual dikenal sebagai hambatan pembatas. Ini adalah salah satu yang mengendalikan laju keseluruhan perpindahan panas. Jadi, untuk meningkatkan kinerja penukar panas, yang terbaik adalah fokus pada hambatan pembatas.

Persamaan desain dasar untuk penukar panas adalah sebagai berikut:

$$Q = UA\Delta\theta m \dots\dots\dots(8)$$

di mana Q adalah laju perpindahan panas (J s^{-1}), θm ($^\circ\text{C}$ atau $^\circ\text{K}$) adalah perbedaan suhu rata-rata log dan A adalah luas permukaan (m^2).

Tugas (Q) diperoleh dari ungkapan berikut:

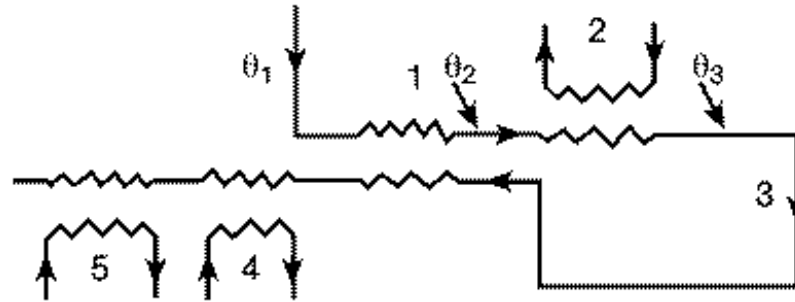
$$Q = m'c\Delta\theta \dots\dots\dots(9)$$

di mana m adalah laju aliran massa (kg s^{-1}), c adalah kapasitas panas spesifik ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan $\Delta\theta$ adalah perubahan suhu produk ($^\circ\text{K}$ atau $^\circ\text{C}$).

Dalam penukar panas terus menerus, kedua cairan dapat mengalir dalam arah yang sama (*co-current*) atau dalam arah yang berlawanan (*counter-current*). *Counter-current* adalah arah yang lebih disukai, karena menghasilkan kekuatan pendorong suhu rata-rata yang lebih tinggi dan suhu pendekatan yang lebih dekat. Salah satu masalah praktis utama dengan pemanasan tidak langsung adalah pengotoran. Ini adalah pembentukan endapan di dinding penukar panas. Ini dapat memperkenalkan satu atau dua resistensi tambahan untuk transfer panas dan menyebabkan pengurangan U . *Fouling* (penyimpangan) mungkin merupakan hasil dari endapan dari makanan atau endapan dari cairan layanan dalam bentuk sedimen dari uap, *hardness* (kesadahan air) atau film mikroba dari air pendingin. *Fouling* dapat menyebabkan penurunan suhu produk dan bahkan pada produk yang kurang diproses. Masalah selanjutnya adalah pengurangan luas penampang aliran yang menyebabkan penurunan tekanan yang lebih tinggi. Endapan yang kotor juga harus dihilangkan pada akhir proses karena dapat berfungsi sebagai tempat berkembang biaknya bakteri, terutama bakteri *termofilik* (bakteri tahan panas). Sebagai contoh, untuk susu, pengotoran menjadi lebih dari masalah ketika suhu pemrosesan meningkat dan keasaman susu meningkat. *Fouling* dibahas secara lebih rinci oleh Lewis dan Heppell [6]. Penukar panas juga perlu dibersihkan dan didisinfeksi setelah digunakan.

3.5. Penukar Panas Berlanjut

Viskositas produk adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi pemilihan alat dan system penukar panas yang paling tepat dan pemilihan pompa. Jenis utama penukar panas tidak langsung untuk cairan seperti susu, krim dan telur cair adalah pelat penukar panas dan penukar panas berbentuk tabung. Viskositas produk yang tinggi menimbulkan penurunan tekanan tinggi, yang dapat menyebabkan masalah pada bagian pendingin, terutama ketika transisi fase seperti gelasi (endapan protein) atau kristalisasi terjadi. Untuk produk yang lebih kental, seperti makanan penutup berbasis pati, penukar panas permukaan yang tergores dapat digunakan.



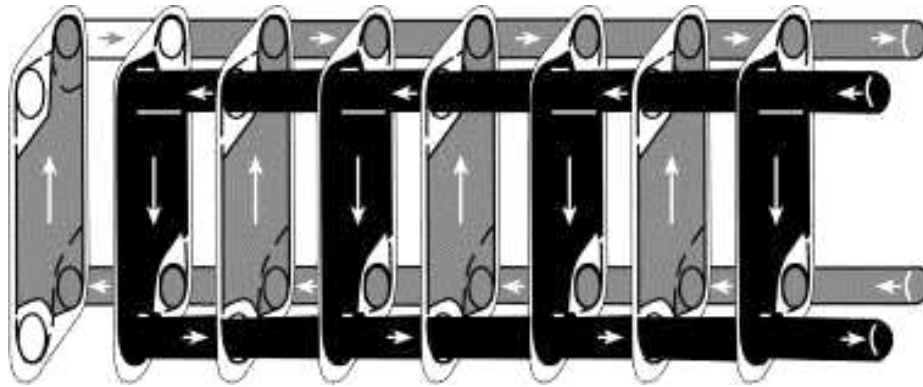
Gambar 18.2. Bagian penukar panas untuk pasteurisasi waktu singkat temperatur tinggi (HTST): 1, regenerasi; 2, bagian air panas; 3, memegang tabung; 4, pendingin air induk; 5, pendingin air dingin; dari [3] dengan izin.

Salah satu keunggulan utama sistem kontinu dibandingkan sistem batch adalah energi dapat dipulihkan dalam hal regenerasi. Tata letak untuk bagian regenerasi khas ditunjukkan pada Gambar 18.2. Cairan panas (dipasteurisasi atau disterilkan) dapat digunakan untuk memanaskan fluida yang masuk, sehingga menghemat biaya pemanasan dan pendinginan. Efisiensi regenerasi (RE) didefinisikan sebagai berikut:

$$RE = 100 \times \frac{\text{jumlah panas yang disediakan oleh regenerasi}}{\text{jumlah panas yang dibutuhkan dengan asumsi tidak ada regenerasi}} \dots\dots\dots (10)$$

Efisiensi regenerasi (RE) hingga 95% dapat diperoleh, yang berarti bahwa produk yang dipasteurisasi akan dipanaskan hingga hampir 68 °C dengan regenerasi. Meskipun efisiensi regenerasi yang tinggi menghasilkan penghematan energi yang cukup besar, ini membutuhkan penggunaan area permukaan yang lebih besar, yang dihasilkan dari tenaga penggerak suhu yang lebih rendah dan biaya modal yang sedikit lebih tinggi untuk penukar panas. Ini juga berarti bahwa laju pemanasan dan pendinginan juga lebih lambat, dan waktu transit lebih lama, yang dapat mempengaruhi kualitas, terutama dalam pemrosesan UHT (*Ultra High Temperature*).

Penukar panas plat (*Plate Heat Exchanger* ; lihat Gambar 18.3) banyak digunakan baik untuk proses pasteurisasi dan sterilisasi. Mereka memiliki OHTC tinggi dan umumnya lebih kompak daripada penukar panas tubular. Keterbatasan utama mereka adalah tekanan, dengan batas atas sekitar 2 MPa. Lebar celah normal antara pelat adalah antara 2,5 mm dan 5,0 mm, tetapi celah yang lebih luas tersedia untuk cairan kental.

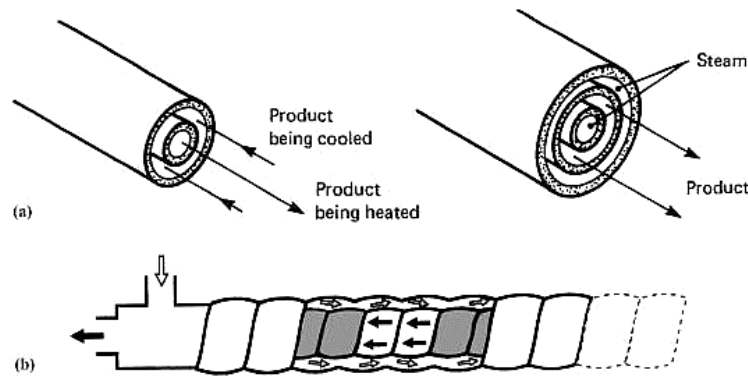


Gambar 18.3. Aliran melalui penukar panas plat

Semakin dekat celah, semakin banyak tekanan yang dibutuhkan dan pelat celah lebar tidak digunakan secara teratur untuk perawatan UHT dari makanan rendah asam. Secara umum, PHE adalah opsi termurah dan yang paling banyak digunakan untuk cairan dengan viskositas rendah. Namun, biaya perawatan mungkin tinggi, karena gasket mungkin perlu diganti secara berkala dan integritas pelat perlu diperiksa secara berkala, terutama yang di bagian regeneration, di mana plat retak atau bocor dapat memungkinkan produk mentah, misalnya susu mentah, untuk mengontaminasi susu yang sudah dipasteurisasi atau susu steril.

Penukar panas tubular (lihat Gambar 18.4) memiliki OHTC lebih rendah dari pelat dan umumnya menempati ruang yang lebih besar. Mereka memiliki laju pemanasan dan pendinginan yang lebih lambat dengan waktu transit yang lebih lama melalui penukar panas. Secara umum mereka memiliki segel yang lebih sedikit dan memberikan saluran aliran yang lebih lancar untuk fluida. Berbagai desain tabung tersedia untuk disesuaikan dengan karakteristik produk yang berbeda. Desain ini termasuk tabung tunggal dengan jaket luar, tabung konsentris ganda atau ganda atau jenis shell dan tabung. Sebagian besar pabrik UHT menggunakan desain multitube. Mereka dapat menahan tekanan yang lebih tinggi daripada PHE. Meskipun, mereka masih rentan terhadap pengotoran, tekanan pompa yang tinggi dapat digunakan untuk mengatasi pembatasan aliran. Dengan demikian, penukar panas tabung memberikan waktu pemrosesan lebih lama dengan bahan kental dan dengan produk yang lebih rentan terhadap pengotoran.

Untuk produk yang mengandung lemak, seperti susu dan krim, homogenisasi harus dimasukkan untuk mencegah pemisahan lemak. Ini mungkin hulu atau hilir. Untuk proses UHT, homogenisasi hilir membutuhkan proses yang harus dicapai dalam kondisi aseptik dan memberikan risiko kontaminasi ulang produk. Homogenisasi hulu menghilangkan kebutuhan untuk beroperasi secara aseptik, tetapi diperkirakan menghasilkan emulsi yang kurang stabil. Dalam proses langsung, produk dipanaskan sampai suhu 75 °C, seringkali dengan regenerasi, sebelum terkena uap kuliner untuk mencapai suhu 140-145 °C. Uap harus bebas dari kontaminan kimia untuk menghindari pengenceran yang berlebihan dari produk (yaitu antara sekitar 10% dan 15%). Proses pemanasan ini sangat cepat



Gambar 18.4.Jenis penukar panas tabung konsentris: (a) dinding polos, (b) luka spiral bergelombang

Produk ditahan selama beberapa detik dalam tabung penampung. Air yang ditambahkan dihilangkan dengan flash cooling, yang melibatkan penurunan tekanan secara mendadak untuk menurunkan suhu produk menjadi antara 75 °C dan 80 °C. Penurunan suhu yang tiba-tiba ini disertai dengan pembuangan uap air. Ada hubungan langsung antara penurunan suhu dan jumlah air yang dihilangkan. Temperatur akhir, dan karenanya jumlah air yang dikeluarkan dikontrol oleh tekanan (vakum) pada kipas pendingin flash. Proses pendinginan ini, seperti pemanasan, sangat cepat. Selain menghilangkan air yang ditambahkan (seperti uap), flash cooling menghilangkan komponen volatil lainnya, yang, dalam hal susu UHT, menimbulkan peningkatan rasa. Proses langsung menggunakan profil pemanasan tajam yang pendek dan menghasilkan lebih sedikit kerusakan kimia, dibandingkan dengan proses tidak langsung yang setara dengan waktu tahan dan suhu yang sama. Mereka juga kurang rentan terhadap pengotoran dan akan memberikan waktu pemrosesan yang lama, tetapi efisiensi regenerasinya biasanya di bawah 50%. Proses langsung biasanya digunakan untuk proses UHT daripada pasteurisasi.

Ada dua metode prinsip persinggungan dengan uap dan cairan makanan. Uap dapat disuntikkan ke dalam cairan (proses injeksi) atau cairan dapat disuntikkan ke dalam uap (infus). Ada aliran pemikiran yang mengklaim bahwa infus lebih ringan daripada injeksi karena produk memiliki kontak yang lebih sedikit dengan permukaan panas. Namun, bukti eksperimental langsung masih sedikit. Tidak ada keraguan bahwa proses langsung (baik injeksi dan infus) menghasilkan tepung yang dimasak kurang kuat daripada proses tidak langsung lainnya, meskipun klaim bahwa susu UHT langsung tidak dapat dibedakan dari susu pasteurisasi tidak selalu ditanggung. Operasi yang sukses tergantung pada mempertahankan vakum yang stabil, karena bejana pendingin flash beroperasi pada titik didih cairan. Jika tekanan berfluktuasi, titik didih juga berfluktuasi; dan ini mengarah pada mendidih jika tekanan tiba-tiba turun, untuk alasan apa pun. Dengan demikian, mempertahankan kekosongan yang stabil adalah titik kontrol utama dalam pengoperasian unit-unit ini. Perhatikan bahwa beberapa instalasi UHT tidak langsung dapat menggabungkan unit diaerasi, yang beroperasi berdasarkan prinsip yang sama. Efek dari profil pemanasan dan pendinginan akan dibandingkan untuk produk UHT.

Dalam proses yang berkelanjutan, ada distribusi waktu tinggal. Penting untuk mengetahui apakah alirannya streamline atau turbulen, karena hal ini mempengaruhi kecepatan perpindahan panas dan distribusi waktu tinggal di dalam holding tube dan juga sisa plant. Ini dapat ditetapkan dengan mengevaluasi bilangan Reynolds (Re), di mana:

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{4Q\rho}{\pi\mu D} \dots\dots\dots (11)$$

di mana v adalah kecepatan fluida rata-rata (ms^{-1}), ρ adalah densitas fluida (kg m^{-3}), D adalah pengukur pipa (m), viskositas fluida (Pas) dan Q adalah laju aliran volumetrik (m^3s^{-1}). Perhatikan bahwa waktu tinggal rata-rata (berdasarkan kecepatan rata-rata) dapat ditentukan dari $t_{av} = \text{volume tabung} / \text{laju aliran volumetrik}$.

Untuk cairan kental, aliran dalam tabung penampung cenderung lancar, yaitu angka Reynolds (Re) kurang dari 2000 dan ada distribusi waktu tinggal yang luas. Untuk cairan Newtonian, waktu tinggal minimum adalah setengah dari waktu tinggal rata-rata. Turbulent flow ($Re > 4100$) akan menghasilkan distribusi yang lebih sempit dari waktu tinggal, dengan waktu tinggal minimum 0,83 kali waktu tinggal rata-rata. Aliran plug (sumbat) adalah situasi ideal tanpa penyebaran waktu tinggal, tetapi untuk aliran arus dan turbulen, waktu tinggal minimum harus lebih besar dari waktu tinggal yang ditentukan, untuk menghindari pemrosesan yang kurang. Distribusi waktu tinggal dan implikasinya untuk pemrosesan UHT dibahas secara lebih rinci oleh Lewis dan Heppell dan Burton.

4. Metode Pemrosesan Panas

4.1. Thermisation

Thermisation istilah untuk pasteurisasi dan sterilisasi adalah proses ringan yang dirancang untuk meningkatkan dan menjaga kualitas susu mentah. Ini digunakan terutama ketika diketahui bahwa tidak mungkin untuk menggunakan susu mentah segera untuk konversi ke produk lain, seperti keju atau susu bubuk. Tujuannya adalah untuk mengurangi bakteri psikrotropik, yang dapat melepaskan enzim protease dan lipase yang tahan panas ke dalam susu. Enzim ini tidak dinonaktifkan selama pasteurisasi dan dapat menimbulkan rasa jika susu digunakan untuk keju atau susu bubuk. Suhu yang digunakan adalah $58\text{--}68^\circ\text{C}$ selama 15 detik. Susu mentah yang diolah dapat disimpan pada suhu maksimum 8°C hingga 3 hari. Biasanya diikuti kemudian oleh perlakuan panas yang lebih parah. Susu yang sudah disterilkan harus menunjukkan adanya alkali fosfatase, untuk membedakannya dari susu yang dipasteurisasi..

4.2. Pasteurisasi

Pasteurisasi adalah perlakuan panas ringan, yang digunakan pada berbagai jenis produk makanan. Dua tujuan utama pasteurisasi adalah i) untuk menghilangkan bakteri patogen dari makanan, sehingga mencegah penyakit dan ii) menghilangkan bakteri pembusuk (asam) untuk meningkatkan kualitas pemeliharaannya. Ini sebagian besar berasal dari penemuan Pasteur pada tahun 1857 bahwa asam dalam susu dapat ditunda dengan memanaskan susu hingga $122\text{--}142^\circ\text{F}$ ($50,0\text{--}61,0^\circ\text{C}$), walaupun tidak secara pasti diketahui bahwa agen penyebab pembusukan dan penyakit adalah mikroorganisme. Namun, bahkan lebih awal dari ini, makanan disajikan dalam wadah tertutup dengan proses sterilisasi, sehingga untuk beberapa waktu makanan disediakan untuk konsumsi publik tanpa memahami mekanisme pelestarian yang terlibat. Faktanya, tahap pertama dalam sejarah pasteurisasi antara 1857 dan akhir abad ke-19 mungkin bisa disebut sebagai tahap medis, karena sejarah utama dalam susu pengolahan panas datang terutama dari profesi medis yang tertarik pada pemberian makanan bayi. Pada 1895, diakui bahwa produk yang benar-benar memuaskan hanya dapat diamankan di mana sejumlah susu dipanaskan untuk jangka waktu tertentu pada suhu yang pasti. Pada tahun 1927, North dan Park telah menetapkan berbagai kondisi waktu/suhu untuk menonaktifkan basil tuberkulum, mulai dari 130°F (54°C) selama 60 menit hingga 212°F (100°C) selama 10 detik. Efektivitas perlakuan panas ditentukan dengan mengambil sampel susu, yang telah banyak terinfeksi oleh organisme tuberkel dan kemudian mengalami kombinasi waktu/suhu yang berbeda, dan menginokulasi sampel ke dalam kelinci percobaan dan mencatat kondisi yang tidak membunuh hewan. Penggunaan alkali fosfat sebagai indikator pertama kali diselidiki pada tahun 1933 dan sekarang masih merupakan praktik standar. Pasteurisasi sekarang diterima sebagai metode paling sederhana untuk melawan patogen yang ditularkan melalui susu dan sekarang telah menjadi biasa, meskipun masih ada beberapa penggemar susu mentah. Definisi IDF tentang pasteurisasi adalah sebagai berikut: “pasteurisasi

adalah proses yang diterapkan pada suatu produk dengan tujuan meminimalkan kemungkinan bahaya kesehatan yang timbul dari mikroorganisme patogen yang terkait dengan produk (susu) yang konsisten dengan bahan kimia, fisik, dan kimia minimum. dan perubahan organoleptik dalam produk ". Definisi ini juga berlaku untuk produk selain susu, termasuk, krim, campuran es krim, telur, jus buah, produk fermentasi, sup, dan minuman lainnya.

Bahkan pada masa-masa awal pasteurisasi, susu hanya memiliki umur simpan pendek, karena pendinginan rumah tangga tidak meluas. Ini terjadi pada tahun 1940-an dan berdampak langsung pada menjaga kualitas. Awalnya ada juga resistensi yang cukup besar terhadap pengenalan pasteurisasi susu, tidak berbeda dengan yang sekarang dihadapi oleh iradiasi.

Pasteurisasi tidak menonaktifkan semua mikroorganisme: mikroorganisme yang selamat dari pasteurisasi disebut termoduric dan mikroorganisme yang bertahan dengan perlakuan yang lebih keras (80-100 °C selama 30 menit) disebut pembentuk spora. Secara tradisional itu adalah proses batch - proses tertahan, - pada 63 °C selama 30 menit, tetapi ini diikuti oleh pengenalan dan penerimaan proses HTST berkelanjutan.

4.2.1 *Pasteurisasi HTST*

Proses HTST (*high temperature short time*) diselidiki pada akhir 1920-an. Itu disetujui untuk susu di AS pada tahun 1933 dan persetujuan untuk proses itu diberikan di Inggris pada tahun 1941. Operasi berkelanjutan menawarkan sejumlah keuntungan, seperti laju pemanasan dan pendinginan yang lebih cepat, waktu penahanan yang lebih singkat dan regenerasi, yang menghemat pemanasan dan biaya pendinginan dan berkontribusi pada biaya pemrosesan yang rendah yang dikeluarkan dalam operasi pemrosesan termal, dibandingkan dengan banyak teknik baru. Skala operasi pada penukar panas terus menerus berkisar antara 500 liter h⁻¹ dan 50 000 liter h⁻¹, dengan model eksperimental turun ke 50 liter h⁻¹. Pemrosesan berkelanjutan memperkenalkan beberapa komplikasi tambahan yang telah diselesaikan dengan baik, termasuk kontrol aliran, pengalihan aliran dan distribusi waktu tinggal.

Skema aliran fluida melalui penukar panas dan bagian pertukaran panas ditunjukkan pada Gambar 18.2. Cairan pertama memasuki regenerasi (A), di mana ia dipanaskan dari θ_1 ke θ_2 oleh fluida meninggalkan tabung memegang. Kemudian memasuki bagian pemanas utama, di mana ia dipanaskan sampai suhu pasteurisasi, θ_3 , kemudian melewati tabung penampung. Tabung dibangun sedemikian rupa sehingga waktu tinggal minimum melebihi waktu tinggal yang ditentukan dan ini dapat ditentukan secara eksperimental pada interval reguler. Kemudian melewati kembali ke bagian regenerasi, di mana ia didinginkan sampai θ_4 . Ini diikuti oleh bagian pendinginan lebih lanjut, menggunakan air biasa dan air dingin. Air induk suhu tinggi lebih baik dikeluarkan dari tempat pemanas produk daripada mendinginkannya, misalnya pada suhu tinggi atau suhu air induk yang tinggi. Dengan meningkatnya RE, ukuran dan biaya modal dari penukar panas meningkat; Laju pemanasan menurun, yang dapat mempengaruhi kualitas, tetapi ini lebih berbahaya pada sterilisasi UHT. Profil pemanasan cenderung menjadi lebih linier pada efisiensi RE tinggi. Fitur lainnya adalah tangki keseimbangan yang dikendalikan oleh pelampung, untuk memastikan head yang konstan ke pompa umpan dan berbagai layar dan filter untuk memindahkan suspended dari bahan.

Dalam kebanyakan pasteuriser, satu pompa digunakan. Sangat penting bahwa laju aliran tetap konstan, meskipun ada gangguan dalam suhu komposisi umpan, atau perubahan dalam karakteristik sistem. Dua opsi yang paling umum adalah pompa sentrifugal dengan pengontrol aliran atau pompa perpindahan positif. Jika produk tersebut akan dihomogenisasi, oleh homogeniser itu sendiri yaitu pompa positif untuk mengendalikan laju aliran. Pada sebagian besar pasteuriser, proses pemanasan akhir disediakan oleh set air panas. Uap digunakan untuk mempertahankan suhu air panas pada nilai konstan, di suatu tempat antara 2 °C dan 10 °C lebih tinggi dari suhu pasteurisasi yang diperlukan. Pemanasan listrik dapat digunakan, biasanya di lokasi di mana akan mahal atau sulit untuk memasang pembangkit uap (*boiler*). Sistem *holding*

biasanya berupa tabung *holding* langsung, dengan pemeriksaan suhu di awal dan katup pengalihan aliran di ujungnya. Posisi pengukur suhu dalam tabung penahan adalah salah satu aspek untuk dipertimbangkan. Ketika diposisikan di awal, ada lebih banyak waktu bagi sistem kontrol untuk merespon fluida yang kurang diproses, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk melewati tabung, tetapi itu tidak akan mengukur suhu minimum yang diperoleh, karena akan ada pengurangan suhu karena kehilangan panas karena cairan mengalir melalui tabung. Ini dapat dikurangi dengan mengisolasi tabung penahan, tetapi umumnya tidak dianggap sebagai masalah utama dalam pasteurisasi komersial.

Idealnya kontrol suhu harus dalam $\pm 0,5$ °C. Perhatikan bahwa kesalahan suhu 1 °C, akan menyebabkan pengurangan sekitar 25% dalam proses kematian (dihitung untuk $z = 8$ °C). Dari *holding tube*, dalam operasi normal, ia kembali ke regenerasi, diikuti oleh pendinginan akhir. Produk yang dipasteurisasi dapat dikemas secara langsung atau disimpan dalam tangki curah.

Pada prinsipnya, produk yang aman harus diproduksi di ujung tabung penampung. Namun, mungkin ada kontribusi tambahan terhadap total mematikan proses dari bagian awal siklus pendinginan. Setelah itu, penting untuk mencegah kontaminasi ulang, baik dari pipa kotor dan dari setiap kontaminasi ulang dengan pakan mentah. Jika ini terjadi, itu dikenal sebagai kontaminasi *postpasteurisation*; dan ini bisa menjadi penentu utama kualitas. Kegagalan pasteurisasi proses dihasilkan dari kedua penyebab. Insiden yang paling serius telah menyebabkan wabah keracunan makanan dan telah muncul ketika susu yang dipasteurisasi telah terkontaminasi dengan susu mentah, yang sayangnya pasti mengandung patogen. Kontaminasi semacam itu dapat timbul karena sejumlah alasan, yang semuanya melibatkan sebagian kecil susu mentah yang tidak melalui tabung penampung. Salah satu penjelasannya terletak pada kebocoran lubang jarum atau celah pada pelat, yang mungkin muncul seiring waktu, karena korosi. Dengan penukar panas plat, integritas pelat perlu pengujian. Ini paling penting di bagian regenerasi; di mana ada kemungkinan kontaminasi dari bahan mentah ke yang diolah, yaitu dari tekanan tinggi ke rendah.

Perlindungan tambahan adalah penggabungan pompa tambahan, untuk memastikan bahwa tekanan pada sisi yang dipasteurisasi lebih tinggi dari pada sisi mentah, tetapi hal ini semakin menyulitkan pabrik. Di beberapa negara, persyaratan ini dapat dimasukkan ke dalam peraturan perlakuan panas. Pendekatan lain adalah penggunaan pelat berdinding ganda, yang juga meningkatkan area perpindahan panas sekitar 15-20% karena celah udara. Ini dan aspek keamanan lainnya telah dibahas oleh Sorensen. Lubang kecil pada bagian pemanas dan pendingin dapat menyebabkan dilusi produk atau kontaminasi produk di bagian air panas atau air dingin; dan ini dapat menyebabkan bahaya mikrobiologis yang tidak terduga. Penting bahwa pelat secara teratur diuji tekanan dan produk diuji, dengan mengukur depresi titik bekunya, untuk memastikan bahwa pelat belum diencerkan. Masalah yang sama dapat muncul dari kebocoran katup, baik dalam saluran daur ulang atau deterjen.

Sekarang lebih mudah untuk mendeteksi apakah susu pasteurisasi telah direkontaminasi dengan susu mentah, sejak diperkenalkannya instrumentasi yang lebih sensitif untuk mendeteksi aktivitas fosfatase. Dikatakan bahwa kontaminasi susu mentah serendah 0,01% dapat dideteksi. Miller Jones mendokumentasikan kegagalan pasteurisasi utama di Amerika, di mana lebih dari 16.000 orang terinfeksi salmonela dan sepuluh orang meninggal. Penyebabnya diyakini karena PPC, disebabkan oleh bagian tanaman yang tidak mudah mengalir dan dibersihkan, sehingga mengarah ke kontaminasi ulang susu yang sudah dipasteurisasi.

Beberapa pertimbangan lebih lanjut dari aspek teknik disediakan oleh Kessler dan Hasting Fouling tidak dianggap sebagai masalah seperti itu dibandingkan dengan yang ditemukan dalam pemrosesan UHT. Namun, dengan proses yang lebih lama dan bahan baku berkualitas buruk, mungkin harus diperhitungkan dan beberapa produk seperti telur mungkin lebih rentan terhadap pengotoran. Salah satu aspek penting adalah pengurangan waktu tinggal karena pengotoran pada *holding tube*.

Kecenderungannya adalah agar pabrik pasteurisasi HTST berjalan lebih lama (16-20 jam), sebelum dibersihkan dan dimatikan. Sekali lagi, memantau aktivitas fosfatase secara berkala sepanjang berguna untuk memastikan pasteurisasi seragam di seluruh dan untuk mendeteksi perubahan yang lebih halus dalam kinerja pabrik, yang dapat mengarah pada estimasi yang lebih baik tentang kapan pembersihan diperlukan. Namun, juga telah disarankan bahwa ada peningkatan bakteri termofilik karena akumulasi bakteri tersebut di bagian pendingin regeneratif yang timbul menjelang akhir dari proses pemrosesan yang lama. Yang juga sangat penting adalah masalah pengotoran, pembersihan, dan disinfektan, yang semuanya merupakan hal terpenting dalam ekonomi proses.

4.2.2 *Pasteurisasi Tunnel*

Pasteurisasi dalam terowongan atau semprotan banyak digunakan dalam industri minuman, untuk pemanasan terus-menerus dan pendinginan produk dalam wadah tertutup. Ini ideal untuk volume tinggi. Contoh dari produk tersebut adalah minuman lunak dan berkarbonasi, jus, bir dan saus. Dengan menggunakan prosedur ini, PPC harus sangat dikurangi, penyebab utamanya adalah karena jahitan yang cacat di dalam wadah. Ada tiga tahap utama dalam *terowongan, pemanasan, penahanan, dan pendinginan*; dan di setiap tahap air pada suhu yang sesuai disemprotkan ke wadah. Karena laju pemanasan tidak setinggi untuk penukar panas pelat atau tabung, proses ini lebih cocok untuk waktu yang lebih lama / proses suhu yang lebih rendah. Total waktu transit mungkin sekitar 1 jam, dengan menahan suhu antara 60 °C dan 70 °C selama sekitar 20 menit. Pearse [17] mengutip 60 °C selama 20 menit sebagai profil waktu / suhu yang terbukti. Ada beberapa ruang untuk regenerasi di unit-unit ini.

4.3. Sterilisasi

4.3.1 Pemrosesan Dalam Wadah

Sterilisasi makanan dengan aplikasi panas dapat dilakukan dalam wadah tertutup atau dengan teknik aliran kontinu. Secara tradisional itu adalah proses dalam wadah, meskipun ada banyak perkembangan dalam teknologi wadah sejak proses pertama kali dikomersialkan pada awal abad ke-19. Masalah utamanya adalah keamanan dan kualitas makanan. Bakteri patogen yang paling tahan panas adalah *Clostridium botulinum*, yang tidak tumbuh di bawah pH 4,5. Atas dasar ini, klasifikasi paling sederhana adalah mengkategorikan makanan sebagai makanan asam (pH <4,5) atau makanan asam rendah (pH > 4,5). Perhatikan bahwa klasifikasi yang lebih luas telah digunakan untuk pengalengan: asam rendah (pH > 5,0), asam sedang (pH 4,5-5,0), asam (pH 4,5-3,7), asam tinggi (pH <3,7). Namun, seperti yang disebutkan sebelumnya, perhatian utama adalah dengan makanan pada pH > 4,5. Untuk makanan seperti itu, proses minimum yang disarankan adalah mencapai pengurangan *C. botulinum*. Ini adalah dikenal sebagai 'koki botulinum minimum'. Ini membutuhkan pemanasan pada 121° C untuk 3 menit, diukur pada titik pemanasan paling lambat. Bukti untuk ini menghasilkan proses yang aman untuk makanan yang disterilkan disediakan dan diawetkan dengan panas setiap tahun, tanpa masalah terkait *C. botulinum*.

Suhu 121.1 °C (250 F) diambil sebagai suhu referensi untuk proses sterilisasi. Ini digunakan bersama dengan nilai z untuk *C. botulinum*, yang diambil sebagai 10 °C, untuk membangun tabel letalitas standar (lihat Tabel 18.2). Karena letalitas adalah aditif, dimungkinkan untuk menjumlahkan letalitas untuk suatu proses dan menentukan total efek mematikan terintegrasi, yang dikenal sebagai *F_o*.

Dalam istilah matematika, *F_o* didefinisikan sebagai total efek mematikan terintegrasi, yaitu:

$$F_o = \int L dt \dots\dots\dots(12)$$

Ini dinyatakan dalam menit pada suhu referensi 121,1 °C, menggunakan tabel letalitas standar yang diperoleh untuk nilai z 10°C.

Untuk produk kalengan, ditentukan dengan menempatkan termokopel pada titik pemanasan paling lambat dalam kaleng dan mengukur suhu selama proses sterilisasi. Ini dikenal sebagai metode umum dan banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat kematian mikrobiologis dari proses sterilisasi dalam wadah. Metode lain tersedia berdasarkan mengetahui tingkat pemanasan dan pendinginan produk.

Nilai-nilai F_0 yang direkomendasikan untuk berbagai makanan diberikan pada Tabel 18.2 dan 18.3. Dapat dilihat dari nilai-nilai ini bahwa beberapa makanan perlu jauh melebihi dari *botulinum cook* minimum, yaitu nilai $F_0 = 3$ (dengan nilai berkisar antara 4 dan 18) untuk mencapai sterilitas komersial. Ini karena ada beberapa spora bakteri lain yang lebih tahan panas daripada *C. botulinum*. Yang paling tahan panas dari ini adalah termofil *Bacillus stearothermophilus*, yang memiliki waktu pengurangan desimal sekitar 4 menit pada 121 °C. Yang menarik baru-baru ini adalah bakteri pembentuk spora metilitik *B. sporothermodurans*. Beberapa nilai ketahanan panas untuk spora penting lainnya dirangkum oleh Lewis dan Heppell dan kompilasi yang lebih rinci diberikan oleh Burton , Holdsworth dan Walstra et al. . Spora tahan panas semacam itu dapat menyebabkan pembusukan makanan, baik melalui produksi asam (asam) atau produksi gas. Sekali lagi, spora tersebut tidak akan tumbuh di bawah pH 4,5 dan banyak dari organisme tersebut dihambat pada nilai pH lebih tinggi dari ini: misalnya *B. stearothermophilus*, yang menyebabkan pembusukan datar/asam, tidak akan terus tumbuh di bawah pH 5,2.

Tabel 18. 2. Nilai kesetaraan, menggunakan referensi temperatur 121.1 °C, z = 10 C. Nilai-nilai mematikan diturunkan dari $\log L = (T - \theta) / z$, di mana L = jumlah menit pada suhu referensi setara dengan 1 menit pada suhu eksperimental, T = suhu eksperimental, θ = suhu referensi (121,1 °C)

Suhu Proses		LethalityL	Suhu Proses		LethalityL
Celcius	Franheit		Celcius	Franheit	
110	230,0	0,078	133	271,4	15,49
112	237,2	0,195	134	273,2	19,50
114	237,2	0,195	135	275,0	24,55
116	240,8	0,309	136	276,8	30,90
118	244,4	0,490	137	278,6	38,90
120	248,0	0,776	138	280,4	48,98
121	249,8	0,977	139	282,2	61,66
121,1	250,0	1,000	140	284,0	77,62
122	251,6	1,230	141	285,8	97,72
123	253,4	1,549	142	287,6	123,0
124	255,2	1,950	143	289,4	154,9
125	257,0	2,455	144	291,2	195,0
126	258,8	3,090	145	293,0	245,5
127	260,6	3,890	146	294,8	309,2
128	262,4	4,898	147	296,6	389,0
129	264,2	6,166	148	298,4	489,8
130	266,0	7,762	149	300,2	616,6
131	267,8	9,772	150	302,0	776,24
132	269,6	12,30			

Tingkat keparahan proses (nilai Fo) yang dipilih untuk setiap makanan tergantung pada sifat flora pembusuk yang terkait dengan makanan, jumlah yang mungkin ada dalam makanan itu dan sampai batas tertentu pada ukuran wadah, karena lebih banyak organisme akan masuk ke wadah yang lebih besar. Produk-produk tersebut disebut steril secara komersial, tingkat pembusukan target menjadi kurang dari 1:10.000. Harus diingat bahwa operasi pengalengan dan pembotolan adalah operasi kecepatan tinggi, dengan produksi hingga 50.000 kontainer setiap jam dari satu jalur produk tunggal. Sangat penting bahwa masing-masing wadah diperlakukan sama persis dan produk yang diperlakukan pada setiap hari berikutnya juga mengalami kondisi yang sama.

Filosofi untuk memastikan keselamatan dan kualitas dalam pemrosesan termal adalah untuk mengidentifikasi operasi di mana bahaya dapat terjadi (titik kontrol kritis) dan merancang prosedur untuk mengendalikan operasi ini untuk meminimalkan bahaya. Yang paling penting adalah kontrol semua faktor yang mempengaruhi penetrasi panas ke dalam produk dan meminimalkan jumlah spora tahan panas yang masuk ke kaleng sebelum penyegekan. Penting juga untuk memastikan bahwa penutupan (segel) kedap udara, sehingga menghilangkan PPC.

Karena tidak praktis untuk mengukur suhu di setiap kaleng, filosofi untuk penjaminan kualitas melibatkan verifikasi bahwa kondisi yang digunakan selama proses pengalengan mengarah pada produksi produk yang steril secara komersial dan memastikan bahwa kondisi ini direproduksi setiap hari. Kondisi pemrosesan seperti suhu dan waktu adalah titik kontrol kritis. Lainnya adalah kualitas bahan baku (terutama jumlah spora tahan panas), dan mengendalikan semua faktor yang mempengaruhi penetrasi panas. Ini termasuk mengisi suhu, ukuran ruang kepala, rasio padatan terhadap cair, viskositas cair, prosedur ventilasi dan mengurangi PPC dengan integritas segel, klorinasi air pendingin dan menghindari penanganan kaleng basah (setelah pemrosesan) dan pengeringan segera. Penting juga untuk menghindari perbedaan tekanan besar antara bagian dalam dan luar wadah. Mengeringkan kaleng dengan cepat setelah pendinginan dan mengurangi tangan manual.

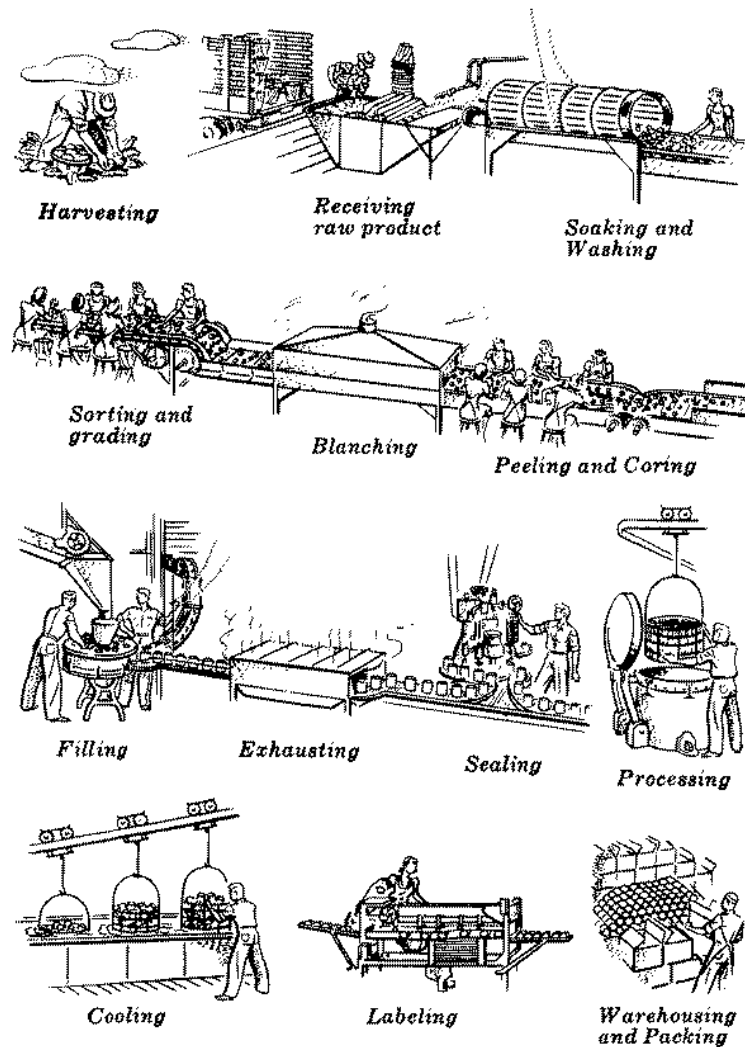
Mengeringkan kaleng sangat penting untuk meminimalkan *PPC*. Sterilisasi dalam wadah melibatkan integrasi sejumlah operasi, yang semuanya akan berkontribusi pada efektivitas proses secara keseluruhan. Ini dirangkum dalam Gambar 18.5 dan oleh Jackson dan Shinn dan akan dibahas lebih lanjut di bawah ini.

Tabel 18.3. Nilai F_0 yang telah berhasil digunakan untuk produk di pasar Inggris

Product	Cansize(s)	F_0 values
Babyfoods	Babyfood	3–5
Beansintomatosauce	All	4–6
Peasinbrine	UptoA2	6
	A2toA10	6–8
Carrots	All	3–4
Greenbeansinbrine	UptoA2	4–6
	A2toA10	6–8
Celery	A2	3–4
Mushroomsinbrine	A1	8–10
Mushroomsinbutter	UptoA1	6–8
Meatsingravy	All	12–15
Slicedmeatingravy	Ovals	10
Meatpies	Tapered,flat	10
Sausagesinfat	Upto1lb	4–6
Frankfurtersinbrine	Upto16Z	3–4
Curries,meatsandvegetables	Upto16Z	8–12
Poultryandgame,wholeinbrine	A2.5toA10	15–18
Chickenfilletsinjelly	Upto16oz	6–10
'Sterile'ham	1lb,2lb	3–4
Herringsintomato	Ovals	6–8
Meatsoups	Upto16Z	10
Tomatosoup,notcreamof	All	3
Creamsoups	A1to16Z	4–5
	UptoA10	6–10
Milkpuddings	Upto16Z	4–10
Cream	4ozto6oz	3–4

Jenis-jenis Wadah

Untuk proses dalam-wadah, sekarang ada berbagai macam wadah yang tersedia yang paling umum adalah kaleng dan tutupnya. Ada banyak perkembangan sejak awal sebagai baja ringan dilapisi dengan pelat timah: ini termasuk kaleng yang disolder atau dilas, kaleng dua dan tiga potong, baja bebas timah dan aluminium dan ada banyak pernis berbeda untuk mencegah interaksi kimia antara logam dan logam. Makanan. Modifikasi ini telah dibuat untuk mempengaruhi pengurangan biaya dan memberikan kenyamanan yang lebih besar. Kaleng dapat mentoleransi perbedaan tekanan yang masuk akal. Botol kaca dan toples adalah hal biasa. Susu yang disterilkan secara tradisional diproduksi dalam botol-botol kaca tetapi produk-produk dalam gelas perlu dipanaskan dan didinginkan lebih lambat untuk menghindari pecahnya wadah. Wadah lain yang digunakan untuk sterilisasi dalam wadah meliputi kantong fleksibel, baki plastik, dan botol. Semua bahan ini memiliki ketebalan dinding yang berbeda, konduktivitas termal yang berbeda dan luas permukaan yang berbeda dengan rasio volume, yang semuanya dapat mempengaruhi kecepatan perpindahan panas dan dengan demikian kualitas produk akhir yang diolah dengan panas.



Gambar 18.5. Proses Pengalengan

Pasokan Bahan Baku

Sangat penting bahwa ada pasokan bahan baku dengan kualitas dan kuantitas yang tepat: persyaratan untuk kontrak antara pemasok dan pengolah makanan yang melindungi kepentingan mereka. Untuk buah dan sayuran, varietas yang tepat harus dipilih untuk pengalengan, karena mereka harus mampu menahan perlakuan panas tanpa pelunakan atau disintegrasi yang tidak semestinya. Juga penting adalah karakteristik sensorik mereka, jumlah spora dan kontaminan kimia. Makanan yang akan diproses harus diangkut dengan cepat ke pabrik pengolahan.

Operasi Pendahuluan

Operasi pendahuluan tergantung pada jenis makanan yang mencakup inspeksi, persiapan, pembersihan, pengelupasan, destoning dan pengurangan ukuran. Jika digunakan, kualitas air menjadi penting dan akan ada limbah yang dapat dipertimbangkan untuk dibuang. Perhatikan bahwa beberapa sayuran yang sudah disiapkan sebelumnya mungkin telah disulfitasi dan untuk sterilisasi dalam kaleng logam ini harus dihindari, karena sulfit dapat mengupas pelat timah.

Blanching

Blanching adalah operasi yang penting, menggunakan air panas atau uap. Produk yang berbeda memiliki kombinasi waktu/suhu yang berbeda. *Blanching* menginaktifkan enzim dan menghilangkan udara intraseluler, sehingga membantu meminimalkan tekanan internal yang dihasilkan pada pemanasan. Ini juga meningkatkan kepadatan makanan dan melembutkan jaringan sel, yang memfasilitasi pengisian dan selanjutnya membersihkan produk serta

menghilangkan organisme vegetatif. Ini dapat menyebabkan beberapa degradasi termal nutrisi dan beberapa kehilangan dan pemucatan akibat pencucian dengan air panas. Ulasan rinci yang sangat baik tentang *blansing* diberikan oleh Selman.

Pengisian

Mengisi adalah operasi yang penting, baik untuk produk dan sirup atau saus air garam yang mungkin menyertainya. Adalah penting untuk mencapai yang benar diisi dan bobot dan headspace terkuras. Saat menggunakan pengisian panas, suhu pengisian harus dikontrol, karena variasi akan menyebabkan variasi dalam tingkat keparahan proses sterilisasi keseluruhan.

Saus, air asin, dan sirup dapat digunakan; dan komposisinya mungkin dilindungi oleh Kode Praktik. Salah satu alasan utama penggunaannya adalah untuk meningkatkan perpindahan panas.

Exhausting

Ini melibatkan penghapusan udara sebelum penyegekan, membantu mencegah perkembangan tekanan yang berlebihan dalam wadah selama perlakuan panas, yang akan meningkatkan kemungkinan merusak segel. Empat metode tersedia untuk *exhausting* yaitu: vakum mekanis, memanaskan dengan heater, mengisi panas dan menutup aliran uap.

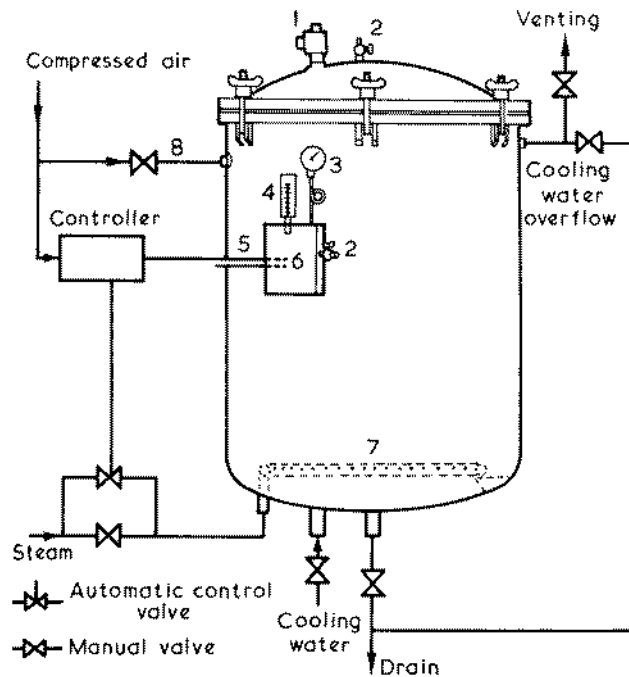
Proses selanjutnya adalah penyegekan, yaitu memproduksi segel kedap udara (kedap udara). Untuk kaleng, ini dicapai dengan proses pengguliran ganda dan integritas segel diperiksa dengan inspeksi visual dan dengan menghancurkan segel serta melihat tumpang tindih dan kekencangan. Lapisan kaleng dapat menangani dari 50 hingga 2.000 kaleng per menit.

Kontainer Disterilkan Dalam Retort

Yang merupakan bejana bertekanan besar (Gambar 18.6). Batch dan retort kontinu tersedia dan media pemanasnya adalah uap, air panas bertekanan, atau campuran uap / udara. Untuk uap, ada hubungan tetap antara tekanan dan suhunya, yang diberikan oleh tabel uap. Harus ada sistem yang akurat untuk merekam suhu dan termometer yang menunjukkan. Pengukur tekanan uap harus dimasukkan, karena ini akan bertindak secara tidak langsung sebagai perangkat kedua untuk memonitor suhu. Perbedaan antara pembacaan suhu dan tekanan dapat menyarankan udara di dalam uap atau bahwa instrumen tidak benar. Ventilasi melibatkan pemindahan udara dari retort dan kondisi ventilasi perlu ditetapkan untuk setiap retort individu. Setiap produk akan memiliki waktu pemrosesan dan suhu yang unik; dan ini akan ditetapkan untuk memastikan bahwa nilai F_0 yang tepat tercapai untuk produk tersebut. Memastikan pengurangan 12D untuk *C. botulinum* (keamanan) memastikan bahwa makanan aman tetapi kondisi yang lebih ketat mungkin diperlukan untuk kemandulan komersial. Waktu pemrosesan dimulai ketika temperature dalam retort mencapai suhu pemrosesan yang diperlukan.

Pendinginan

Pendinginan adalah operasi yang sangat penting dan wadah harus didinginkan secepat mungkin hingga suhu akhir 35–40 °C. Saat produk mendingin, tekanan di dalam kaleng turun dan penting untuk memastikan bahwa tekanan dalam retort jatuh pada tingkat yang sama. Ini dicapai dengan menggunakan kombinasi air pendingin dan udara tekan untuk menghindari tekanan tiba-tiba yang disebabkan oleh kondensasi uap. Kualitas air itu penting dan harus bebas dari bakteri patogen. Ini dapat dijamin dengan klorinasi, tetapi jumlah yang berlebihan harus dihindari karena dapat menyebabkan korosi wadah. Penting juga untuk menghindari terlalu banyak penanganan manual kaleng basah untuk mengurangi kadar PPC. Wadah tersebut kemudian diberi label dan disimpan. Sebagian kecil mungkin diinkubasi pada suhu tinggi untuk mengamati wadah yang meledak.



Gambar 18.6. *Retort batch vertical* yang dilengkapi untuk pendinginan di bawah tekanan udara: 1, katup pengaman; 2, katup untuk mempertahankan pendarahan uap dari retort selama pemrosesan; 3, pengukur tekanan; 4, termometer; 5, elemen penginderaan untuk controller; 6, kotak termometer; 7, penyebar uap; 8, saluran masuk udara untuk pendinginan tekanan

4.3.2. Pemrosesan UHT

Baru-baru ini, proses sterilisasi terus menerus telah diperkenalkan. Ultra-high temperature (UHT) atau pemrosesan aseptik melibatkan produksi produk yang steril secara komersial dengan memompa produk melalui penukar panas. Untuk memastikan umur simpan yang lama, produk steril dikemas ke dalam wadah yang telah dipanaskan sebelumnya di lingkungan yang steril. Segel kedap udara dibentuk, yang mencegah infeksi ulang, untuk memberikan umur simpan minimal 3 bulan pada suhu sekitar. Sudah lama diketahui bahwa penggunaan suhu yang lebih tinggi untuk waktu yang lebih singkat menghasilkan lebih sedikit kerusakan bahan kimia pada bahan-bahan penting dan bahan-bahan fungsional dalam makanan, sehingga mengarah pada peningkatan kualitas produk.

Sterilisasi produk dicapai dengan pemanasan cepat pada suhu sekitar 140°C dan tahan selama beberapa detik, diikuti oleh pendinginan cepat. Idealnya, pemanasan dan pendinginan harus dilakukan secepat mungkin. Metode pemanasan tidak langsung dan langsung tersedia. Produk UHT berada dalam posisi yang baik untuk dapat meningkatkan gambaran kualitas dari olahan panas.

Pertimbangan Keselamatan dan Kerusakan

Dari sudut pandang keselamatan, tujuan utama adalah produksi produk steril yang komersial, dengan umur simpan yang panjang. Perhatian utama adalah inaktivasi spora patogen yang paling tahan panas, yaitu *C. botulinum*. Kriteria keamanan yang digunakan untuk pemrosesan UHT harus didasarkan pada produk-produk kaleng dan botol yang sudah mapan. Nilai F_0 minimum untuk setiap makanan rendah asam haruslah pH3. Jus buah dan produk asam lainnya membutuhkan proses yang kurang ketat atau dapat dipanaskan dalam wadahnya, baik di terowongan atau peralatan oventype.

Kondisi waktu/suhu yang diperlukan untuk mencapai botulus memasak minimum dapat diperkirakan pada suhu UHT. Pada suhu 141 °C, waktu 1,8 detik diperlukan. Ada bukti eksperimental untuk menunjukkan bahwa data untuk botulinum dapat diperpanjang hingga 140 °C [29]. Untuk produk UHT, nilai perkiraan F_0 dapat diperoleh dari suhu penahanan (T, C) dan waktu tinggal minimum (t, s): Persamaan. (13). Dalam praktiknya, nilai sebenarnya lebih tinggi dari nilai yang diestimasi ini karena kontribusi mematikan dari akhir periode pemanasan dan awal periode pendinginan serta beberapa kematian tambahan dari distribusi waktu tinggal.

$$F_0 = 10^{\frac{(T-121.1)}{10}} \cdot \frac{t}{60} \dots\dots\dots (13)$$

Oleh karena itu, *cook botulinum* harus menjadi persyaratan minimum untuk semua makanan rendah asam, bahkan yang botulinumnya tidak menjadi masalah, mis. untuk sebagian besar produk susu. Di Inggris, ada peraturan perlakuan panas menurut undang-undang untuk beberapa produk UHT:

- susu, 135 °C selama 1 detik
- krim, 140 °C selama 2 detik
- produk berbasis susu, 140 °C selama 2 detik
- campuran icecream, 148,9°C selama 2 detik.

Dalam beberapa kasus, suhu yang lebih rendah dan waktu yang lebih lama dapat digunakan, asalkan dapat dibuktikan bahwa proses membuat produk bebas dari mikroorganisme yang layak dan spora mereka. Jika tidak ada pedoman yang diberikan, nilai F_0 direkomendasikan untuk produk kaleng yang sama akan menjadi titik awal yang tepat (khas 6-10 untuk produk susu). Tekanan yang memadai harus diterapkan untuk mencapai suhu yang dibutuhkan. Tekanan bekerja di dalam *holding tube* melebihi 100 kPa di atas tekanan uap jenuh, sesuai dengan suhu UHT, telah disarankan.

Proses UHT, seperti produk kalengan, juga rentan terhadap *PPC*. Ini biasanya tidak menimbulkan masalah kesehatan masyarakat, meskipun kontaminasi dengan patogen tidak bisa dikesampingkan. Namun, produk tingkat tinggi tidak meningkatkan gambaran kualitas, terutama jika tidak terdeteksi sebelum dirilis untuk dijual. Kontaminasi dapat timbul dari produk yang diinfeksi ulang di bagian pendingin pabrik, atau dalam pipa yang mengarah ke tangki penampung / penyangga aseptik atau pengisi aseptik. Ini dihindari dengan memanaskan semua titik di hilir *holding tube* pada suhu 130°C selama 30 menit. Bahan kemasan mungkin memiliki cacat, atau segel mungkin tidak kedap udara, atau kemasan mungkin rusak selama penanganan selanjutnya

4.3.3. Masalah Khusus dengan Produk Kental dan Partikulat

Pemrosesan panas yang terus menerus dari produk kental dan partikulat memberikan beberapa masalah khusus. Untuk produk kental dimungkinkan untuk menggunakan penukar panas tubular, tetapi lebih mungkin bahwa penukar panas permukaan yang tergores akan diperlukan. Ini menggabungkan pisau scraper yang secara terus menerus menyapu produk dari permukaan perpindahan panas. Gambar 18.7, alat penukar panas ini secara mekanis lebih kompleks, dengan segel di ujung saluran masuk dan keluar dari poros pisau pengikis. Koefisien perpindahan panas secara keseluruhan rendah, alirannya streamline dengan konsekuensi peningkatan dalam penyebaran waktu tinggal dan fluida yang dipanaskan mungkin juga bukan baru. Laju pemanasan dan pendinginan cukup lambat dan prosesnya umumnya lebih mahal, karena biaya modal dan perawatan yang lebih tinggi dan lebih sedikit ruang untuk regenerasi. Ini dapat digunakan untuk proses pasteurisasi atau sterilisasi. Dua kegunaan spesialis dari peralatan ini adalah untuk pembekuan es krim dan untuk pembuatan margarin dan rendah lemak. Dalam kebanyakan kasus, meningkatkan kecepatan agitasi meningkatkan efisiensi perpindahan panas dengan meningkatkan koefisien perpindahan panas secara keseluruhan. Namun, saat mendinginkan produk, beberapa

mungkin sangat kental, mis. karena kristalisasi produk; dan kecepatan agitasi yang lebih tinggi dapat menciptakan panas gesekan tambahan, membuat produk lebih hangat daripada pendinginan. Ini dikenal sebagai disipasi (penghamburan) kental. Penukar panas permukaan bekas juga dapat menangani sistem partikel, hingga diameter 25 mm.

Masalah muncul dengan sistem partikulat karena fase padat melakukan panas secara perlahan sehingga akan membutuhkan waktu lebih lama untuk mensterilkan partikel dibandingkan dengan cairan. Juga, penentuan koefisien film panas sulit karena ketidakpastian dalam kecepatan relatif padatan sehubungan dengan cairan. Mungkin juga ada masalah dalam menentukan distribusi waktu tinggal dari komponen padat. Satu sistem khusus adalah pemanasan Ohmik, di mana bahan partikulat dipompa melalui tabung tanpa konduksi tempat elektroda ditempatkan. Arus listrik dilewatkan melalui bahan dan efek pemanasan disebabkan oleh pemanasan resistif (*resistive heating*) dan ditentukan oleh konduktivitas listrik dari makanan serta tegangan yang diberikan. Jika partikel padat memiliki konduktivitas yang sama dengan cairan, seharusnya tidak ada perbedaan dalam tingkat pemanasan di antara mereka. Sayangnya tidak ada proses pendinginan cepat yang menyertainya dan sedikit ruang untuk menghasilkan energi.

Pendekatan kedua adalah memiliki sistem *holding tube* selektif, di mana partikel yang lebih besar ditahan dalam *holding tube* untuk periode waktu yang lebih lama. Pendekatan ketiga melibatkan memanaskan fase padat dan cair secara terpisah dan menggabungkannya. Ini adalah fitur dari sistem pemanas Jupiter. Sistem ini dibahas secara lebih rinci oleh Lewis dan Heppell.

Pemanasan dielektrik, khususnya gelombang mikro, juga dapat digunakan untuk pasteurisasi dan sterilisasi makanan dalam proses yang berkelanjutan. Untuk makanan yang mengandung partikel sol, ada beberapa keuntungan dalam hal bisa menghasilkan panas di dalam partikel. Faktor yang mempengaruhi laju pemanasan meliputi kekuatan medan dan frekuensi energi gelombang mikro dan faktor kehilangan dielektrikmakanan. Namun, proses pemanasan dielektrik jauh lebih kompleks dibandingkan dengan proses HTST dan UHT yang mapan dan manfaat yang mungkin dihasilkan harus dipertimbangkan terhadap kenaikan biaya. Salah satu kelemahan utama adalah pemanasan yang tidak seragam. Ini adalah aspek penting dalam proses pasteurisasi dan steriisasi, di mana merupakan persyaratan bahwa semua elemen makanan mencapai suhu minimum untuk waktu minimum; misalnya 70°C selama 2 menit untuk menonaktifkan *E. coli* 0157. Jika bagian makanan hanya mencapai 65°C, meskipun bagian lain mungkin di atas 70°C, akan terjadi underprocessing yang serius. Identifikasi dengan kepastian yang lebih besar di mana titik-titik panas yang lebih lambat akan membantu memperbaiki masalah.

5. Prosedur Pengisian

Untuk pasteurisasi dan produk umur simpan yang lebih lama, sistem pengisian yang bersih digunakan dan untuk produk UHT diperlukan sistem aseptik. Ada sejumlah sistem pengemasan aseptik yang tersedia. Hal dilakukan dengan menempatkan produk steril ke dalam wadah steril di lingkungan aseptik. Ukuran paket berkisar dari porsi individu (14 ml) dan paket ritel (125 ml hingga 1 liter), hingga ke kantong dalam sistem kotak hingga 1000 l. Agen sterilisasi biasanya hidrogen peroksida (35% pada sekitar 75-80 °C), waktu kontak pendek dan residu hidrogen peroksida didekomposisi menggunakan udara panas. Steam superheated telah digunakan untuk sterilisasi kaleng dalam proses Dole. Radiasi dapat digunakan untuk kantong plastik.

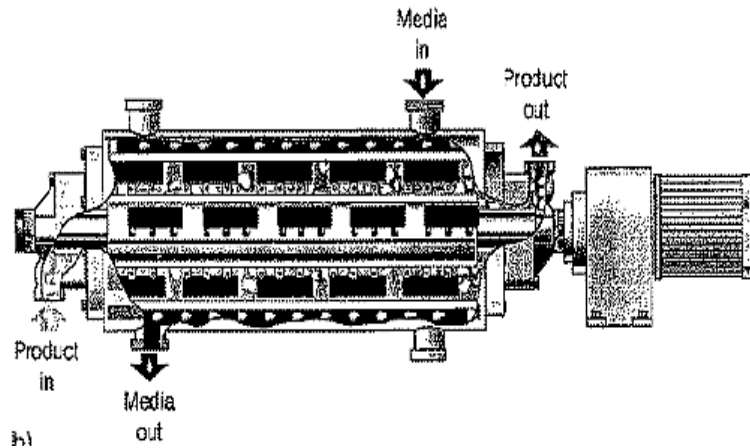
Karena sistem pengemasan aseptik sangat kompleks, ada ruang yang cukup untuk terjadinya kesalahan pengemasan, yang menyebabkan produk rusak. Di mana kesalahan terjadi, mikroorganisme pembusuk adalah acak dan dapat mencakup mikroorganisme yang diharapkan akan dinonaktifkan oleh pemrosesan UHT; dan ini sering menghasilkan paket yang rusak.

Paket harus diinspeksi secara teratur untuk memastikan bahwa mereka kedap udara, sekali lagi berfokus pada bagian-bagian yang lebih penting dari proses, mis. startup, shutdown, pergantian produk dan, untuk sistem karton, splic reel dan splices kertas. Prosedur sterilisasi harus

diverifikasi. Integritas segel paket harus dipantau serta kualitas mikroba keseluruhan bahan pengemasan itu sendiri. Perawatan harus diambil untuk meminimalkan kerusakan selama penanganan selanjutnya. Semua ini dapat menghasilkan peningkatan tingkat pembusukan.

6. Penyimpanan

Produk UHT umumnya disimpan pada suhu kamar (sekitar) dan produk berkualitas baik harus stabil secara mikrobiologis. Namun demikian, reaksi kimia dan perubahan fisik dapat terjadi yang akan mengubah kualitas produk. Yang khususnya relevan adalah reaksi oksidasi dan pencoklatan Maillard, yang keduanya dapat menyebabkan penurunan karakteristik sensorik produk. Ini dibahas secara lebih rinci oleh Burton dan Lewis dan Hepell



Gambar 18.7. Profil temperatur / waktu untuk berbagai instalasi UHT; tampilan cutaway dari penukar panas permukaan tergores horisontal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amit Sadat Kamal (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing
- Berk Zeki (2009). Thermal Processing In: Food Process Engineering and Technology. Elsevier, Tokyo pp; 622
- Brown G. G. Donald Katz, Alan S. Froust and Richard Schneidewind (1956). Dryer-Simultaneous Heat and Mass Transfer In Unit Operation John Wiley Sons. New York. pp.559-574.
- Driscoll Robert (2004) Food dehydration In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui Blackwell Publishing Iowa p : 31-44
- Fellows.P (2000). Dehydration, In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p 311-339
- Fellows P. (2000). Freeze drying and freeze concentration In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p. 441-451
- Hui Y. H.(2004) Food Plant Sanitation and Quality Assurance, Food Plant Sanitation and Quality Assurance, In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui, Blackwell Publishing Iowa p :151-164
- Hui Y. H., Miang-Hoog Lim, Wai-Kit Nip, J. Scott Smith, P. H. F. Yu (2004) Principles Of Food Processing. In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui, Blackwell Publishing Iowa p :1-30
- Ibarz Albert and Gustavo V. Barbosa-Cánovas (2003) Dehydration In Unit Operation in Food Engineering CRC Press, London, p : 573-617
- McCabe Warren L, Julian C. Smith and Peter Harriot (1993) Drying of Solids. In Unit Operation MacGraw-Hill Inc. New York p : 767-809.

BAB XIX

ALAT PENUKAR PANAS

1. Pendahuluan

Penukar panas digunakan untuk memindahkan panas dari satu system kesistem lain, pertukaran bisaterjadi antara aliran proses dan aliran utilitas (air dingin, bertekanansteam, dll), aliran proses dan sumber daya (panas listrik), atau di antara keduanya aliran proses yang menghasilkan integrasi energi dan pengurangan sumber panas eksternal.

Biasanya, penukar panas digunakan dengan dua aliran proses. Namun, multistream penukar panas kadang-kadang digunakan dengan proses energi ekstensif , seperti pengolahan minyak goreng, dengan tujuan untuk mengurangi biaya olah.

Istilah penukar panas berlaku untuk semua peralatan yang digunakan untuk memindahkan panas antara duastream. Namun, istilah ini biasa digunakan untuk peralatan di mana dua prosesstream saling bertukar panas. Di sisi lain, istilah pemanas atau pendingin adalah digunakan ketika pertukaran terjadi antara aliran proses dan aliran layanan instalasi.

Istilah lain yang digunakan untuk menggambarkan peralatan pemanas meliputi: vaporizer dan reboiler (untuk penguapan) dan evaporator (untuk konsentrasi aliran). Penukar juga bisa diklasifikasikan sebagai pembakaran (sumber panas adalah pembakaran bahan bakar) dan penukar yang tidak digunakan.

Dikatakan *countercurrent* aliran pertukaran kalor apabila arah aliran antara fluida dingin dan fluida panas saling berlawanan. Pada kondisi ini perbedaan temperatur antar fluida tidak terlalu signifikan sehingga perpindahan panas sepanjang aliran relative konstan. Selain pertukaran panas memungkinkan bahwa temperature keluaran fluida dingin lebih tinggi dari pada temperature keluaran fluida panas. Sebaliknya untuk aliran pertukaran panas searah, arah aliran dari kedua fluida memiliki arah aliran yang sama. Heat exchanger tipe ini juga sering disebut *cocurrent flow heat exchanger*. Pada heat exchanger ini terjadi perbedaan temperatur yang signifikan antar kedua fluida pada saat awal kedua fluida masuk. Dan temperature keluaran dari fluida dingin tidak mungkin lebih besar dari pada *temperature* fluida panas. Dilihat dari segi efisiensi pertukaran panas, bahwa suhu akhir dari bahan yang menerima panas lebih tinggi dari pada pemanas *countercurrent* dibandingkan dengan *cocurrent*. Lebih jelasnya pada skema heat *exchanger* berdasarkan aliran fluida, (Gambar 19.1 dan Gambar 19.3).

2. Alat Penukar Panas

Ada banyak jenis penukar panas yang diterapkan dalam industri proses. Jenis ini termasuk:

1. Peniti rambut / penukar pipa ganda
2. Penukar shell dan tabung
3. Penukar piring dan bingkai
4. Penukar sirip piring
5. Penukar panas spiral
6. Pendingin udara dan kondensor
7. Kontak langsung (menara pendingin)
8. Pemanas api

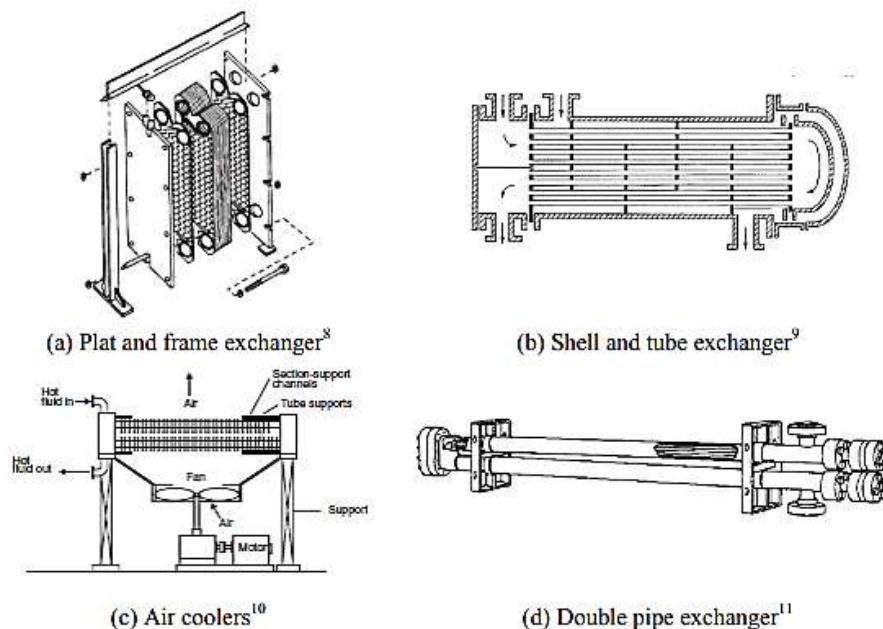
Pemilihan penukar panas tergantung pada beberapa faktor termasuk modal dan biaya operasi, pengotoran, kecenderungan korosi, penurunan tekanan, rentang suhu, dan masalah keamanan (toleransi terhadap kebocoran). Berbagai jenis penukar panas ditunjukkan pada Gambar 19.2. Dalam perhitungan proses, tujuan utama perhitungan penukar panas adalah untuk menentukan pindah panas (jumlah energi yang akan ditransfer), perubahan suhu dalam penukar, dan penurunan tekanan. Tergantung pada tingkat detailnya tersedia/dibutuhkan, perhitungannya mungkin sederhana atau menyeluruh. Untuk penukar dengan aliran panas dan aliran dingin, persyaratan panasnya dihitung sebagai:

$$Q = m\Delta H_{\text{hot}} \cong mC_p(T_{\text{in}}^{\text{hot}} - T_{\text{out}}^{\text{hot}}) \dots\dots\dots(1)$$

Atau

$$Q = m\Delta H_{\text{hot}} \cong mC_p(T_{\text{in}}^{\text{cold}} - T_{\text{out}}^{\text{cold}}) \dots\dots\dots(2)$$

Efisiensi pertukaran panas adalah (1)/(2)



Gambar 19.1. Berbagai jenis penukar panas

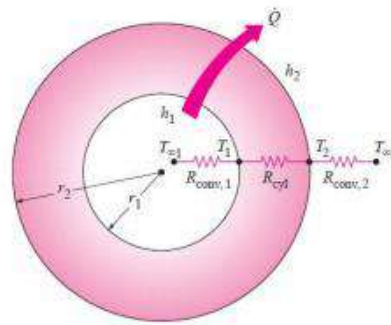
Selain itu, persamaan perpindahan panas keseluruhan untuk penukar harus diselesaikan serentak:

$$Q = U A \Delta T_{\text{LM}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana U adalah koefisien perpindahan panas keseluruhan, A area perpindahan panas, dan T_{LM} perbedaan suhu rata-rata log. Persamaan (3) digunakan saat menghitung sederhana atau aliran arus bersama ada. Jika pola aliran lebih kompleks (seperti halnya dengan kebanyakan penukar panas shell and tube), maka faktor koreksi (F) digunakan dan istilah persamaan menjadi:

$$Q = U A F \Delta T_{\text{LM}} \dots\dots\dots(4)$$

Bergantung pada kompleksitas model yang dipilih, informasi yang diperlukan dalam Persamaan (4) dapat bervariasi dari estimasi kasar ke perhitungan berdasarkan penukar geometri. Koefisien perpindahan panas keseluruhan mewakili kemudahan perpindahan panas dari satu medium ke medium lainnya. Misalnya, ketika panas dipindahkan dari panas cairan di dalam tabung ke fluida dingin di luar tabung (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.2), itu koefisien perpindahan panas keseluruhan adalah (Persamaan 5):



Gambar 19.2. Perpindahan panas melalui pipa (tabung)

$$U = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{-----(5)}$$

dengan R_1 menjadi resistensi terhadap perpindahan panas melalui setiap antarmuka (hot fluid-inner dinding tabung, dinding tabung dalam - dinding tabung luar, dan cairan dinding luar tabung dinding). Perhitungan resistansi tergantung pada fase dari mana panas dipindahkan. Untuk contoh, R_2 untuk (transfer pada antarmuka fluid-solid) resistensi diberikan oleh:

$$R = \frac{1}{(\pi 2rL)h} \text{----- (6)}$$

dan untuk R_2 (transfer melalui media padat), perlawanan diberikan oleh:

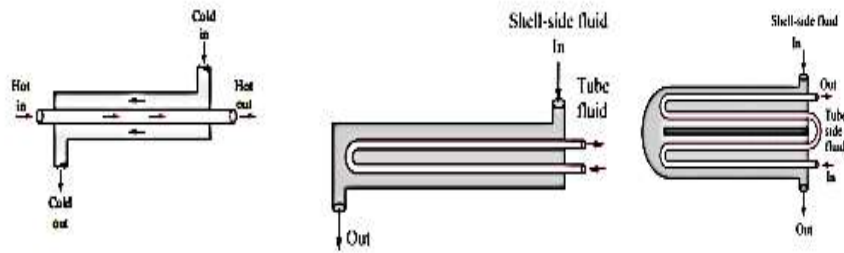
$$R = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi rL} \text{-----(7)}$$

dimana L = panjang pipa

Semua simbol di sini mengambil definisi seperti biasa. Seperti yang Anda lihat dari Persamaan (5) hingga (7), menghitung (U) membutuhkan pengetahuan tentang Geometri, sifat material, dan kondisi aliran. Geometri juga diperlukan untuk menghitung area perpindahan panas (A).

Informasi material dan aliran diperlukan untuk menghitung koefisien perpindahan panas (h dan k). Misalnya, koefisien perpindahan panas h dalam fluida dapat dihitung dari korelasi umum sesuai dengan pola aliran fluida dan fase hadir. Sebagai contoh, untuk aliran turbulen koefisien perpindahan panas dapat dihitung menggunakan umum korelasi

$$Nu = \frac{hD}{k} = CRe^a Pr^b \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^c \text{-----(18)}$$



(a) Aliran berlawanan (b) 1 sel Aliran searah (c) 2 sel aliran berlawanan arah
Gambar 19.3. Pola aliran penukar panas yang berbeda.

Bilangan Reynolds (Re), (vD/ν) dan nomor Prandtl ($C_p \mu/k$). Parameter C , a , b dan c adalah konstanta dan bergantung pada aliran. Selain mempengaruhi aliran, geometri penukar juga perlu dihitung area perpindahan panas. Area dihitung berdasarkan spesifikasi dimensi proses stream area kontak. Misalnya, dalam penukar shell dan tabung, pipa diameter dan panjang digunakan untuk tujuan ini. Faktor koreksi digunakan bersama dengan LMTD untuk menjelaskan penyimpangan dari pola aliran berlawanan arus ideal. Misalnya, cangkang dan tabung penukar tempat tabung menghasilkan lebih dari satu lintasan atau ketika dua atau lebih cangkang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19. 4. Perhatikan bahwa pada Gambar 19. 4 (b) dan (c), bagian dari aliran lebih menyerupai arus co-current daripada *counter current*. Pola aliran ini akan menyebabkan pengurangan kekuatan pendorong antara aliran mengurangi jumlah panas itu dapat ditransfer. LMTD mewakili kekuatan pendorong antara aliran proses dan diberikan oleh:

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad \text{-----(9)}$$

di mana ΔT_1 dan ΔT_2 apakah perbedaan suhu antara kedua cairan di keduanya ujung (inlet dan outlet). Penggunaan *Logarithmic Mean Temperature Difference* (LMTD) mewakili rata-rata menyebabkan perbedaan suhu antara dua aliran berubah saat mengalir melalui penukar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.5. Istilah dalam Persamaan (9) mewakili perbedaan di kedua ujung plot pada Gambar 19. 5. Di konter aliran arus, tenaga penggerak hampir konstan; sementara di konter saat ini berkurang karena panas pertukaran cairan. Penting untuk diingat bahwa itu tidak layak untuk kedua kurva untuk menyeberang atau mencapai titik jepit. Jika kurva melewati ini berarti perpindahan panas akan beralih arah yang secara fisik tidak mungkin (yang terbaik yang bisa terjadi adalah kedua aliran mencapai suhu yang sama).

LMTD bisa bermasalah dalam kasus di mana $\Delta T_1 = \Delta T_2$ atau ketika salah satu dari perbedaan suhu adalah nol. Sementara kasus-kasus seperti itu layak secara fisik, numerik perhitungan Persamaan (9) tidak dimungkinkan. Dalam kasus seperti itu, rata-rata lainnya teknik bisa diterapkan. Misalnya, rata-rata aritmatika diberikan oleh:

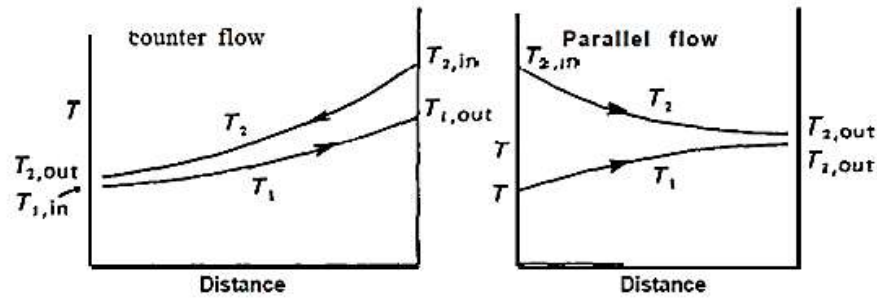
$$\Delta T_{AM} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \quad \text{----- (10)}$$

dapat memberikan perkiraan yang baik ΔT_{LM} tentang kapan rasio ΔT lebih dekat dengan 1, tetapi menyimpang sebagian besar karena rasio berangkat dari 1. Seperti disebutkan sebelumnya, faktor koreksi digunakan untuk mengoreksi LMTD dari ideal melawan arus arus. Besarnya koreksi tergantung pada suhu perbedaan dan pola aliran. Dua rasio digunakan untuk merepresentasikan efek perbedaan suhu sebagai berikut:

$$P = \frac{T_2^t - T_1^t}{T_1^s - T_1^t} \quad \text{-----(11)}$$

dan

$$R = \frac{T_1^s - T_2^t}{T_2^t - T_1^t} = \frac{mCp_{tube}}{mCp_{sel}} \quad \text{-----(12)}$$



Gambar 19.4. Distribusi temperatur di dalam *counter* dan *co-current (parallel) flow exchanger*

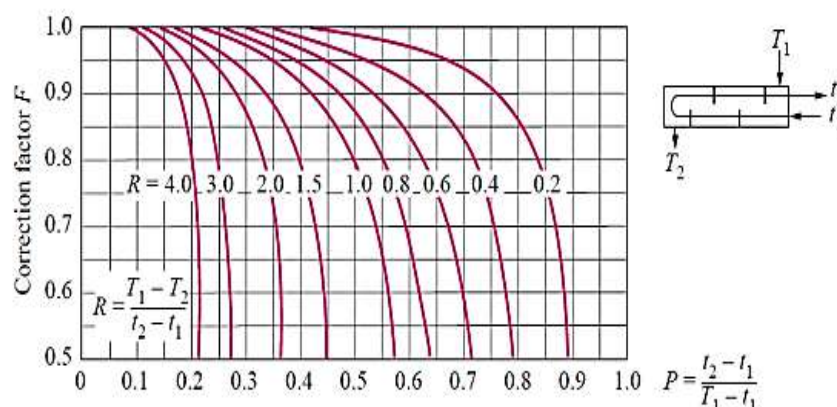
Perhitungan faktor koreksi kemudian diperoleh dari grafik yang mirip dengan yang ada di Gambar 19.4 untuk masing-masing pola aliran yang berbeda. Perhatikan bahwa faktor koreksi memiliki membatasi nilai yang terjadi pada nilai rendah R dan nilai P .

3. Perhitungan Penurunan Tekanan

Ketika cairan melewati penukar, tekanannya akan turun. Penurunan tekanan di sisi tabung dari penukar panas dapat dihitung menggunakan korelasi untuk tekanan pipa penurunan. Korelasi seperti Beggs-Brill dapat digunakan untuk tujuan ini. Selain itu, penurunan tekanan dapat dihubungkan langsung dengan laju aliran melalui laju aliran tergantung korelasi. Dalam kasus pertama, informasi diperlukan pada geometri penukar untuk menghitung rezim aliran dan faktor gesekan.

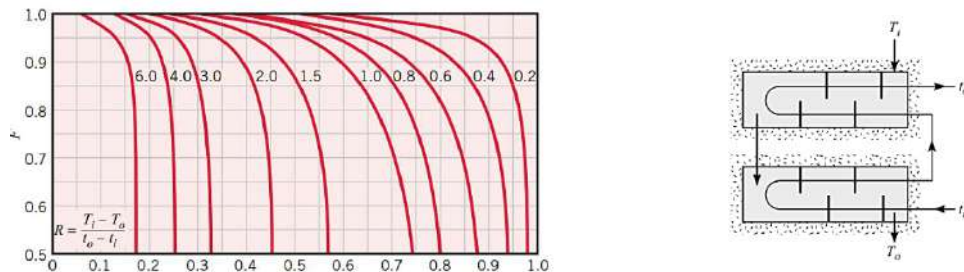
Penukar *Shell & Tube*

Penukar panas yang tidak biasa digunakan di pabrik proses kimia adalah penukar *shell* dan *tube*. Penukar ini terbuat dari rumah *shell* dengan tabung lebih kecil. Satu cairan dibuat untuk melewati tabung (sisi tabung) dan yang lainnya dilewatkan melalui *shell* (sisi *shell*). Seperti ditunjukkan pada Gambar 19.5, penukar panas terdiri *shell* dan *tube*, yang adalah alat besar dengan satu atau beberapa saluran masuk dengan satu atau lebih saluran keluar. Di dalam *shell*, *baffle* biasanya dipasang yang membantu memegang tabung dan mengarahkannya aliran cairan *shell* sampai batas tertentu. Lokasi nozel dan orientasi jendela *baffle* sangat mempengaruhi pola aliran sisi *shell*. Cairan *shell* bisa lewat melalui *shell* hanya sekali (*single pass*) atau dapat dilewati beberapa kali (*multipass*). Di dalam *shell*, sejumlah besar tabung (kadang-kadang beberapa ratus) ditempatkan. Lagi, tabung hanya bisa melewati cangkang saja sekali (lulus tunggal) atau beberapa kali (*multipass*). Diameter (dalam dan luar) dan panjang tabung menentukan keseluruhan area perpindahan panas. Polanya (cara tabung diatur, lihat Gambar 19.6) dan *pitch* (jarak antar-pusat antara) tabung menentukan jumlah panas tabung yang dapat masuk ke dalam *shell* dan mempengaruhi Penurunan tekanan.



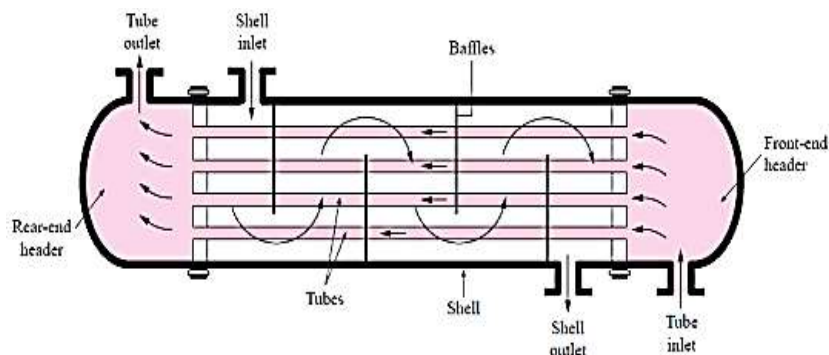
Gambar 19.5. Grafik faktor koreksi untuk penukar satu-shell dan satu tabung

Tabung bisa dikendalikan untuk menambah area perpindahan panas, tetapi ini akan membutuhkan gaya yang lebih besar, sehingga mengurangi jumlah tabung. Sirip dicirikan oleh tingginya (atau diameter), jumlah, dan efisiensi (kemampuan sirip untuk memindahkan panas).



Gambar 19.6. Grafik faktor koreksi untuk penukar satu-shell dan beberapa tabung

Bagian lain dari penukar shell dan tabung yang mempengaruhi kinerjanya adalah *baffle*. Ini adalah lembaran logam yang digunakan di dalam cangkang untuk keperluan perpindahan panas (jika panas pertimbangan transfer tidak penting, *baffle* diganti dengan dukungan tabung pegang tabung). Sejumlah konfigurasi *baffle* tersedia; beberapa ditunjukkan dalam Gambar 19.7. Parameter penting untuk desain *baffle* adalah cut-nya (persentase shell diameter tidak ditutupi oleh *baffle*), jarak *baffle*, dan jarak yang tersisa di antara *baffle* dan *shell*, dan antara *baffle* dan tabung. Akhirnya, banyak fitur dan sebutan penukar shell dan tabung telah standar oleh Asosiasi Produsen Penukar Tubular (*Tubular Exchanger Manufacture Assosiation* =TEMA). Standar kode penutup untuk ujung depan shell, dan ujung belakang penukar. Kode-kode ini bisa digunakan untuk menunjuk penukar.



Gambar 19.7. Alat penukar kalor dengan *baffle* antar tabung

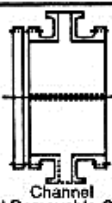
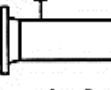
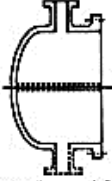
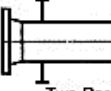
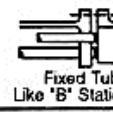
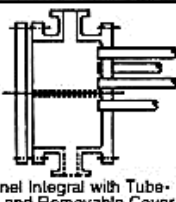
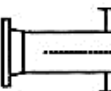
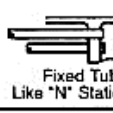
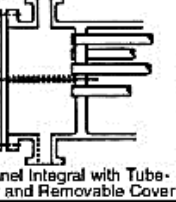
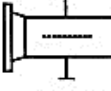
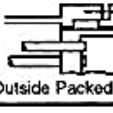
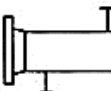
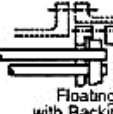
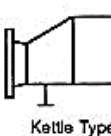
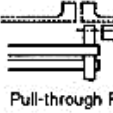
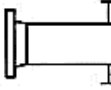
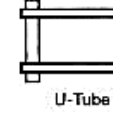
Misalnya, penukar lembaran tabung tetap memiliki kepala stasioner dan belakang terpisahkan dengan lembaran tabung, cangkang single-pass, 432 mm (17 in) diameter dalam dengan tabung sepanjang 4,9 m (16 kaki). Ukuran 17–192 Jenis Cen. Di sini, ke-17 adalah diameter dalam shell, 192 adalah panjang tabung dalam inci, dan mengacu pada CEN tipe depan, cangkang, dan belakang pada Gambar 19.7. TEMA juga menyediakan standar lembar spesifikasi untuk berbagai jenis penukar panas. Lembar TEMA digunakan oleh banyak insinyur produsen penukar panas untuk mengidentifikasi penukar panas.

4. Penukar Panas di Aspen Plus

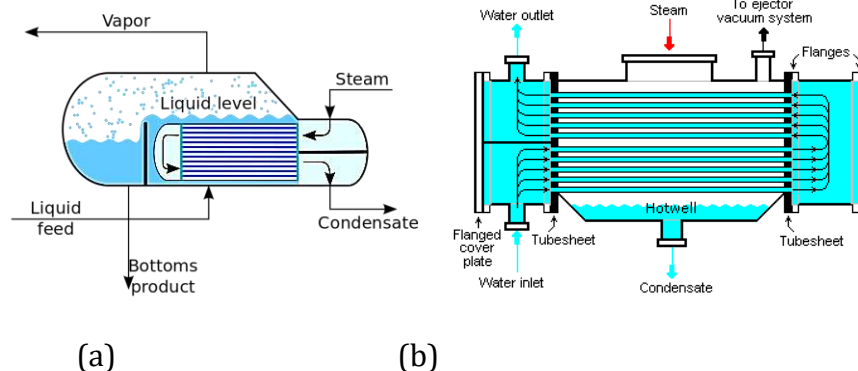
Penukar panas di Aspen Plus, ada empat modul yakni: pemanas, penukar panas, penukar multi-aliran, dan fluks panas. Fluks panas modul digunakan untuk melakukan perhitungan perpindahan panas berdasarkan input yang digunakan.

Blok Pemanas

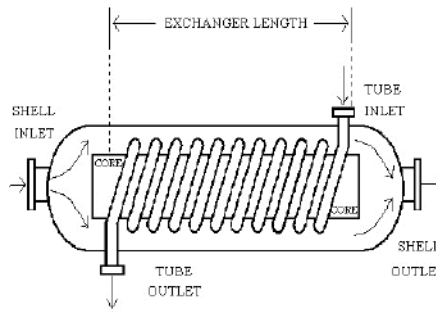
Blok pemanas digunakan untuk aplikasi perubahan suhu atau fase sederhana di mana rincian perhitungan perpindahan panas tidak penting. Blok juga bisa digunakan sebagai pengubah tekanan saat penurunan tekanan diketahui. Blok pemanas mengambil satu atau lebih banyak aliran material saluran masuk dan satu outlet (ditambah aliran decant air opsional). Juga mengambil input panas (opsional) dan output panas.

Front-End Stationary Head Types		Shell Types		Rear-End Head Types	
A		E	 One-Pass Shell	L	 Fixed Tubesheet Like 'A' Stationary Head
B		F	 Two-Pass Shell with Longitudinal Baffle	M	 Fixed Tubesheet Like 'B' Stationary Head
C		G	 Split Flow	N	 Fixed Tubesheet Like 'N' Stationary Head
N		H	 Double Split Flow	P	 Outside Packed Floating Head
D		J	 Divided Flow	S	 Floating Head with Backing Device
		K	 Kettle Type Reboiler	T	 Pull-through Floating Head
		X	 Crossflow	U	 U-Tube Bundle
				W	 Externally Sealed Floating Tubesheet

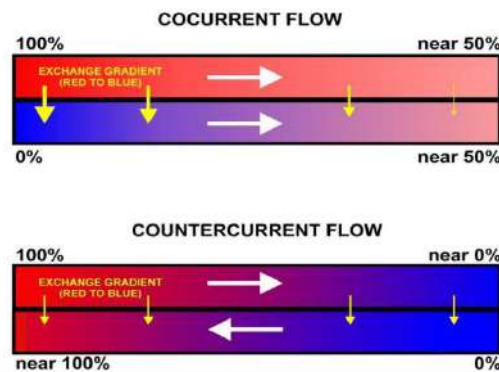
Gambar 19.8. Bentuk TEMA penukar panas shell dan tabung.



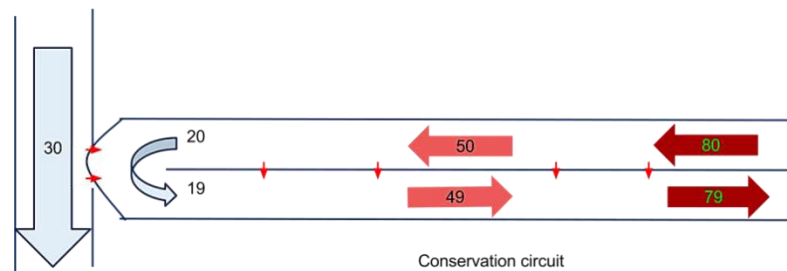
Gambar 19.9. Penukar panas. (a) Penukar panas Evaporator dan (b) pemanasan air



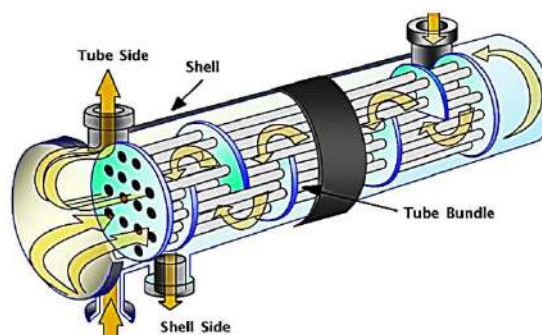
Gambar 19.10. Penukar panas bentuk coil



Gambar 19.11. Cara Penukar panas. (a) Co-current dan counter-current (b) co-current



Gambar 19.12. Formula Penetapan perpindahan panas pada satu arah dan berlawanan



Gambar 19.13. Pertukaran panas dalam kolom mendatar

Contoh Soal

Proses Pengolahan menggunakan panas untuk menaikkan suhu CPO dari 30 °C menjadi 60 °C. Bahan yang dipanaskan adalah 1.000 kg/jam,. Untuk menaikkan suhu CPO tersebut dilakukan dengan menggunakan penukar panas (heat exchanger pada suhu awal 120 °C dengan menggunakan bahan pemanas dalam pipa Oil heater dengan kapasitas sirkulasi 500 kg/jam.

Jika efisiensi pemanasan 70 %. Panas jenis CPO 500 kcal/kg . Panas Jenis Oil Heater 400 kcal/kg. Berapa suhu Oil Heater keluar (ujung pipa) .

Penyelesaian

Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan CPO = $1000 \times 500 \times 30 = 15.000.000$ kcal. Panas yang dilepas oleh oil heater adalah 15.000.000 kcal. Maka Kalor yang dilepaskan :

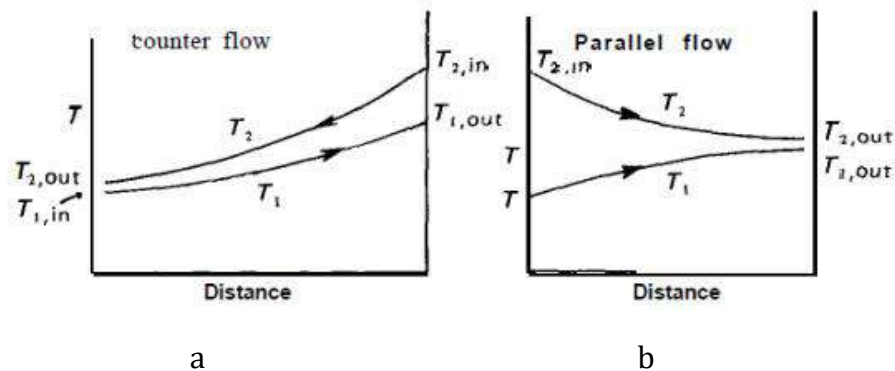
$$15.000.000 = 500 \text{ kg} \times 400 \text{ kcal} \times T_{1\text{out}}$$

$$\text{Suhu Oil Heater} = (15000.000) : 20.0000 = 75$$

$$\text{Selisih Suhu akhir kedua bahan adalah } 120 - 75 = 45^\circ\text{C}$$

Latihan Soal

Pada Gambar 19. 14. Ada dua sistem a) adalah penukar kalor sejajar dan b) penukar kalor berlawanan arah.



Gambar 19.14. Grafik temperatur penukar panas pada tabung. $T_{1\text{ in}}$ adalah 30°C dan $T_{2\text{ in}} = 70^\circ\text{C}$ dan $T_{1\text{ out}} = 50^\circ\text{C}$ dan $T_{2\text{ out}} = 35^\circ\text{C}$. Jika bahan T_2 dari minyak (termic oil) dengan calor spesifik (C_p) $0,5 \text{ kcal/gr}$ dengan jumlah yang dialirkan 100 kg/jam , sedangkan bahan T_1 dialirkan 50 kg/jam . Berapa Nilai calor spesifik (C_p) T_1 Demikian juga pada Soal B). $T_{2\text{ in}} = 70^\circ\text{C}$, $T_{2\text{ out}} = 40^\circ\text{C}$, dan $T_{1\text{ in}} 30^\circ\text{C}$. Hitunglah nilai $T_{1\text{ out}}$ jika berat bahan pemanas dan C_p yang dipanaskan sama dengan soal A)

DAFTAR PUSTAKA

- Brown G. G. Donald Katz, Alan S. Froust and Richard Schneidewind (1956). Dryer-Simultaneous Heat and Mass Transfer. In Unit Operation John Wiley Sons. New York. pp.559-574.
- Driscoll Robert (2004) Food dehydration In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui Blackwell Publishing Iowa p : 31-44
- Fellows.P (2000). Dehydration, In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p 311-339
- Fellows P. (2000). Freeze drying and freeze concentration In Food Processing Technology Principles and Practice Woodhead Publishing Limited. Cambridge England, p. 441-451
- Hui Y. H.(2004) Food Plant Sanitation and Quality Assurance, Food Plant Sanitation and Quality Assurance, In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui, Blackwell Publishing Iowa p :151-164
- Hui Y. H., Miang-Hoog Lim, Wai-Kit Nip, J. Scott Smith, P. H. F. Yu (2004) Principles Of Food Processing. In Food Processing and Principles Applications Editor J.Scott Smith and Y. H. Hui, Blackwell Publishing Iowa p :1-30
- Ibarz Albert and Gustavo V. Barbosa-Cánovas (2003) Dehydration In Unit Operation in Food Engineering CRC Press, London, p : 573-617
- Lienhard John IV and John Lienhard V (2019). An Introduction to Mass Transfer In: A Text Book Heat Transfer. Phlogiston Press, Cambridge Massachusetts p: 613-701
- McCabe Warren L, Julian C. Smith and Peter Harriot (1993) Drying of Solids. In Unit Operation MacGraw-Hill Inc. New York p : 767-809.
- von Böckh Peter SND Thomas Wetzel (2012). Heat exchangers In Heat Transfer Basics and Practice. Springer Heidelberg p: 215 -242

BIODATA PENULIS

Ponten M. Naibaho Lahir tgl 18 November 1947 di Pangururan Kabupaten Samosir Provinsi Sumatera Utara. Tahun 1973 menyelesaikan studi di Fakultas Pertanian Program Studi Teknologi Hasil Pertanian. Tahun 1974 bekerja sebagai Peneliti di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (ex RISPA) di Bagian Teknologi dan Kimia. Tahun 1983-1986 diangkat menjadi Asisten Direktur Pasca Panen, Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan. Tahun 1978 ditugaskan mengikuti pendidikan di Pasca Sarjana IPB dan menyelesaikan pendidikan Doktor 1983 dibidang Teknologi Hasil Pertanian. Tahun 1984 s/d 1992 diangkat menjadi Dekan Fakultas Pertanian Universitas HKBP

Nommensen dan tahun 2000 dikukuhkan menjadi Guru Besar Teknologi Hasil Pertanian di Universitas HKBP Nommensen. Aktif sebagai penasehat beberapa Perusahaan Perkebunan baik dalam Perencanaan dan Pengawasan Pembangunan Pabrik Kelapa Sawit (PKS), maupun Meningkatkan Kinerja PKS serta melakukan inhouse training. Hingga saat ini masih mengajar di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Universitas HKBP Nommensen dalam Mata Kuliah Satuan Operasi dan Prinsip Teknik Hasil Pertanian. Tahun 2003 s/d sekarang sebagai Anggota Tim Independent Pengawas PT Toba Pulp Lestari dalam bidang Teknik Kimia dan Lingkungan. Telah menulis Buku Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Tahun 2005-2010 Dosen Luar Biasa Program Studi Kimia Teknik Pasca Sarjana USU.



Hotman Manurung, sejak Tahun 1986 adalah dosen pada Fakultas Pertanian Program studi Teknologi Hasil Pertanian Universitas HKBP Nommensen. Menyelesaikan Sarjana Pertanian (S1) dari Universitas Sumatera Utara (USU), pendidikan Magister (S2) Ilmu Pangan dari Institut

Pertanian Bogor dan pendidikan Doktor (S3) dari USU. Mengampu mata kuliah antara lain Pangan Fungsional dan Biokimia. Penelitian 5 tahun terakhir ini adalah memanfaatkan potensi pangan lokal seperti penggunaan labu kuning, rumput laut, bunga telang dan harimonting sebagai bahan substitusi produk mi, bakso, cookies, dan kue mangkuk. Tulisan berupa artikel dimuat antara lain di Jurnal *Asian Journal of Agriculture and Biology* terindeks scopus, Jurnal Ilmu dan Teknologi Ternak sinta 2. Email hotman.manurung@uhn.ac.id



Benika Naibaho, lahir 27 Desember 1964. Sejak Tahun 1989 bekerja sebagai dosen di Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen. Pendidikan S1 dari Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Universitas Sumatera Utara (USU), S2 dari Program Studi Ilmu Pangan Program Pasca Sarjana Institute Pertanian Bogor (IPB). Mengampu mata kuliah Dasar Dasar Teknologi Hasil Pertanian, Bioteknologi Pangan dan publikasi ilmiah lebih ke topik yang berhubungan dengan Fermentasi pangan. Dari tahun 2018 – 2022 menjabat sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen. Email, naibaho_benika@yahoo.co.id.



Bonar Sari M. Naibaho, lahir di Medan 11 Oktober 1979. Menyelesaikan Sarjana Teknik Pertambangan (S1) dari Universitas Sriwijaya pada tahun 2004 dan Magister Teknik Mesin (S2) dari Universitas Sumatera Utara pada tahun 2022. Menyelesaikan penelitian dalam pemanfaatan bahan bakar batubara dan campuran cangkang dengan serat kelapa sawit pada boiler dan kekuatan sambungan material aluminium dengan filler ER 4043, ER 4047 dan ER 5356. Saat ini mengajar di Institut Saints Teknologi TD. Pardede dengan mata kuliah Pengantar Teknik dan Mesin Fluida dan Penataan Material Tanah Pucuk.

Email : naibaho.bonar@gmail.com