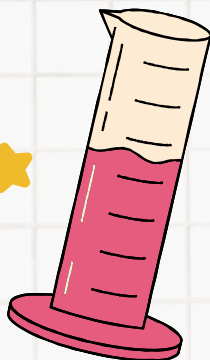
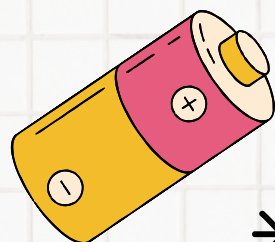
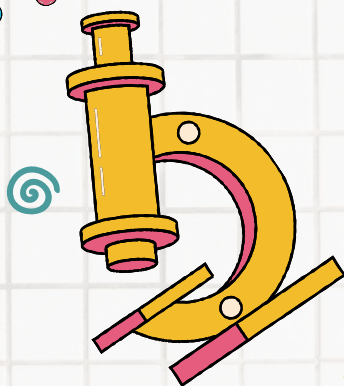


PRINSIP TEKNIK KIMIA DASAR

PENULIS :

**Muhrinsyah Fatimura, Fath Dwisari, Dewi Gulyla Hari,
Isran Asnawi, Ismail Astar, Reno Fitriyanti**



ISBN 978-602-125-472-6



9 786231 254726

PRINSIP TEKNIK KIMIA DASAR

**Muhrinsyah Fatimura
Fath Dwisari
Dewi Gulyla Hari
Isran Asnawi
Ismail Astar
Reno Fitriyanti**



GET PRESS INDONESIA

PRINSIP TEKNIK KIMIA DASAR

Penulis :

Muhrinsyah Fatimura
Fath Dwisari
Dewi Gulya Hari
Isran Asnawi
Ismail Astar
Reno Fitriyanti

ISBN : 978-623-125-472-6

Editor : Diana Purnama Sari., S.E., M.E

Penyunting : Ari Yanto., M.Pd

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tengah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, November 2024

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

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Prinsip Teknik Kimia Dasar ini.

Buku ini membahas Pengenalan Prinsip Teknik Kimia, Satuan Dan Besaran, Perhitungan Komposisi Kimia, Hukum Kekekalan Massa, Material Balance Calculation, Balance On Atomic And Molecular Balance, Combustion Reaction.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 PENGENALAN PRINSIP TEKNIK KIMIA, BESARAN DAN SATUAN.....	1
1.1 Pengenalan Teknik Kimia	1
1.2 Prinsip Utama Teknik Kimia	2
1.2.1 Stoikiometri dan Neraca Massa	3
1.2.2 Neraca Energi	4
1.2.3 Termodinamika Kimia	6
1.2.4 Kinetika Kimia dan Desain Reaktor	6
1.2.5 Transportasi Massa, Panas, dan Momentum	8
1.2.6 Teknologi Pemisahan.....	9
1.2.7 Simulasi dan Pengendalian Proses.....	10
1.2.8 Analisa Ekonomi	11
1.3 Besaran dan Satuan dalam Teknik Kimia	12
1.3.1 Besaran.....	12
1.3.2 Satuan.....	14
DAFTAR PUSTAKA.....	17
BAB 2 PERHITUNGAN DAN KOMPOSISI KIMIA.....	21
DAFTAR PUSTAKA.....	30
BAB 3 HUKUM KEKEKALAN MASSA	31
3.1 Pendahuluan.....	31
3.2 Reaksi Pembakaran Dan Phlogiston.....	32
3.3 Eksperimen Landolt dan Hukum Kekekalan Massa.....	34
3.4 Pengertian Massa Dan Berat Suatu Benda.....	35
3.4.1 Massa Zat.....	35
3.4.2 Berat Suatu Zat.....	35
3.5 Teori Einstein Tentang Hubungan Massa Dan Energi	36
3.6 Teori Pendukung Hukum Kekekalan Massa	37

3.6.1 Hukum Perbandingan Tetap	37
3.6.2 Hukum Perbandingan Berganda	37
3.6.3 Hukum Proporsi Timbal Balik.....	37
3.7 Kesimpulan Hukum Kekekalan Massa	39
3.8 Kehidupan Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794)	40
DAFTAR PUSTAKA	42
BAB 4 PERHITUNGAN NERACA MASSA	43
4.1 Pengertian Neraca Massa	43
4.2 Konsep Neraca Massa	44
4.2.1 Proses	44
4.2.2 Variabel proses.....	44
4.2.3 Diagram alir proses.....	45
4.2.4 Rumus umum neraca massa	45
4.2.5 Langkah-Langkah dalam menghitung neraca massa	46
4.2.6 Basis Perhitungan.....	47
4.3 Contoh Perhitungan Neraca Massa.....	48
4.3.1 Proses Pencampuran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	52
BAB 5 BALANCE ON ATOMIC AND MOLECULAR BALANCE	53
5.1 Pendahuluan	53
5.2 Pengantar Keseimbangan Atom dan Molekul	54
5.3 Konsep Dasar Kestimbangan Kimia.....	56
5.4 Prinsip Le Chatelier	59
5.5 Konstanta Kestimbangan Kimia (K)	61
5.6 Relevansi Keseimbangan Atom dan Molekul dalam Teknik Kimia	65
DAFTAR PUSTAKA	68
BAB 6 COMBUSTION REACTION	69
6.1 Pendahuluan	69
6.2 Azas Teknik Kimia dalam Reaksi Pembakaran.....	70
6.3 Aplikasi Reaksi Pembakaran	71

6.4 Persamaan Stoikiometri Reaksi Pembakaran.....	73
6.5 Komponen Gas dalam Campuran Udara.....	74
6.6 <i>Theoretical Air</i> (Udara Teori) dan <i>Excess Air</i> (Udara Excees)	78
6.7 Neraca Massa Pada Reaktor Pembakaran.....	79
6.8 Perhitungan Energi Pembakaran.....	83
6.9 Tantangan dan Isu Lingkungan	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Aplikasi Neraca Energi Dalam Teknik Kimia	5
Tabel 1.2. Jenis Reaktor dan Aplikasinya.....	7
Tabel 1.3. Besaran Pokok.....	13
Tabel 1.4. Besaran Turunan	14
Tabel 1.5. Besaran Utama dan satuan dalam Teknik Kimia.....	14
Tabel 1.6. Besaran kualitatif dan kuantitatif.....	16
Tabel 2.1. Daftar beberapa Unsur kimia	21
Tabel 4.1. Neraca massa proses pencampuran larutan NaOH	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram Prinsip Teknik Kimia	2
Gambar 1.2. Persamaan Neraca Massa	4
Gambar 1.3. Jenis Reaktor PFR dan CSTR	8
Gambar 1.4. Destilasi salah satu alat proses pemisahan minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didih.....	10
Gambar 1.5. Aplikasi simulasi proses menggunakan Unisim Design R.461	11
Gambar 2.1. Gabungan atom-atom menjadi suatu molekul.....	22
Gambar 2.2. Cara menentukan Massa Molekul Relatif (Mr)	25
Gambar 3.1. Lavoiser dengan koleganya	32
Gambar 3.2. Alat Percobaan Lavoisier	33
Gambar 3.3. Ilustrasi Percobaan Landolt	34
Gambar 3.4. Alat Neraca 3 Lengan.....	35
Gambar 3.5. Potret Lavoisier dan Istrinya	40
Gambar 4.1. Input, proses, dan output.....	44
Gambar 4.2. Gambaran umum proses pengenceran.....	48
Gambar 4.3. Diagram alir proses pencampuran.....	49

BAB 1

Pengenalan Prinsip Teknik Kimia, Besaran dan Satuan

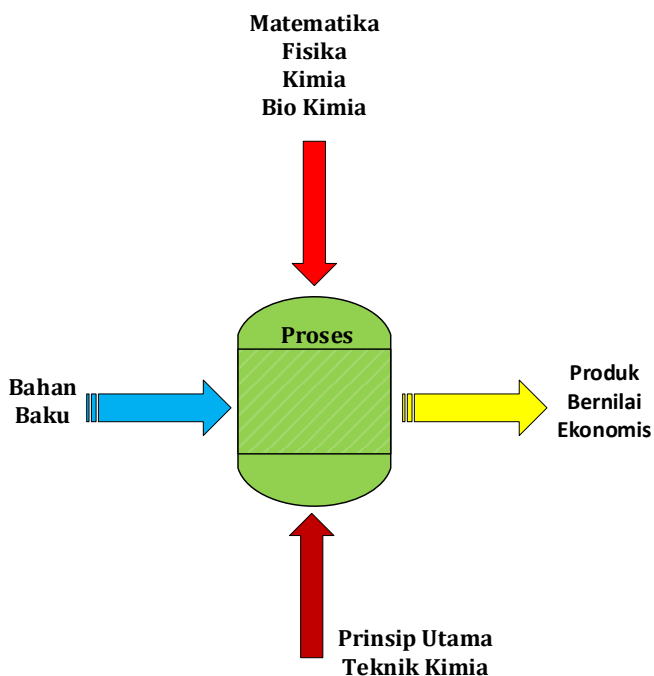
Oleh Muhrinsyah Fatimura

1.1 Pengenalan Teknik Kimia

Teknik kimia adalah bidang multidisiplin yang mengintegrasikan sains dan teknologi untuk merancang, mengoptimalkan, dan mengelola proses produksi kimia (Th. *et al.*, 2022). Prinsip Teknik kimia berfokus pada transformasi bahan secara ekonomis melalui proses kimia dan fisik menjadi produk yang lebih berguna (Gladden *et al.*, 2004). Insinyur kimia sangat penting dalam mengubah bahan baku menjadi produk bernilai tambah menggunakan berbagai transformasi Matematika, fisik, kimia, dan biokimia. Mereka juga penting dalam mengatasi tantangan keberlanjutan dengan menerapkan proses inovatif yang meminimalkan dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi sumber daya, selaras dengan prinsip-prinsip ekonomi sirkular dan keberlanjutan (Pichler, 2023). Selain itu, bidang teknik kimia telah berkembang dari waktu ke waktu, beradaptasi dengan kebutuhan masyarakat dan kemajuan teknologi, dengan penekanan yang berkembang pada keselamatan, pertimbangan lingkungan, dan penilaian keberlanjutan holistik dalam fase desain konseptual proyek (Tahmid and Syeda, 2023). Insinyur kimia berada di garis depan dalam mendorong transisi menuju praktik yang lebih berkelanjutan dan memastikan keselamatan operasional di pabrik kimia, berkontribusi secara signifikan terhadap industri kimia yang lebih berkelanjutan dan bertanggung jawab (Horio and Clift, 2023).

Secara diagram proses penjelasan pengenalan Prinsip Teknik Kimia dapat dijelaskan pada gambar 1.1. Prinsip-prinsip dasar teknik kimia meliputi termodinamika, kinetika reaksi, fenomena transportasi, keseimbangan material dan energi, dan standar kontrol kualitas (Ghasem and Henda, 2015). Prinsip-prinsip ini

berfungsi sebagai dasar untuk merancang dan mengoperasikan proses kimia untuk pembangkit listrik dan produksi berbagai barang industri seperti plastik, bensin, dan amonia. Insinyur kimia menerapkan metode statistik modern untuk kontrol kualitas, menekankan hukum kekekalan massa dan energi, dan transfer energi antara berbagai bentuk. Dengan menguasai prinsip-prinsip ini, insinyur kimia dapat mengembangkan proses ramah lingkungan, mengoptimalkan operasi, dan berkontribusi pada pergeseran paradigma yang sedang berlangsung dari bahan bakar fosil ke sumber energi terbarukan.



Gambar 1.1. Diagram Prinsip Teknik Kimia

1.2 Prinsip Utama Teknik Kimia

Prinsip-prinsip utama teknik kimia mencakup berbagai konsep dan metode yang digunakan untuk menganalisis dan merancang proses kimia. Beberapa prinsip utama tersebut meliputi:

1.2.1 Stoikiometri dan Neraca Massa

Stoikiometri adalah aspek fundamental dari teknik kimia, dengan fokus pada hubungan kuantitatif antara reaktan dan produk dalam reaksi kimia. Hal ini penting untuk memahami dan mengoptimalkan proses kimia, seperti yang disorot oleh Vogt, yang menekankan bahwa stoikiometri secara kuantitatif membahas konversi zat selama reaksi, berlaku di berbagai bidang seperti termokimia dan kinetika (Vogt, 2017). Stoikiometri sangat penting dalam reaksi kimia karena secara kuantitatif menggambarkan hubungan antara reaktan dan produk, memungkinkan prediksi hasil reaksi yang akurat. Hal ini memungkinkan ahli kimia untuk menentukan jumlah pasti zat yang dibutuhkan untuk reaksi, seperti yang diilustrasikan dalam pengaturan pendidikan di mana siswa menerapkan prinsip stoikiometri untuk menyimpulkan persamaan reaksi dan menghitung mol reaktan dan produk, seperti dalam reaksi besi dengan tembaga (II) sulfat (Inc and Campbell, 2023). Stoikiometri memainkan peran penting dalam menyeimbangkan persamaan kimia dengan membangun hubungan kuantitatif antara reaktan dan produk. Hal ini didasarkan pada Hukum Konservasi Materi, yang menegaskan bahwa materi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan dalam reaksi kimia. Prinsip ini dicontohkan dalam rasio stoikiometri, yang mendefinisikan proporsi reaktan dan produk yang diperlukan untuk persamaan seimbang, memastikan bahwa jumlah atom untuk setiap unsur tetap konstan sepanjang reaksi (Mousavi, 2019).

Neraca massa adalah alat penting untuk memahami aliran bahan dalam proses kimia. Hal ini penting untuk menganalisis dan merancang proses kimia, memastikan bahwa semua input, output, dan akumulasi bahan diperhitungkan seperti pada gambar 1.2 . Keseimbangan massa dan energi, meningkatkan pemahaman tentang proses industri dari bahan baku hingga produk dan pengelolaan limbah (Mustaffa, Jamaluddin and Zubir, 2023). Neraca massa sering digunakan dalam berbagai bidang teknik dan industri, seperti dalam perancangan pabrik kimia, pengolahan air, dan sistem lingkungan untuk memastikan bahwa massa dari bahan baku yang digunakan sama dengan massa produk, limbah, dan emisi yang dihasilkan.

$$\text{Massa Masuk} = \text{Massa Keluar} + \text{Akumulasi massa dalam sistem}$$

$$\text{Massa masuk} = \text{Massa keluar}$$

Gambar 1.2. Persamaan Neraca Massa

1.2.2 Neraca Energi

Neraca energi dalam Teknik Kimia adalah konsep dasar yang melibatkan penghitungan energi yang masuk dan keluar dari sistem untuk memastikan konservasi dan efisiensi energi. Prinsip Proses Teknik Kimia menekankan pentingnya memahami keseimbangan material dan energi dalam reaktor kimia (Nayef, Ghasem., Redhouane, 2015) Keseimbangan ini sangat penting dalam sistem multikomponen, di mana energi bergantung pada komposisi, suhu, dan tekanan, membutuhkan pertimbangan yang cermat untuk menghindari kesalahan (Rout and Behera, 2021). Eksperimen praktis di Laboratorium Teknik Kimia membantu mahasiswa memahami konsep keseimbangan energi melalui pemanasan dan pendinginan air dengan sumber daya yang diketahui, menggambarkan keseimbangan energi keadaan tidak stabil dan keadaan tunak (Ruiz-Beviá *et al.*, 2012). Dengan menerapkan hukum termodinamika dan prinsip-prinsip konservasi, insinyur kimia dapat mengoptimalkan proses, meningkatkan efisiensi energi, dan memastikan keberlanjutan operasi teknik kimia. Berikut aplikasi neraca energi dalam Teknik Kimia :

Tabel 1.1. Aplikasi Neraca Energi Dalam Teknik Kimia

Proses	Penggunaan
Reaktor Kimia	Dalam reaktor, neraca energi digunakan untuk menentukan kebutuhan energi, seperti pemanasan atau pendinginan, yang diperlukan untuk menjaga suhu reaksi pada tingkat yang diinginkan.
Penukar Panas	Dalam penukar panas, neraca energi membantu menghitung jumlah panas yang ditransfer dari satu fluida ke fluida lain, serta menentukan suhu keluaran dari kedua fluida.
Kompresor dan Turbin	Untuk kompresor dan turbin, neraca energi digunakan untuk menghitung kerja yang diperlukan atau dihasilkan oleh peralatan, yang penting untuk analisis efisiensi dan performa
Proses Distilasi	Pada proses distilasi, neraca energi digunakan untuk menghitung kebutuhan energi untuk mendidihkan campuran cair dan mengkondensasikan uap, serta untuk menentukan titik panas dan dingin dalam kolom distilasi.

Persamaan neraca energi umum untuk suatu sistem yang mengalami proses aliran steady-state dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta E_{\text{masuk}} = \Delta E_{\text{keluar}} + \Delta E_{\text{tersimpan}} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk sistem aliran steady-state, tidak ada perubahan energi yang tersimpan dalam sistem sehingga $\Delta E_{\text{tersimpan}} = 0$ Persamaan neraca energi ini menjadi:

$$\Delta E_{\text{masuk}} = \Delta E_{\text{keluar}} \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan neraca energi dalam teknik kimia adalah alat yang sangat penting untuk menganalisis dan merancang berbagai proses dalam industri kimia. Pemahaman yang baik tentang bagaimana energi masuk, keluar, dan disimpan dalam sistem memungkinkan insinyur kimia untuk mengoptimalkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan operasi industri.

1.2.3 Termodinamika Kimia

Termodinamika kimia adalah disiplin dasar dalam kimia dan teknik kimia yang berhubungan dengan transformasi energi dalam reaksi kimia, memprediksi perubahan spontan dan posisi kesetimbangan (H., Donald, Brooke, 2007). Ini mencakup prinsip-prinsip termodinamika yang diterapkan pada sistem kimia, menekankan aplikasi dunia nyata dan signifikansi historis (Emmerich, 2014). Bidang ini mencakup topik-topik seperti kesetimbangan termodinamika, proses, campuran, kesetimbangan fase, dan kesetimbangan reaksi kimia (J., Bevan, Ott., Juliana, Boerio-Goates., DE, 2015). Termodinamika kimia menyediakan kerangka matematika untuk memahami sifat makroskopik materi dan jalannya proses alam, penting untuk aplikasi praktis di berbagai bidang ilmiah (Wilhelm, 2014). Dengan menggabungkan konsep dari mekanika statistik dan data eksperimental, termodinamika kimia meningkatkan pemahaman kita tentang interaksi molekuler dan sistem makroskopik, berkontribusi secara signifikan terhadap kemajuan ilmu pengetahuan dan teknik.

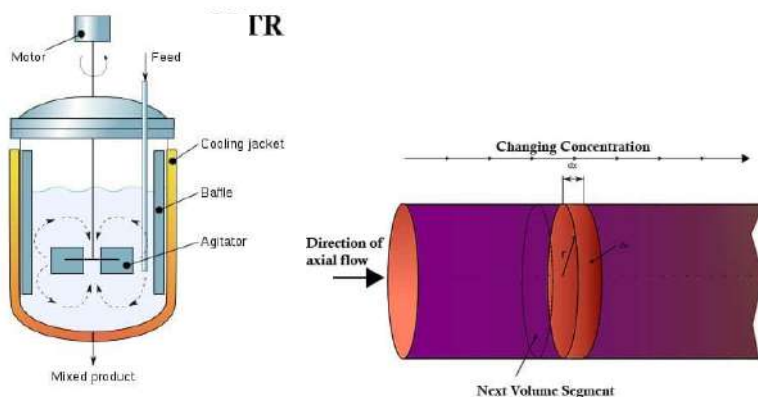
1.2.4 Kinetika Kimia dan Desain Reaktor

Kinetika kimia dan desain reaktor adalah aspek mendasar dari teknik kimia, yang secara luas dibahas dalam konteks penelitian yang disediakan. Unsur-unsur kinetika reaksi, reaksi katalitik heterogen, model reaktor ideal, dan analisis jenis reaktor yang berbeda. Selain itu, kinetika homogen dan heterogen, kondisi aliran non-ideal, dan seluk-beluk reaksi gas-cair dalam sistem reaktor. (Peter, 2002) menekankan pentingnya kinetika kimia dalam desain reaktor, menawarkan wawasan tentang pemodelan matematis sistem reaksi kompleks dan dinamika proses kimia. Secara keseluruhan, pemahaman komprehensif tentang kinetika kimia

sangat penting untuk mengoptimalkan desain reaktor dan memastikan proses kimia yang efisien. Desain reaktor kimia sangat penting untuk mengoptimalkan proses kimia industri, dengan fokus pada kinetika reaksi dan kondisi operasional. Pilihan jenis reaktor—*Batch*, *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*, atau *Plug Flow Reactor (PFR)*—secara signifikan .

Tabel 1.2. Jenis Reaktor dan Aplikasinya:

<i>Batch Reaktor</i>	<i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i>	<i>Plug Flow Reactor (PFR)</i>
Semua reaktan ditambahkan sekaligus, cocok untuk produksi skala kecil dan reaksi kompleks, tetapi dapat menyebabkan inefisiensi dan waktu tunggu yang lebih lama (Hu, 2021).	Penambahan reaktan terus menerus memungkinkan pencampuran konstan, ideal untuk reaksi yang membutuhkan kondisi seragam. Desain ini meningkatkan jaminan kualitas dan mengurangi biaya produksi(Hu, 2021);(Neyt and Riley, 2021).	Reaktor mengalir melalui reaktor dengan pencampuran minimal, mengoptimalkan waktu dan hasil reaksi, terutama bermanfaat dalam aplikasi farmasi (Hu 2021).



Gambar 1.3. Jenis Reaktor PFR dan CSTR
(Sumber: (Prajapati, 2024))

1.2.5 Transportasi Massa, Panas, dan Momentum

Transpor massa, panas, dan momentum adalah konsep dasar dalam teknik kimia, yang secara kolektif dikenal sebagai fenomena transportasi. Proses-proses ini sangat penting untuk memahami bagaimana bahan dan energi bergerak dalam sistem kimia, mempengaruhi desain reaktor, proses pemisahan, dan manajemen energi.

1. Transportasi Massa

Perpindahan massa didorong oleh gradien konsentrasi, dengan perbedaan potensial kimia bertindak sebagai gaya utama. Dalam sistem fase tunggal, konsentrasi seragam tercapai, sementara sistem multifase melihat spesies lebih disukai mendistribusikan lintas fase (Talaghata, 2018).. Koefisien perpindahan massa sering dinyatakan menggunakan bilangan tak berdimensi seperti bilangan Reynolds dan Sherwood, yang membantu mengkarakterisasi perilaku aliran dan difusi (Talaghata, 2018).

2. Transportasi Panas

Perpindahan panas terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi, dengan gradien suhu mempengaruhi distribusi

energi. Dalam media berpori, mekanisme transpor panas meliputi adveksi, konduksi, dan dispersi termal (Bear, 2018). Kondisi non-isothermal mempersulit perpindahan panas, memerlukan persamaan keseimbangan energi yang memperhitungkan sifat yang bergantung pada suhu (Bear, 2018).

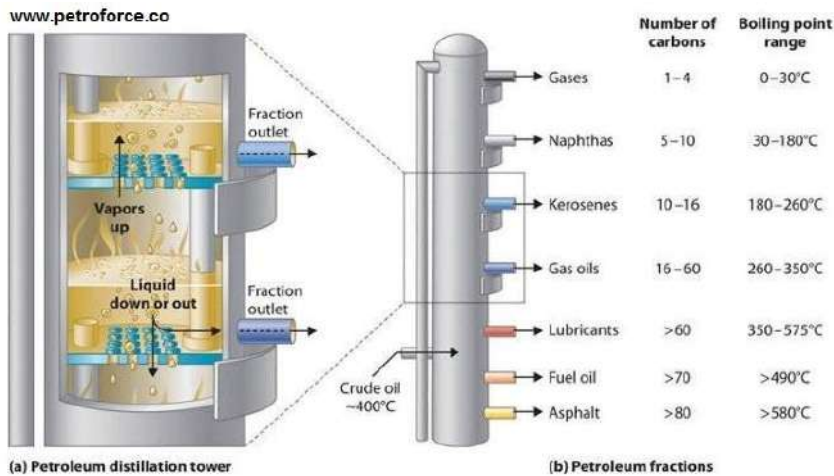
3. Transportasi Momentum

Transpor momentum sangat penting untuk aliran fluida, diatur oleh persamaan Navier-Stokes. Interaksi antara transpor massa dan momentum signifikan, karena kerapatan fluida dan viskositas bergantung pada suhu, mempengaruhi perilaku aliran (Nurni et al., 2024). Sementara interaksi proses transportasi ini sangat penting untuk operasi teknik kimia yang efisien, tantangan seperti kondisi non-ideal dan geometri kompleks dapat mempersulit pemodelan dan analisisnya. Memahami interaksi ini sangat penting untuk mengoptimalkan proses kimia dan meningkatkan desain sistem.

1.2.6 Teknologi Pemisahan

Teknologi pemisahan memainkan peran penting dalam berbagai industri, termasuk produksi minuman beralkohol buah, pengolahan gas alam, sektor minyak dan gas, dan pemisahan campuran. Metode yang berbeda seperti distilasi, teknologi membran pervaporasi, pemisah, reaktor, dan berbagai operasi unit seperti pemisahan membran, distilasi kriogenik, dan kromatografi digunakan untuk proses pemisahan yang efisien (Thomas, H., Wines., Saeid, 2022). Teknologi ini sangat penting untuk memisahkan cairan dari gas, memurnikan komponen dari campuran, dan meningkatkan kualitas produk akhir dengan memperkaya atau menghilangkan senyawa tertentu berdasarkan sifat dan interaksinya selama proses pemisahan. Pemilihan teknologi pemisahan yang tepat tergantung pada faktor-faktor seperti persyaratan kinerja, pengeluaran modal awal, dan biaya operasi, menyoroti pentingnya memilih metode optimal untuk setiap aplikasi spesifik (Xiaoqin, Wang; Wenwen, Cui., Wentao,

Guo.;Baoguo, Sun., Mingquan, Huang.; Jincheng, Li ; Hehe, Li; Nan, 2023).

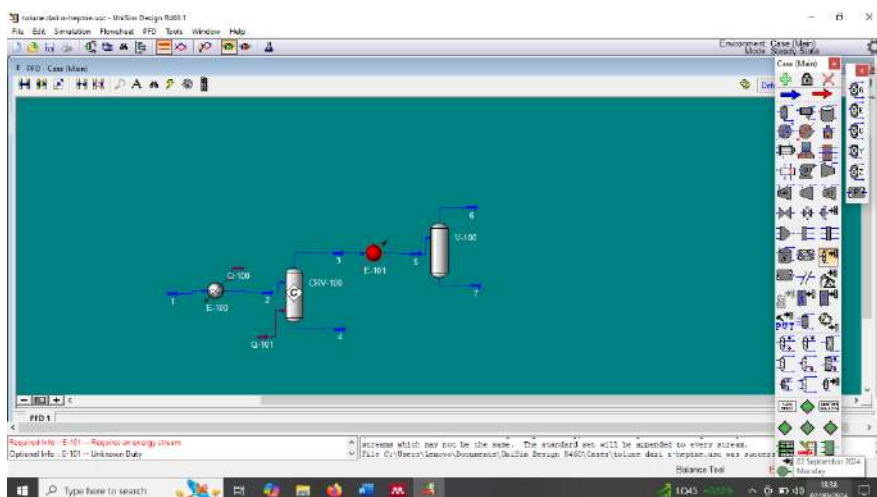


Gambar 1.4. Destilasi salah satu alat proses pemisahan minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didih (sumber:(Petroforce, 2024)

1.2.7 Simulasi dan Pengendalian Proses

Simulasi dan Kontrol Proses memainkan peran penting dalam teknik kimia, terutama dalam memahami dan mengoptimalkan proses yang kompleks. Penggunaan metode simulasi seperti metode elemen diskrit (DEM) dikombinasikan dengan dinamika fluida komputasi (CFD) memungkinkan pelacakan rinci partikel dan interaksinya dalam sistem partikel-gas reaktif, membantu dalam tata letak sistem dan reaktor (Prof. Dr.-Ing. Viktor Scherer, 2023). Selain itu, penerapan sistem kontrol, seperti algoritma Proporsional Integral Derivative (PID), dalam proses kimia memastikan tujuan spesifik seperti keamanan proses dan kualitas produk terpenuhi secara efektif (Ulkir and Ertugrul, 2023). Selain itu, menggabungkan alat perangkat lunak seperti Aspen Plus dalam pendekatan pembelajaran campuran meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang operasi unit dalam teknik kimia, memfasilitasi pemikiran kritis dan keterampilan pemecahan masalah. Secara keseluruhan, integrasi teknik simulasi dan

metodologi kontrol proses sangat penting untuk mengoptimalkan operasi, memastikan keselamatan, dan meningkatkan hasil pembelajaran di bidang teknik kimia. Beberapa contoh aplikasi yang untuk simulasi dalam perancangan pabrik kimia, simulasi proses, perhitungan desain, dan reaksi bahan seperti: Unisim Design, Chemcad, DWSIM, Aspen Hysys, Apmonitor, ASCEND, MATLAB.



Gambar 1.5. Aplikasi simulasi proses menggunakan Unisim Design R.461

1.2.8 Analisa Ekonomi

Komponen utama analisis ekonomi dalam teknik kimia mencakup berbagai aspek penting seperti estimasi biaya, ukuran profitabilitas, dan kriteria penilaian investasi. Estimasi biaya memainkan peran mendasar dalam mengevaluasi investasi modal dan biaya operasi, dengan fokus pada biaya peralatan individu dan penyusutan (El-Halwagi, 2012). Analisis profitabilitas melibatkan penilaian alternatif proyek yang berbeda berdasarkan metrik seperti nilai sekarang bersih (NPV), periode pengembalian, dan tingkat pengembalian internal ('Engineering Economics', 2022). Selain itu, ekonomi teknik dalam kurikulum teknik kimia menekankan pentingnya memahami nilai waktu uang dan ukuran profitabilitas, mengintegrasikan studi ekonomi ke dalam kursus

yang berbeda untuk meningkatkan aplikasi praktis (Mavrovouniotis, 1996). Selanjutnya, metode baru dalam analisis ekonomi proses kimia bertujuan untuk meningkatkan desain dan operasi pabrik dengan menjembatani analisis ekonomi dengan metode representasi proses, yang mengarah pada peningkatan kualitas dan tingkat produktivitas di industri (Okada and Shirao, 2001).

1.3 Besaran dan Satuan dalam Teknik Kimia

Dalam teknik kimia, satuan dan besaran memainkan peran penting dalam mengukur besaran fisik dan memastikan perhitungan yang akurat. Sistem Kuantitas Internasional (ISQ) menstandarisasi unit yang digunakan dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk teknik kimia, untuk memfasilitasi konsistensi dan presisi dalam pengukuran (Glavič, 2022). Di bidang teknik kimia, memiliki pemahaman komprehensif tentang satuan dan besaran yang digunakan untuk mengukur variabel yang berbeda dalam operasi kimia sangat penting. Penekanan harus ditempatkan pada pencegahan ketidakakuratan dan jaminan ketepatan dalam perhitungan dan evaluasi. Memahami Sistem Satuan Internasional (SI) dan hubungannya dengan sistem unit lainnya sangat penting bagi mahasiswa untuk mengubah unit secara efektif (Robert H. Perry, Don W. Green, 2007). Besaran fisik dalam teknik kimia berasal dari dimensi dan satuan fundamental, memungkinkan manipulasi matematis besaran ini (Worstell, 2014). Penerapan operasi unit, persamaan keseimbangan, dan alat teknik seperti analisis dimensi membantu dalam menangani sistem kompleks dalam proses rekayasa kimia (Kockmann, 2006). Selain itu, keseimbangan material dan energi, bersama dengan pertimbangan berbagai jenis proses dan reaksi, merupakan aspek fundamental dari perhitungan satuan dalam teknik kimia (Ghasem and Henda, 2008).

1.3.1 Besaran

Besaran atau kuantitas mewakili karakteristik inheren dari suatu entitas atau kejadian yang dapat diukur dan dapat diartikulasikan melalui nilai numerik. Konsep besaran berfungsi

sebagai dasar untuk banyak penilaian kuantitatif dalam bidang penyelidikan ilmiah dan aplikasi rekayasa. Besaran dapat didefinisikan Sesuatu yang dapat diukur dan representasi besaran melibatkan nilai numerik bersama yang memiliki satuan tertentu. Berbagai contoh besaran mencakup dimensi seperti jarak, berat, durasi, tingkat panas, aliran listrik, fluks bercahaya, volume materi, dan sebagainya.

Besaran dapat dikategorikan menjadi dua kelompok utama:

1. Besaran Pokok

Besaran pokok yaitu : besaran yang unitnya telah ditentukan sebelumnya dan tidak bergantung pada kuantitas lainnya. satuan-satuan dasar yang tidak dapat dijabarkan dari besaran lainnya dan menjadi dasar dari besaran turunan.

Contohnya :

Tabel 1.3. Besaran Pokok

Besaran Pokok	
Panjang (meter)	
Massa (kilogram)	
Waktu (detik)	
Suhu (kelvin)	
Arus listrik (ampere)	
Intensitas	cahaya
(candela)	
Jumlah zat (mol)	

2. Besaran Turunan

Besaran yang diperoleh dari besaran fundamental. Besaran yang dibentuk atau dihasilkan dari kombinasi beberapa besaran pokok. Hasil dari operasi matematis (seperti perkalian, pembagian) antara besaran pokok.

Contohnya:

Tabel 1.4. Besaran Turunan

Besaran Turunan
Kecepatan (meter per detik)
Gaya (newton)
Tekanan (pascal)
Energi (joule)
Daya (watt)

1.3.2 Satuan

Dalam Teknik Kimia, pemahaman yang mendalam tentang satuan sangat penting untuk melakukan perhitungan, analisis, dan desain proses kimia yang efektif dan efisien. Satuan digunakan untuk mengukur berbagai besaran fisik dan kimia yang terlibat dalam proses teknik kimia, seperti massa, volume, waktu, temperatur, tekanan, dan lain-lain. Satuan dalam teknik kimia merupakan standar yang digunakan untuk menyatakan hasil pengukuran besaran fisik dan kimia. Satuan ini dapat dikategorikan berdasarkan sistem satuan yang digunakan, yaitu Sistem Internasional (SI) dan satuan imperial. Berikut adalah beberapa besaran utama dalam teknik kimia beserta satuannya:

Tabel 1.5. Besaran Utama dan satuan dalam Teknik Kimia

Besaran Utama	Satuan Sistem Internasional (SI)
Massa adalah ukuran jumlah materi dalam suatu objek	Kilogram (kg)
Volume adalah ruang yang ditempati oleh suatu zat.	Meter kubik (m^3), liter (L)
Konsentrasi adalah jumlah zat terlarut dalam suatu volume pelarut.	Mol per liter (mol/L), gram per liter (g/L)
Laju aliran adalah volume zat yang	Meter kubik per detik (m^3/s), liter per menit (L/min)

Besaran Utama	Satuan Sistem Internasional (SI)
mengalir melalui suatu penampang per satuan waktu.	
Tekanan adalah gaya per satuan luas yang diberikan oleh zat pada permukaan.	Pascal (Pa), bar, atmosfer (atm)
Suhu adalah ukuran tingkat panas atau dingin suatu zat.	Kelvin (K), Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
Energi adalah kapasitas untuk melakukan kerja.	Joule (J), kilokalori (kcal)
Waktu adalah durasi atau interval antara dua kejadian.	Detik (s), menit (min), jam (h)
Kecepatan reaksi adalah laju perubahan konsentrasi reaktan atau produk per satuan waktu.	Mol per liter per detik ($\text{mol/L}\cdot\text{s}$)
Densitas adalah massa per satuan volume zat.	Kilogram per meter kubik (kg/m^3)

Dalam aplikasi teknik kimia, pemahaman yang tepat tentang besaran dan satuan ini sangat penting untuk merancang, mengoperasikan, dan mengoptimalkan proses-proses industri yang melibatkan reaksi kimia, perpindahan panas, perpindahan massa, dan perpindahan momentum. Untuk menyatakan sifat suatu material atau bahan dapat dinyatakan dalam besaran Kualitatif dan kuantitatif seperti pada tabel 1.5.

Tabel 1.6. Besaran kualitatif dan kuantitatif.

Besaran Kualitatif	Besara Kuantitatif
Aliran Laminir	$Re < 2000$
Aliran turbulen	$Re > 2300$
Aliran transisi,	$Re = 2000 - 2300$
Low pressure steam	15-30 psig
Medium pressure steam	$30 < P < 150$ psig
High pressure steam	$150 < P < 400$ psig

DAFTAR PUSTAKA

- Bear, J. (2018) 'Modeling Energy and Mass Transport BT - Modeling Phenomena of Flow and Transport in Porous Media', in Bear, J. (ed.). Cham: Springer International Publishing, pp. 573–623. doi:10.1007/978-3-319-72826-1_8.
- El-Halwagi, M.M. (2012) 'Chapter 2 - Overview of Process Economics', in El-Halwagi, M.M. (ed.) *Sustainable Design Through Process Integration*. Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 15–61. doi:https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-744-3.00002-3.
- Emmerich, W. (2014) 'Chemical Thermodynamics: A Journey of Many Vistas.', *Journal of Solution Chemistry*, 43((3)), pp. 525–576. doi:10.1007/S10953-014-0140-0.
- 'Engineering Economics' (2022), pp. 1335–1362. doi:1335-1362. Available from: 10.1002/9781119871163.ch12.
- Ghasem, N. and Henda, R. (2008) *Principles of Chemical Engineering Processes*.
- Ghasem, N. and Henda, R. (2015) 'Principles of chemical engineering processes: material and energy balances'.
- Gladden, L.F. *et al.* (2004) 'Looking into' chemical products and processes', *Current Applied Physics*, 4(2), pp. 93–97. doi:https://doi.org/10.1016/j.cap.2003.10.004.
- Glavič, P. (2022) 'Quantities and Units in Chemical and Environmental Engineering', *Standards*, 2(1), pp. 43–51. doi:10.3390/standards2010004.
- H., Donald, Brooke, J. (2007) *Chemical Thermodynamics at a Glance*.
- Horio, M. and Clift, R. (2023) 'Chemical engineering for the Anthropocene', *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 101(1), pp. 295–308. doi:10.1002/cjce.24644.
- Hu, C. (2021) 'Reactor design and selection for effective continuous manufacturing of pharmaceuticals', *Journal of Flow Chemistry*, 11(3), pp. 243–263. doi:10.1007/s41981-021-00164-3.
- Inc, B.B. and Campbell, D. (2023) 'Stoichiometry: Reaction of iron with copper(II) sulfate', *Green Chemistry Teaching and Learning Community* [Preprint]. doi:10.59877/tzol3846.

- J., Bevan, Ott., Juliana, Boerio-Goates., DE, B. (2015) *Chemical Thermodynamics: Principles and Applications*.
- Kockmann, N. (2006) *Micro Process Engineering*. Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Mavrovouniotis, M.L. (1996) 'The Role Of Engineering Economics In The Chemical Engineering Curriculum'.
- Mousavi, A. (2019) 'Stoichiometry of equations through the Inverse de Donder relation', *Chemistry Teacher International*, 1(1), pp. 1–6. doi:10.1515/cti-2018-0006.
- Mustaffa, A.A., Jamaluddin, J. and Zubir, M.A. (2023) 'Integrated Mass and Energy Balance Course Project using Spreadsheet for a Chemical Engineering Degree Program', *Asean Journal of Engineering Education*, 7(2), pp. 58–63. doi:10.11113/ajee2023.7n2.139.
- Nayef, Ghasem., Redhouane, H. (2015) *Principles of chemical engineering processes: material and energy balances*.
- Neyt, N.C. and Riley, D.L. (2021) 'Application of reactor engineering concepts in continuous flow chemistry: A review', *Reaction Chemistry and Engineering*, 6(8), pp. 1295–1326. doi:10.1039/d1re00004g.
- Nurni, V.N. et al. (2024) 'Chapter 4.2 - Heat, Mass, Momentum and Charge Transport', in Seetharaman, S. et al. (eds) *Treatise on Process Metallurgy (Second Edition)*. Second Edi. Elsevier, pp. 565–679. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85935-6.00018-0.
- Okada, H. and Shirao, T. (2001) 'New chemical process economic analysis methods', in. Elsevier, pp. 1059–1064.
- Peter, H. (2002) *Chemical Reactor Design*.
- Petroforce (2024) 'Distillation tower products'. Available at: <https://www.petroforce.co/en/pages/63>.
- Pichler, C.M. (2023) 'Coupled Electrochemical Processes as Versatile Route for Converting Waste Substrates into Value Added Chemical Products', *ChemCatChem*, 15(20). doi:10.1002/cctc.202300648.
- Prajapati, R. (2024) *Types of Reactors in Industries (Pharma, chemical, petrochemical)*. Available at: <https://chemicaltweak.com/types-of-reactors/>.

- Prof. Dr.-Ing. Viktor Scherer, P.D.-I.D.T. (2023) 'DEM/CFD Simulation in Process Engineering'. doi:<https://doi.org/10.1002/ceat.202370704>.
- Robert H. Perry, Don W. Green, & J.O.M. (2007) *Perry's Chemical Engineers' Handbook*.
- Rout, P.K. and Behera, B.K. (2021) 'Mass Balance Concept in Livestock Farming BT - Sustainability in Ruminant Livestock: Management and Marketing', in Rout, P.K. and Behera, B.K. (eds). Singapore: Springer Singapore, pp. 21–32. doi:10.1007/978-981-33-4343-6_2.
- Ruiz-Beviá, F. *et al.* (2012) 'Energy balances on transient processes', *Chemical Engineering Education*, 46(4), pp. 231–236.
- Tahmid, M. and Syeda, S.R. (2023) 'A framework for integrating safety and environmental impact in the conceptual design of chemical processes', *Pure and Applied Chemistry*, 95(3), pp. 301–314. doi:10.1515/pac-2022-1120.
- Talaghata, M.R. (2018) 'An approach for determination of mass transfer parameters using finite integral transform method and experimental data for regular geometries', *International Journal Of Petrochemical Science & Engineering*, 3(4), pp. 152–159. doi:10.15406/ipcse.2018.03.00089.
- Th., M. *et al.* (2022) 'The importance/role of education in chemical engineering', *Chemical Engineering Research and Design*, 187, pp. 164–173. doi:10.1016/j.cherd.2022.08.061.
- Thomas, H., Wines., Saeid, M. (2022) *Industrial separation technologies*. doi:10.1016/b978-0-12-816986-5.00005-2.
- Ulkir, O. and Ertugrul, I. (2023) 'Application of PID controller in chemical process system using COMSOL', *Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering*, 3(2), pp. 107–113. doi:<https://doi.org/10.21595/jmai.2022.23035>.
- Vogt, J. (2017) 'Stoichiometry and Chemical Reactions BT - Exam Survival Guide: Physical Chemistry', in Vogt, J. (ed.). Cham: Springer International Publishing, pp. 9–16. doi:10.1007/978-3-319-49810-2_2.
- Wilhelm, E. (2014) 'Chemical Thermodynamics: A Journey of Many Vistas', *Journal of Solution Chemistry*, 43(3), pp. 525–576.

doi:10.1007/s10953-014-0140-0.

Worstell, J. (2014) 'Chapter 3 - Dimensions and Systems of Units', in Worstell, J.B.T.-D.A. (ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 23–37. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801236-9.00003-7>.

Xiaoqin, Wang; Wenwen, Cui, Wentao, Guo.; Baoguo, Sun., Mingquan, Huang.; Jinchun, Li; Hehe, Li; Nan, M. (2023) 'Separation techniques for manufacturing fruit spirits: From traditional distillation to advanced pervaporation process. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety',. doi:doi: 10.1111/1541-4337.13278.

BAB 2

PERHITUNGAN DAN KOMPOSISI KIMIA

Oleh Fath Dwisari

Dalam kehidupan sehari-hari, sering ditemui berbagai zat kimia seperti garam atau NaCl, cuka, gula, dan sebagainya. Beberapa di antaranya bahkan dikonsumsi. Namun, untuk memahaminya dengan jelas, perlu diketahui apa definisi sebenarnya dari suatu zat kimia dan komposisinya.

Jenis dan kuantitas unsur yang membentuk suatu zat atau campuran, susunan, rasio, dan jenis atom yang terdapat dalam molekul suatu zat kimia disebut sebagai komposisi kimia. Perubahan komposisi dapat terjadi karena penambahan atau pengurangan satu atau lebih zat kimia dari suatu substansi, perubahan kimiawi dalam zat tersebut, atau perubahan rasio antara zat kimia (Chang, 2004).

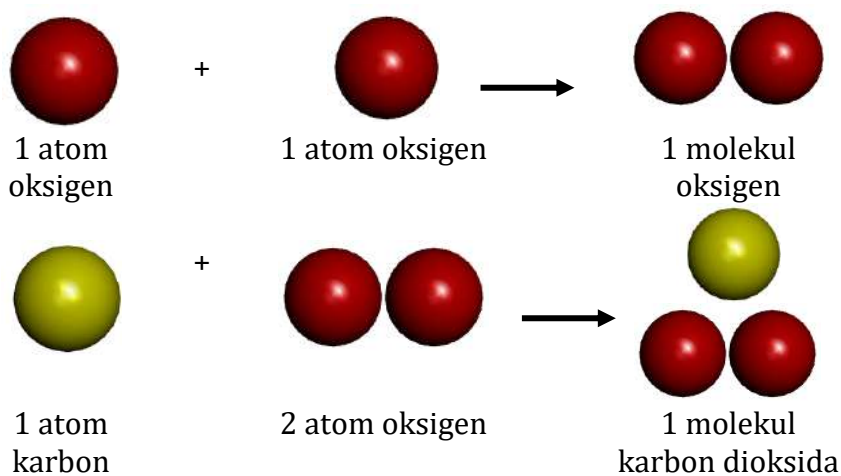
Unsur sendiri adalah substansi yang hanya terdiri dari satu jenis atom dan tidak bisa diuraikan menjadi zat yang lebih sederhana. Partikel dasar atom adalah: proton, elektron dan neutron (Sabarni, 2014). Dalam ilmu kimia, unsur disebut inti atau nucleus, yang terdiri dari beberapa proton dan neutron. Unsur-unsur seperti hidrogen (H), karbon (C), oksigen (O), dan nitrogen (N) adalah contohnya (Gassa et al., 2007).

Tabel 2.1. Daftar beberapa Unsur kimia

Rumus Kimia	Unsur
H	Hidrogen
Li	Litium
Na	Natrium
K	Kalium
Rb	Rubidium
Cs	Sesium
Fr	Fransium

Senyawa adalah zat yang terdiri dari dua atau lebih unsur berbeda yang terikat secara kimia. Molekul adalah gabungan dari dua atau lebih atom yang terikat melalui ikatan kimia dan merupakan kesatuan dengan sifat-sifat fisika dan kimia yang unik. Sesuai dengan hukum perbandingan tetap, molekul dapat berisi atom-atom dari unsur yang sama atau atom-atom dari dua atau lebih unsur yang bergabung dalam hubungan tertentu (Wahid, 2014).

Sebagian besar molekul memiliki lebih dari dua atom. Ini dapat berasal dari unsur yang sama, seperti ozon (O_3), yang terdiri dari tiga atom oksigen, atau dapat berasal dari gabungan dua atau lebih unsur, seperti air (H_2O) dan amonia (NH_3) (Nur et al., 2020).



Gambar 2.1. Gabungan atom-atom menjadi suatu molekul
Sumber: (Chang, 2004)

Komposisi persentase menggambarkan proporsi relatif suatu unsur dalam senyawa dibandingkan dengan massa total senyawa tersebut. Misalnya, persentase massa karbon dalam aspirin ($C_9H_8O_4$) dihitung dari massa karbon dibandingkan dengan massa total aspirin.

Para ilmuwan membuat penulisan yang disebut rumus kimia untuk menunjukkan komposisi molekul dan senyawa ion

dalam lambang kimia. Rumus molekul dan empiris adalah dua jenis rumus kimia yang paling umum digunakan (Nur et al., 2020).

Reaksi kimia melibatkan perubahan dalam komposisi kimia dari zat awal (reaktan) menjadi produk dengan komposisi kimia yang berbeda. Memahami komposisi kimia membantu memprediksi produk dan karakteristik reaksi (Haryono, 2019).

1. Massa Atom dan Massa Atom Relatif

Atom merupakan partikel yang sangat kecil, bahkan timbangan dimanapun di dunia ini tidak ada yang mampu untuk mengukur massa 1 atom. Lalu, jika kita menganalogikan “bagaimana menentukan berapa banyak butir beras yang kita beli sebanyak 1 kilogram?”. Hal ini sejalan dengan “bagaimana kita menentukan berapa banyak jumlah atom pada isotop C-12, jika massanya 12g?”. Mungkin kita bisa memegang dan menimbang beras secara langsung, namun bagaimana dengan atom? Massa atom bergantung pada jumlah electron, proton dan neutron yang dimiliki oleh suatu atom (Azhar, 2020).

Isotop sendiri merupakan atom-atom yang memiliki nomor atom yang sama namun nomor massanya berbeda (Nur et al., 2020). Langkah-langkah untuk menghitung massa atom suatu isotop tertentu:

a. Mengetahui jumlah proton dan neutron:

- Jumlah proton (nomor atom) = Z
- Jumlah neutron = N

b. Mengetahui massa proton dan neutron:

- Massa proton ≈ 1.00728 sma
- Massa neutron ≈ 1.00866 sma

c. Menghitung massa isotop:

$$\text{Massa isotop} = Z \times \text{massa proton} + N \times \text{massa neutron}$$

Contoh:

Misalkan kita ingin menghitung massa isotop karbon-12 (dengan 6 proton dan 6 neutron):

Z	Massa Proton	N	Massa Neutron
6	1.00728	6	1.00866

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{Massa isotop} &= 6 \times 1.00728 + 6 \times 1.00866 \\ &= 12.09564 \text{ sma} \end{aligned}$$

Massa atom yang tertera di tabel periodik biasanya adalah rata-rata massa dari semua isotop yang ada di alam, dikalikan dengan kelimpahannya masing-masing (Silberberg, 2013). Massa atom secara Internasional dinyatakan dalam amu, Dimana satu amu adalah massa dari seperduabelas massa atom carbon-12 (Azhar, 2020).

Massa atom suatu unsur biasanya diwakili dalam satuan massa atom (sma) atau satuan massa atom Dalton (Da), di mana 1 sma sama dengan 1/12 dari massa atom karbon-12. Untuk menghitung massa atom, biasanya kita menjumlahkan massa proton dan neutron yang ada di dalam inti atom (Chang, 2004).

$$\text{Ar X} = \frac{\text{massa rata-rata atom X amu}}{\frac{1}{12} \text{ atom C-12 amu}} = \frac{\text{massa rata-rata atom X amu}}{1 \text{ amu}}$$

Massa atom relatif (Ar) merupakan perbandingan antara massa suatu atom dengan massa atom lainnya (Brown et al., 2011). Selanjutnya adalah menghitung massa atom relative. Dimana, massa atom relatif dihitung dengan menjumlahkan hasil kali massa masing-masing isotop dengan kelimpahannya. Rumus untuk menghitung massa atom relative:

$$\begin{aligned} \text{Massa atom relatif} \\ &= \sum (\text{massa isotop} \times \text{kelimpahan isotop}) \end{aligned}$$

Contoh:

Suatu unsur memiliki dua isotop sebagai berikut:

Isotop A dengan massa 10 sma dan kelimpahan 20% (0,20).

Isotop B dengan massa 12 sma dan kelimpahan 80% (0,80).

Hiitung Massa atom relatifnya!

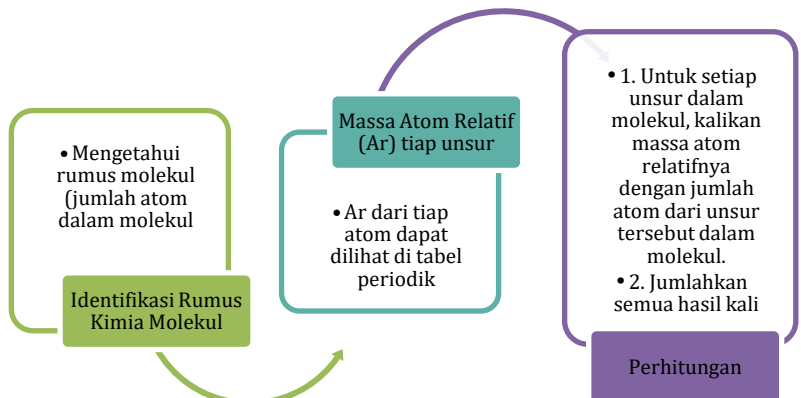
Massa atom relatif

$$\begin{aligned} &= \sum (10 \times 0.20) + (12 \times 0.80) = 2 + 9.6 \\ &= 11,6 \text{ sma} \end{aligned}$$

Massa atom relatif ini merupakan nilai rata-rata dengan mempertimbangkan semua isotop dan kelimpahannya (Silberberg, 2013).

2. Massa Molekul Relatif

Massa molekul relatif (M_r) adalah jumlah massa atom relatif (A_r) dari semua atom yang terdapat dalam sebuah molekul yang kemudian memberikan gambaran tentang massa suatu molekul dibandingkan dengan $1/12$ dari massa atom karbon-12. Massa suatu molekul dapat dihitung dengan menjumlahkan massa atom yang terdapat dalam molekul tersebut (Petrucchi et al., 2011).



Gambar 2.2. Cara menentukan Massa Molekul Relatif (M_r)

Contoh;

Tentukan Massa molekul relatif (Mr) dari senyawa Glukosa ($C_6H_{12}O_6$)!

Ar C	Ar H	Ar O
≈ 12	≈ 1	≈ 16

$$\begin{aligned} \text{Mr } C_6H_{12}O_6 &= (6 \times \text{Ar C}) + (12 \times \text{Ar H}) + (6 \times \text{Ar O}) \\ &= (6 \times 12) + (12 \times 1) + (6 \times 16) \\ &= 72 + 12 + 96 \end{aligned}$$

$$\text{Mr } C_6H_{12}O_6 = 180$$

Selanjutnya, Ketika ingin menghitung massa unsur dalam suatu senyawa, maka perlu dicari terlebih dahulu persentase massa unsur tersebut dan massa dari total senyawa.

$$\begin{aligned} \text{Persentase massa unsur} \\ &= \frac{(\text{massa total unsur})}{\text{massa molekul relatif}} \times 100\% \end{aligned}$$

Contoh:

Soal: Tentukan persentase massa karbon dalam senyawa Aspirin ($C_9H_8O_4$).

Jawaban:

1) Hitung massa molar aspirin:

Massa molar C = 12 g/mol

Massa molar H = 1 g/mol

Massa molar O = 16 g/mol

Maka,

massa molar aspirin:

$$9 \text{ massa atom C} = 9 \times 12 = 108 \text{ bagian massa C}$$

$$8 \text{ massa atom H} = 8 \times 1 = 8 \text{ bagian massa H}$$

$$4 \text{ massa atom O} = 4 \times 16 = 64 \text{ bagian massa O}$$

$$\underline{\text{Massa molekul } C_9H_8O_4} = 180 \text{ bagian massa } C_9H_8O_4$$

2) Hitung komposisi unsur penyusun aspirin:

$$\text{Persentase massa karbon dalam C}_9\text{H}_8\text{O}_4 = \frac{108}{180} \times 100\% = 60\%$$

$$\text{Persentase massa hidrogen dalam C}_9\text{H}_8\text{O}_4 = \frac{8}{180} \times 100\% = 4.44\%$$

$$\text{Persentase massa oksigen dalam C}_9\text{H}_8\text{O}_4 = \frac{64}{180} \times 100\% = 35.56\%$$

3. Menentukan rumus empiris suatu senyawa

Selain untuk menentukan suatu massa atom, Ar juga digunakan untuk menentukan rumus empiris suatu senyawa atau molekul. Rumus empiris suatu senyawa atau molekul adalah rumus kimia yang menunjukkan perbandingan terkecil atau rasio paling sederhana antara jumlah atom masing-masing unsur dalam suatu senyawa (Brown et al., 2011).

Contoh :

Soal: Senyawa X mengandung 63% tembaga (Cu) dan 37% oksigen (O) berdasarkan massa. Tentukan rumus empiris senyawa X.

Jawaban:

Unsur	Massa (gr)	Ar	Mol= gr/Mr	Rasio mol	Rasio mol
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Cu	63	63.5	0.992	1	2
O	37	16	2.312	2.33	5

Kolom (c) adalah massa atom relatif dari unsur Cu dan O, (d) menyatakan mol yang merupakan hasil bagi dari massa unsur dan massa atom relatifnya. Sedangkan (e) mewakili rasio mol yang didapatkan dengan membagi mol dengan angka mol terkecil, dalam hal ini yaitu 0.992. Rasio mol untuk unsur O yaitu 2.33 dalam hal ini mendekati nilai 2.5. Rasio mol (2.5 dan 1) ini kemudian dikalikan dengan angka 2 untuk mendapatkan nilai bilangan bulat pada kolom (f). Dari hasil didapatkan bahwa rumus empiris senyawa yaitu Cu_2O_5 .

4. Perhitungan Komposisi Kimia

a. Menghitung Persen komposisi dalam suatu Senyawa

Sebagaimana yang telah dipelajari sebelumnya, bahwa rumus suatu senyawa dapat menggambarkan jumlah setiap unsur yang dimiliki suatu senyawa. Persen komposisi dalam suatu senyawa dapat menentukan kemurnian dari senyawa tersebut. Dimana, kita dapat menghitung seberapa banyak massa masing-masing unsur yang disumbangkan dalam suatu senyawa. Komposisi persen dalam suatu senyawa adalah persen massa dari setiap unsur pada senyawa tersebut (Azhar, 2020)

Contoh:

Soal: Cuka mengandung 5% asam asetat (CH_3COOH). Jika ada 500 ml cuka, berapa banyak asam asetat yang terkandung?

Jawaban:

Hitung massa asam asetat:

Persentase asam asetat = 5%

Volume cuka = 500 ml (dengan asumsi densitas cuka sekitar 1 g/ml, sehingga 500 ml = 500 g)

Massa asam asetat = Persentase asam asetat $\times$ Massa cuka

Massa asam asetat = $5\% \times 500 \text{ g} = 0.05 \times 500 = 25 \text{ g}$

Jadi, terdapat 25gram asam asetat dalam 500 ml cuka.

Latihan	
1.	Unsur Cl di alam terdiri atas dua isotop yaitu ^{35}Cl dan ^{37}Cl dengan kelimpahan masing-masing 75,77% dan 24,23%. Tentukan massa atom relative rata-rata klorin!
2.	Unsur Bromin (Br) memiliki dua isotop stabil di alam, yaitu ^{79}Br dan ^{81}Br . Jika massa atom relatif rata-rata di table periodik adalah 79,904 sma, hitunglah kelimpahan relatif dari masing-masing isotop ^{79}Br dan ^{81}Br ! (Massa atom relatif ^{79}Br dan ^{81}Br adalah masing-masing 78,918 dan 80,916)
3.	Tentukanlah rumus empiris dari komposisi senyawa dengan massa H 1,59%, N 22,22% dan O 76,19%.
4.	Suatu senyawa memiliki $M_r = 98$ dengan kandungan senyawa H 3,09%, P 31,61% dan O 65,31%. Tentukan rumus empiris senyawa tersebut!
5.	Tentukan persentase massa Oksigen dalam Na_2CO_3 !
6.	Formalin adalah salah satu bahan pengawet yang sering disalahgunakan sebagai pengawet makanan. Tentukan persentase massa Oksigen dalam formalin (CH_2O)!

DAFTAR PUSTAKA

- Azhar, M. (2020). *STOIKIOMETRI: Perhitungan Zat pada Rumus Kimia dan Persamaan Reaksi* (1st ed.). SUKABINA Press.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., & Bursten, B. E. (2011). *Chemistry: The Central Science* (12th ed.). Upper Saddle River: Pearson Education.
- Chang, R. (2004). *Kimia dasar: Konsep-Konsep Inti* (3rd ed., Vol. 1). Erlangga.
- Gassa, Muh. S., Enre, A., & Darminto. (2007). *Kimia Dasar 1* (1st ed.). CV. Telaga Zam-Zam.
- Haryono, H. E. (2019). *KIMIA DASAR* (1st ed.). Deepublish.
- Nur, O. :, Muhammad, H., Rizki, R. M., & Subagyo, I. R. (2020). *Kimia Dasar Untuk Universitas*. Universitas Lambung Mangkurat.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2011). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (10th ed.). Upper Saddle River: Pearson Education.
- Sabarni. (2014). ATOM dan MOLEKUL BERDASARKAN ILMU KIMIA DAN PERSPEKTIF. *Lantanida Journal*, 2(2).
- Silberberg, M. S. (2013). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Wahid, A. (2014). *Kimia Dasar - Atom, Molekul dan Ion*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4928.4884>

BAB 3

HUKUM KEKEKALAN MASSA

Oleh Dewi Gulya Hari

3.1 Pendahuluan

Antoine-Laurent Lavoisier dilahirkan pada abad ke 18 dan berasal dari keluarga bangsawan serta merupakan ilmuwan Perancis yang dianggap sebagai Bapak kimia modern. Dia merupakan penemu oksigen dan hidrogen, juga merupakan salah satu ilmuwan yang mengembangkan sistem metrik. Pada hakekatnya Antoine-Laurent Lavoisier dikenal sebagai penemu hukum kekekalan massa. Pada abad 19 banyak penemuan baru yang dihasilkan dengan berlandaskan kepada hukum ini. Lavoisier mengembangkan hukum kekekalan massa dengan dasar Hukum Proust (ditemukan oleh Joseph Proust) dan teori atom oleh John Dalton. Percobaan eksperimen Lavoisier secara kuantitatif membuktikan bahwa reaksi pembakaran ternyata lebih melibatkan oksigen daripada *phlogiston*, suatu unsur yang selama ini diduga berperan aktif dalam reaksi pembakaran.

Hukum kekekalan massa atau prinsip hukum kekekalan massa adalah : bahwa dalam sistem yang tertutup dapat terjadi perpindahan materi atau pun energi (dimana keduanya memiliki massa). Massa sistem haruslah tetap konstan sepanjang waktu dan sistem tidak dapat mengubah jumlah materi atau energi kecuali bila ada yang ditambahkan atau dipindahkan. Akibatnya jumlah massa akan selalu konstan sepanjang waktu. Hukum ini juga mengimplikasikan bahwa massa tidak dapat diubah atau pun dihancurkan tetapi dapat berubah bentuk.

Hukum ini juga mengatakan bahwa selama waktu terjadinya reaksi kimia, reaksi nuklir atau pun peristiwa radioaktif di dalam suatu sistem yang tertutup, maka total massa dari reaktan (zat asal) mestilah harus sama dengan massa produk (zat hasil). Konsep kekekalan massa ini banyak digunakan dalam bidang pekerjaan seperti kimia, mekanik dan dinamika fluida.



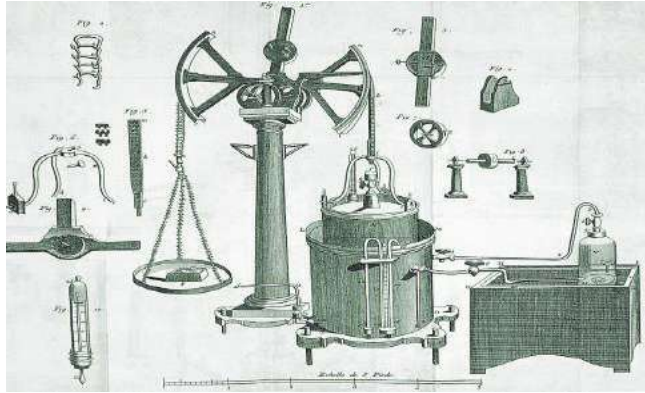
Gambar 3.1. Lavoiser dengan koleganya

(Sumber : An International Historic, The Chemical Revolution, Paris France, June 8, 1999)

Penemuan hukum kekekalan massa sekaligus membantah teori phlogiston yang dikembangkan oleh seorang ilmuwan Jerman yang bernama Georg Ernst Stahl pada awal abad ke 18. Stahl percaya bahwa setiap pembakaran yang terjadi melibatkan suatu elemen yang disebutnya sebagai phlogiston (Yunani : Mudah terbakar).

3.2 Reaksi Pembakaran Dan *Phlogiston*

Dalam percobaan yang dilakukan dengan fosfor dan belerang (keduanya merupakan bahan yang mudah terbakar), Lavoisier memperhatikan bahwa berat keduanya bertambah saat bereaksi di udara terbuka. Dengan sisa abu yang ada, Lavoisier dapat menangkap sejumlah besar udara yang dilepaskan saat abu itu dipanaskan. Hasil eksperimen ini memunculkan dugaan kuat bagi Lavoisier bahwa phlogiston tidak terlibat sama sekali.



Gambar 3.2. Alat Percobaan Lavoisier

(Sumber : *An International Historic, The Chemical Revolution, Paris France, June 8, 1999*)

Meskipun Lavoisier saat itu menyadari bahwa reaksi pembakaran itu sebenarnya melibatkan udara, tetapi komposisi udara yang tepat pada saat itu belum begitu jelas dipahami. Pada bulan agustus 1774 Lavoisier bertemu dengan filsuf Inggris terkemuka saat itu yang juga pakar dalam teori phlogiston bernama yaitu Yusuf Priestley di Paris. Dia menjelaskan kepada Lavoisier bahwa sewaktu dia melakukan eksperimen dengan memanaskan abu merkuri (berupa serbuk merah) dan gas hasil pembakaran yang dikumpulkannya dapat menyulakan lilin dengan kuat.

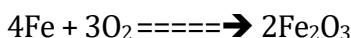
Di Paris, Lavoisier yang penasaran mengulang eksperimen Priestley dengan merkuri dan logam lainnya. Dia akhirnya menyimpulkan bahwa udara bukanlah material yang sederhana. Lavoisier berpendapat bahwa dalam udara yang sehari-hari kita hirup itu terdapat 2 zat atau komponen penyusunnya yaitu satu yang bergabung dengan logam saat terjadi reaksi pembakaran dan juga digunakan untuk pernafasan, satunya lagi adalah *asphyxiant* yaitu zat yang tidak terlibat dalam reaksi pembakaran ataupun pernafasan. Pada tahun 1777 Lavoisier mengeluarkan teori baru bahwa pembakaran tidaklah melibatkan *phlogiston*. Menurut teori reaksi pembakaran logam ataupun substansi anorganik lainnya adalah dengan bagian udara yang juga dimanfaatkan untuk bernafas yang disebutnya sebagai oksigen (berasal dari bahasa Yunani yang artinya generator asam). Dua tahun kemudian dia mendapatkan

perhargaan dari *Royal Academy of Sciences* di Paris atas penemuannya itu.

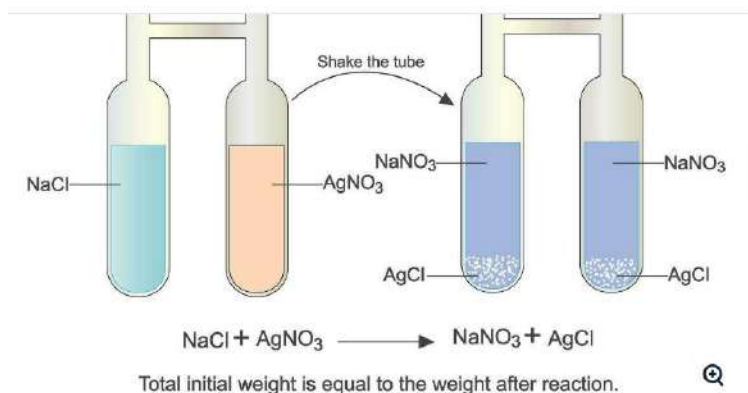
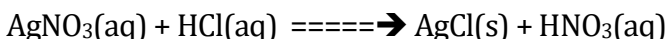
3.3 Eksperimen Landolt dan Hukum Kekekalan

Massa

Besi (*Ferrum* atau Fe) yang berkarat akan meningkat beratnya karena disebabkan oleh penggabungan atau pengikatan oksigen (O₂) dari udara dan peningkatan berat itu akan setara dengan berat oksigen yang diikat dalam reaksi tersebut.



Landolt merupakan seorang ilmuwan Jerman yang memutuskan untuk menguji kebenaran hukum kekekalan massa Lavoisier. Sebagai awalnya dia mempersiapkan 2 tabung berbentuk H. Kedua lengan tabung diisi dengan perak nitrat (AgNO₃) dan asam klorida (HCl). Tabung ditegakkan pada posisi vertikal dan ujung kedua tabung ditutup rapat. Kemudian tabung dibalikkan posisinya dan guncang-guncang sehingga kedua isi tabung dapat bercampur. Landolt mengamati bahwa massa zat yang terlibat sebelum reaksi dan massa total zat setelah reaksi adalah sama berdasarkan reaksi berikut :

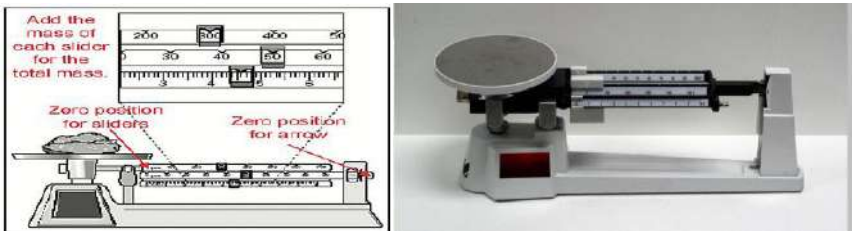


Gambar 3.3. Ilustrasi Percobaan Landolt
(Sumber : <https://www.vecteezy.com/vector-art/>)

3.4 Pengertian Massa Dan Berat Suatu Benda

3.4.1 Massa Zat

Bagaimana caranya mengukur massa suatu zat? Alat yang digunakan adalah neraca 3 lengan, dimana setiap lengan punya fungsi yang berbeda. Alat geser yang paling kecil mengukur massa dalam ukuran gram, yang menengah mengukur dalam kelipatan persepuluh gram dan yang paling besar mengukur massa dalam kelipatan ratusan gram.



Gambar 3.4. Alat Neraca 3 Lengan

(Sumber : <https://www.pengelasan.net/neraca-ohaus/>)

Pertama sekali kita harus mengatur tanda panah penunjuk ke arah angka nol dan seluruh lengan lainnya juga berada dalam posisi nol. Berikutnya letakkan objek yang akan diukur ke dalam wadah timbangan. Hal ini akan menyebabkan naiknya angka yang ditunjukkan oleh anak panah. Sekarang pindahkan masing-masing lengan ke kanan. Langkah berikutnya adalah menjumlahkan gram yang ada pada setiap lengan. Perhatikan bahwa lengan dengan satuan gram menunjukkan ke persepuluhan gram. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa massa batu itu adalah $300 + 50 + 4,6 \text{ gram} = 354,6 \text{ gram}$.

3.4.2 Berat Suatu Zat

Pertanyaan paling mendasar adalah sebenarnya apa sih perbedaan antara massa dan berat benda atau zat? Kita menentukan massa suatu zat dalam satuan gram (g) atau kilogram (kg). Sedangkan berat benda tergantung pada gravitasi bumi. Berat bisa berubah-ubah tetapi massa tidak. Sebagai contoh gaya gravitasi di planet Jupiter adalah 234% dibandingkan dengan gravitasi yang ada di bumi. Jika berat seseorang di bumi adalah 80 kg maka

beratnya diplanet Jupiter adalah sama dengan $80 \times 2,34 = 187,2$ kg. Tidak bisa dikatakan bahwa tubuh orang tersebut menggembung karena pada hakikatnya massanya tetap sama, yang berubah hanyalah beratnya karena makin besar suatu planet dalam tata surya kita, maka gravitasinya juga akan semakin besar. Misalkan saat Neil Amstrong mendarat di bulan pada 20 Juli 1969, beratnya di bulan lebih ringan bila dibandingkan dengan beratnya ketika di bumi, namun perlu diingat bahwa massa tubuhnya tetap sama.

Apa hubungan antara massa dari suatu benda yang utuh bila dibandingkan dengan massa dari bagian-bagian benda tersebut? Tidak masalah menjadi berapa bagian suatu benda dibagi-bagi, massa dari keseluruhan bagian itu akan sama dengan massa bagian benda yang utuhnya. Pertanyaan berikut yang mungkin timbul adalah apakah massa merupakan sifat fisika dari suatu benda?

Karakter sifat fisika dari suatu benda adalah apabila suatu benda dilipat atau di potong-potong, sifatnya masih akan tetap sama. Sebagai contoh adalah bila suatu botol kaca dihancurkan menjadi serpihan kecil-kecil, maka setiap bagian serpihan kaca itu tetap memiliki sifat sama seperti botol kaca utuh yang belum dihancurkan. Perlu diperhatikan bahwa jangan sampai tercampur istilah antara massa dan berat, karena kedua istilah tersebut benar-benar berbeda. Sedangkan berat adalah ukuran yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi, sedangkan massa adalah berapa banyak materi yang terdapat dalam objek tersebut.

3.5 Teori Einstein Tentang Hubungan Massa Dan Energi

Hubungan antara massa dan energi pertama kali diusulkan oleh Albert Einstein pada tahun 1906. Einstein merumuskan hubungan tersebut dalam persamaan :

$$E = m C^2$$

Dimana :

E = adalah energi dengan satuan ergon (erg)

M = massa dengan satuan gram (g)

C = kecepatan cahaya dengan satuannya cm/detik (3×10^{10} cm/detik)

3.6 Teori Pendukung Hukum Kekekalan Massa

3.6.1 Hukum Perbandingan Tetap

Louis Proust pada tahun 1799 mengusulkan hukum yang sekarang dikenal sebagai hukum perbandingan tetap. Hukum ini menyatakan bahwa senyawa zat yang berbeda mengandung komposisi unsur dengan dengan proporsi yang sama. Penjelasanannya adalah sebagai berikut : jika senyawa air yang rumus molekulnya adalah H_2O diambil dari berbagai sumber yang berbeda misalkan dari air laut, air sungai, air hujan, bila dianalisa semuanya akan menunjukkan bahwa perbandingan massa hidrogen dan oksigennya adalah tetap 1 : 8.

3.6.2 Hukum Perbandingan Berganda

Pada tahun 1803 John Dalton mengusulkan teori yang disebut sebagai Hukum Perbandingan Berganda. Jika suatu molekul kimia terdiri dari gabungan 2 unsur atau lebih, maka perbandingan unsur-unsur penyusunnya merupakan bilangan bulat dan sederhana. Contohnya :

1. *Perbandingan massa oksigen dan karbon dalam CO dan CO_2*
Rasio atau perbandingan karbon dalam senyawa karbon monoksida dan karbon dioksida adalah tetap, tetapi perbandingan oksigen dalam kedua senyawa itu berdasarkan massanya adalah 16:32 (disederhanakan menjadi 1:2). Perbandingan 1 : 2 adalah merupakan angka yang sederhana dan memenuhi hukum Dalton tersebut.
2. *Perbandingan Oksigen dan Hidrogen dalam H_2O dan H_2O_2*
Di dalam air, 2 g H_2 direaksikan dengan 16 g O_2 , sementara itu dalam senyawa hidrogen peroksida, 2 g hidrogen direaksikan dengan 32 gram oksigen. Mengacu kepada hukum perbandingan berganda, massa oksigen ini akan bereaksi secara tepat dengan 2 g hidrogen yang akan menghasilkan rasio 16 :32 atau 1 : 2.

3.6.3 Hukum Proporsi Timbal Balik

Saat gabungan 2 unsur yang berbeda misalkan A dan B dipisahkan oleh unsur ketiga C, maka perbandingan massa yang

dihasilkan akan sama atau merupakan kelipatan sederhana dari perbandingan kedua massa tersebut.

Contohnya :

1. *Rasio C dan O dalam CO₂*

Saat gabungan unsur C dan O dipisahkan oleh H dan membentuk metana (CH₄) dan air (H₂O), maka bisa disimpulkan bahwa dalam CH₄ perbandingan C dan H adalah 12 : 4 atau 3 : 1 sedangkan dalam H₂O, rasio H dan O adalah 16 : 2 atau 8 : 1. Apabila C dan O bergabung membentuk CO₂, perbandingan massa mereka akan menjadi 12 : 32 atau 3 : 8.

CH ₄	H ₂ O	CO ₂
12 : 4	2 : 16	12 : 32
3 : 1	1 : 8	3 : 8

2. *Perbandingan C dan S dalam senyawa CS₂*

Saat gabungan unsur C dan S dipisahkan oleh O membentuk CO₂ dan SO₂ maka dapat disimpulkan bahwa dalam CO₂ perbandingan antara C dan O adalah 12:32 atau 3:8 sedangkan dalam SO₂ perbandingan S dan O adalah 32:32 atau 8:8. Menurut hukum proporsi timbal balik, kombinasi C dan S dalam senyawa CS₂ adalah 12:64 atau bentuk sederhananya adalah 3:16. Kenapa bukan 3:8? Karena unsur S yang ada dalam senyawa CS₂ jumlahnya 2x lipat dari yang ada dalam SO₂.

CO ₂	SO ₂	CS ₂
12:32	32:32	12 : 64
3:8	8:8	3:16

3.7 Kesimpulan Hukum Kekekalan Massa

Dalam reaksi kimia ataupun fisika, massa tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, sehingga massa sebelum dan sesudah reaksi akan selalu sama. Total massa dalam sistem tidak bisa berubah, tetapi total massa dari produk reaksi kimia akan selalu sama dengan total massa unsur-unsur pembentuknya. Kebanyakan reaksi kimia menghasilkan gas. Karena hal ini, jumlah produk yang berupa massa padat atau liquid dari suatu persamaan reaksi kimia lebih kecil daripada jumlah reaktannya. Maka tidaklah mengherankan apabila para ahli kimia sebelum Lavoisier menyatakan bahwa ini merupakan bukti massa dapat dihancurkan.

1. Saat kayu terbakar, massanya sepertinya menghilang karena beberapa produk hasil reaksinya berupa gas, jika massa asli dari kayu ditambahkan kepada massa oksigen yang bergabung dengannya dan seandainya massa dari hasil reaksi abunya juga ditambahkan sebagai massa dari produk gas, maka total keduanya pastilah sama.
2. Besi bertambah beratnya karena proses perkaratan disebabkan terjadinya gabungan gas-gas dari udara, dan peningkatan beratnya pastilah sama dengan berat gas yang terbakar. Sudah ribuan reaksi kimia yang telah diuji dengan akurat tanpa mengalami proses penyimpangan dari hukum ketetapan massa ini.

Hukum kekekalan massa berkaitan erat juga dengan hukum kekekalan energi. Energi total dalam suatu sistem yang tertutup bersifat konstan. Materi tidak dapat dibuat atau dihancurkan. Total massa dari reaktan sama dengan total massa produk. Kita bisa mengkalkulasi perubahan temperatur dengan pemahaman yang sederhana bahwa energi dan massa bersifat kekal. Hal ini berarti bahwa jika kita menambahkan 2 jenis panas bersama-sama dalam jumlah yang kuantitatif, kita bisa menghitung perubahan temperatur dengan menggunakan hukum atau perubahan ukuran temperatur dan menunjukkan ketetapan energi.

$$E1 + E2 = E3 > E(\text{universal}) = E(\text{Sistem}) + E(\text{Lingkungan})$$

3.8 Kehidupan Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794)

Menurut biografinya yang ditulis oleh Henry Guerlac, Lavoisier lahir di kota Paris, Perancis. Orang tuanya bernama Jean-Antoine dan Émilie Punctis Lavoisier. Dia berkuliah di *Mazarin College* saat umurnya baru 11 tahun. Dia juga mendapat pelatihan di bidang seni klasik yang saat itu lagi marak-maraknya di Paris. Setelah lulus di jurusan sarjana muda bidang seni, Lavoisier memenuhi keinginan ayahnya untuk melanjutkan pendidikan di bidang hukum dan lulus pada tahun 1763. Namun ketertarikannya akan sains mendapat momennya saat dia bertemu ahli geologi Jean-Étienne Guettard sewaktu berkuliah di Mazarin. Setelah lulus, dia bekerjasama dengan Guettard pada survei geologi di Perancis.



Gambar 3.5. Potret Lavoisier dan Istrinya

(Sumber : *An International Historic, The Chemical Revolution, Paris France, June 8, 1999*)

Lavoisier menikah dengan Marie Anne Pierrette Paulze pada tanggal 16 Desember 1771. Saat itu dia berumur 28 tahun dan istrinya 14 tahun. Pernikahan mereka dilaporkan sangat bahagia, salah satu sebabnya diyakini karena istrinya itu memiliki taraf intelegensia yang tinggi sehingga dengan cepat menjadi partner

Lavoisier dalam bereksperimen di labornya. Pada tahun 1789 revolusi Perancis dimulai dengan penyerbuan ke penjara Bastille. Setahun kemudian, Lavoisier mengeluh bahwa “keadaan urusan masyarakat di Perancis saat itu untuk sementara telah menghambat kemajuan ilmu pengetahuan dan mengalihkan perhatian ilmuwan dari pekerjaan utama mereka”. Pada pagi hari tanggal 8 Mei 1794, Lavoisier ditangkap dan diadili karena kritiknya yang keras dan dihukum oleh Pengadilan Revolusi dalam “konspirasi melawan rakyat Perancis”. Dia dikirim ke *guillotine* sore itu juga. Keesokan harinya, temannya, ahli matematika Perancis bernama Joseph-Louis Lagrange, mengatakan bahwa “hanya sekejap bagi mereka untuk memenggal kepala Lavoisier, padahal dalam seratus tahun ke depan mungkin tidak akan ada lagi ilmuwan yang secerdas dia”.

DAFTAR PUSTAKA

- An International Historic, The Chemical Revolution, Paris France, June 8, 1999
- Raymond A. Serway, "Physics for scientists and engineers," 4th edition, Vol.1, Saunders College Publishing, 1996
- Sarah Hijmans, "From Lavoisier To Mendeleev, The Identification Of Chemical Elements In Practice Between 1770 And 1870
- Sthepens R Turns, "An Introduction To Combustion, Concepts and Applications", Second Edition, McGraw-Hill Higher Education
- Lecture Notes On Fundamentals Of Combustion Joseph M. Powers
Department of Aerospace and Mechanical Engineering
University of Notre Dame Notre Dame, Indiana 46556-5637
USA, 18 April 2024

BAB 4

PERHITUNGAN NERACA MASSA

Oleh Isran Asnawi

4.1 Pengertian Neraca Massa

Neraca massa adalah konsep fundamental dalam teknik kimia yang mengacu pada prinsip konservasi massa, yang menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan dalam proses fisik atau kimia. Ini berarti total massa yang masuk ke suatu sistem harus sama dengan total massa yang keluar dari sistem, ditambah dengan akumulasi massa di dalam sistem jika ada.

Neraca massa digunakan untuk menghitung distribusi bahan dalam suatu proses kimia atau fisik, seperti reaksi kimia, distilasi, evaporasi, filtrasi, atau proses pemisahan lainnya. Ini penting untuk mendesain dan menganalisis proses kimia di industri agar dapat berjalan efisien dan menghasilkan produk yang diinginkan dengan tepat.

Penerapan neraca massa beberapa diantara adalah sebagai berikut:

- 1. Perancangan Proses:** Neraca massa digunakan dalam merancang reaktor, kolom distilasi, atau unit pemisahan lainnya untuk memastikan jumlah reaktan dan produk sesuai dengan spesifikasi desain.
- 2. Analisis Proses:** Insinyur kimia menggunakan neraca massa untuk menganalisis dan mengoptimalkan kinerja suatu proses, misalnya untuk meningkatkan yield produk atau mengurangi penggunaan bahan baku.
- 3. Pengurangan Limbah:** Dengan neraca massa, perusahaan dapat menghitung efisiensi penggunaan bahan baku dan meminimalkan limbah yang dihasilkan, sehingga lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

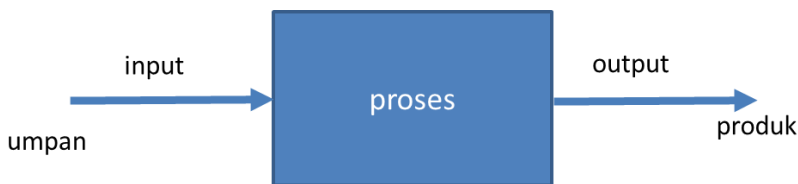
4.2 Konsep Neraca Massa

Dalam menghitung Neraca massa suatu proses/sistem terdapat beberapa hal dasar yg perlu dipahami, yaitu:

4.2.1 Proses

Proses adalah rangkaian dari sejumlah kegiatan (operasi) yang saling terikat satu dengan yang lain, membentuk sistem pengerjaan sedemikian hingga bahan baku dapat diolah, dirubah/dikonversi menjadi produk baik secara fisika maupun kimia (Geankoplis, 1993). Proses adalah suatu peristiwa dimana bahan mengalami perubahan fisik atau kimia atau keduanya. Proses terdiri atas 2 (dua) yaitu perubahan fisik dan perubahan kimia. Perubahan fisik misalnya pemisahan, pencampuran, pengeringan, yang dalam hal ini pada perubahan tersebut tidak terjadi perubahan struktur atau komposisi senyawa kimia. Perubahan kimia misalnya proses pembakaran dan proses sintesis senyawa organik, yang dalam ini melibatkan reaksi kimia atau perubahan secara kimiawi.

Dalam suatu proses, bahan yang masuk ke sistem dinamakan input atau umpan (*feed*) dan yang keluar disebut output atau produk (*product*).



Gambar 4.1. Input, proses, dan output
(Sumber: (Wuryanti, 2016))

4.2.2 Variabel proses

Dalam proses ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan baik untuk perancangan, operasi, maupun modifikasi proses. Variabel proses merupakan data-data yang dimiliki dalam suatu proses yang akan digunakan digunakan sebagai acuan dalam menghitung neraca massa. Variabel proses yang umum digunakan dalam menghitung neraca massa adalah:

1. Massa dan volume
2. Laju alir

3. Berat molekul dan mol
4. Fraksi mol dan fraksi massa
5. Konsentrasi
6. Tekanan fluida dan tekanan hidrostatik
7. Suhu

4.2.3 Diagram alir proses

Diagram Alir Proses merupakan representasi visual yang menampilkan seluruh aliran bahan yang masuk dan keluar dari suatu peralatan, lengkap dengan informasi mengenai komposisi campuran bahan-bahan tersebut. Representasi ini bisa bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Setiap unit proses biasanya digambarkan menggunakan kotak atau simbol peralatan, dengan panah yang menunjukkan arah aliran bahan. Diagram alir berperan sebagai alat bantu untuk menyelesaikan perhitungan neraca, baik neraca massa maupun neraca energi. Diagram alir proses terdiri atas 3, yaitu:

1. Blok diagram, menggambarkan proses secara sederhana dengan menampilkan unit proses, data, dan aliran
2. Flow diagram, menggambarkan proses secara lengkap namun tanpa data informasi variable proses
3. P&ID diagram, menggambarkan proses secara lengkap dan informasi/data secara detail melalui gambar unit proses yang dibahasakan secara simbolik. Tidak hanya menampilkan data variable proses, namun juga ditampilkan berupa informasi jenis valve, kode perpipaan, instrument otomasi.

4.2.4 Rumus umum neraca massa

Rumus umum neraca massa dinyatakan sebagai berikut (Himmelblau and Riggs, 2004):



Dimana:

Input = Aliran masuk ke sistem
Output = Aliran keluar sistem

<i>Consumption</i>	= Digunakan oleh reaksi
<i>Generation</i>	= Terbentuk karena reaksi
<i>Acumulation</i>	= Berkumpul dalam sistem

Pada kesetimbangan materi tanpa reaksi kimia, rumus umum yang digunakan adalah:

$\text{input} - \text{output} = \text{akumulasi}$

karena tidak adanya pembentukan zat ataupun reaksi kimia yang menggunakan zat tersebut.

4.2.5 Langkah-Langkah dalam menghitung neraca massa

Untuk menghitung neraca massa, terdapat langkah-langkah yang perlu kita penuhi agar diperoleh hasil perhitungan neraca massa yang sesuai. Langkah-langkah untuk menghitung neraca massa dapat bervariasi tergantung pada referensi buku dan penulisnya. Meskipun prinsip dasar neraca massa tetap sama, struktur atau tahapan yang diberikan bisa berbeda dalam hal penyajian atau detail tergantung pada gaya dan pendekatan penulis. Dalam beberapa referensi, misalkan pada Himmelblau langkah neraca massa secara umum dibagi menjadi 10 langkah.

Dalam buku Himmelblau ("*Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*"), dia mengusulkan 10 langkah untuk melakukan neraca massa, yang sangat rinci dan menguraikan setiap aspek penting dalam menyelesaikan masalah neraca massa. Namun, sebagian besar referensi lain lebih menyederhanakan proses menjadi 5 hingga 7 langkah, dengan asumsi bahwa banyak sub-langkah dapat dikelompokkan. Termasuk dalam bagian ini kita akan membagi langkah-langkah menghitung neraca massa menjadi 6 bagian sebagai berikut:

- 1. Langkah 1:** Mengetahui jenis proses yg terjadi, pahami prosesnya, komponen apa saja yg masuk dan komponen yang dihasilkan (keluar) pada sistem tersebut
- 2. Langkah 2:** Menggambarkan diagram alir prosesnya secara sederhana
- 3. Langkah 3:** Memasukkan data-data yang diketahui pada diagram alir proses tersebut. Termasuk pada langkah ini adalah memberi simbol yang mudah dipahami, serta

mengidentifikasi mana data yang diketahui, data tidak diketahui (perlu dicaritahu), dan data yang diinginkan

4. **Langkah 4:** Menentukan basis perhitungan
5. **Langkah 5:** Menghitung neraca massa setiap komponen yang ada dalam sistem
6. **Langkah 6:** Menyajikan dalam bentuk tabel hasil perhitungan neraca massa semua komponen yang menyatakan bahwa jumlah komponen masuk = jumlah komponen keluar.

4.2.6 Basis Perhitungan

Dalam menyelesaikan perhitungan neraca massa dan energi, diperlukan sebuah dasar atau acuan, yaitu pemilihan referensi yang memudahkan proses perhitungan. Referensi ini umumnya diambil dari salah satu bahan yang masuk atau keluar. Basis tersebut bisa berupa periode waktu (jam, menit, atau detik) atau massa suatu bahan, seperti pound, gram, kilogram mol, dan sebagainya.

Untuk mempermudah perhitungan, biasanya digunakan unit dasar seperti 1 atau 100 lb, 1 lbmol, jam, atau cuft. Jika analisis massa zat cair atau padat diketahui, seringkali digunakan basis 1 atau 100 lb untuk bahan yang masuk atau keluar. Sedangkan untuk gas atau uap, digunakan 1 atau 100 lbmol atau grmol.

Pemilihan basis harus disesuaikan dengan informasi yang tersedia dan tujuan perhitungan. Beberapa pertimbangan dalam memilih basis perhitungan adalah:

1. Ketersediaan data: Pilih basis yang datanya paling mudah diakses atau paling relevan dengan kondisi proses.
2. Jenis bahan: Untuk bahan padat dan cair, basis massa sering digunakan. Untuk gas, basis molar biasanya lebih sesuai karena gas lebih mudah diukur dalam satuan mol.
3. Jenis proses: Basis waktu digunakan untuk proses aliran kontinyu, sementara basis massa atau mol sering digunakan untuk perhitungan batch.

4.3 Contoh Perhitungan Neraca Massa

4.3.1 Proses Pencampuran

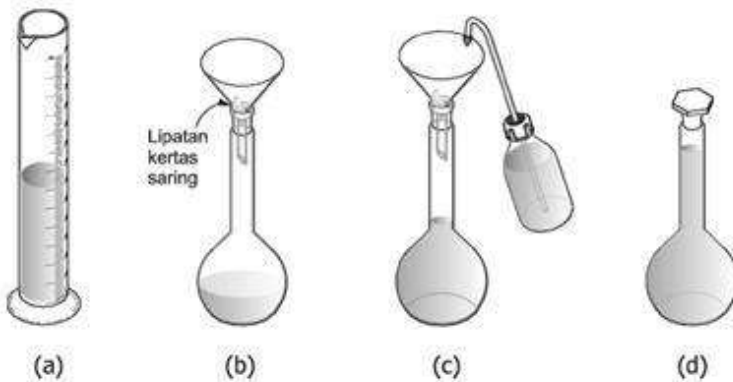
Contoh soal:

Natrium hidroksida dengan kadar 40% dialirkan ke dalam tangki dengan kecepatan 100 L/jam pada suhu 20 °C. Larutan ini akan diencerkan menjadi 12%. Berapa air yang diperlukan setiap jamnya? Dan berapa kecepatan keluar dalam L/jam ? (diketahui ρ_{NaOH} pada suhu 20 °C adalah 1,43 kg/L)

Penyelesaian:

Langkah 1: Mengetahui jenis proses yg terjadi, pahami prosesnya, komponen apa saja yg masuk dan komponen yang dihasilkan (keluar) pada sistem tersebut

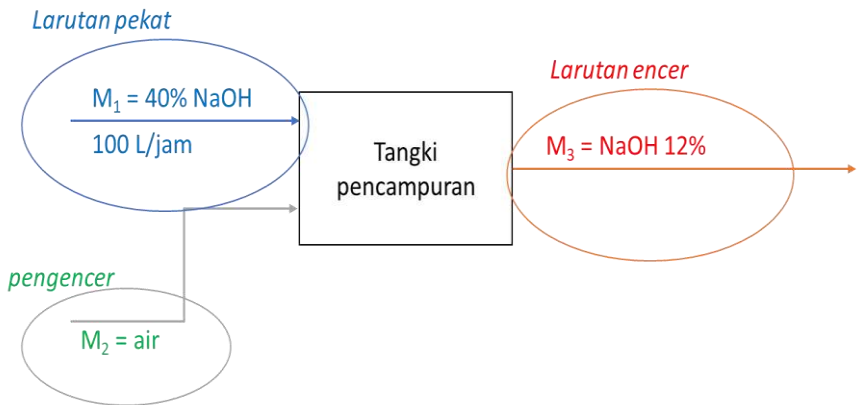
Jenis proses pada kasus ini adalah pencampuran antara larutan NaOH dengan air sehingga diperoleh produk larutan NaOH yang lebih encer (jumlah air lebih banyak daripada jumlah NaOH). Tidak ada senyawa kimia lain yang terbentuk selama pencampuran berlangsung. Dalam hal ini komponen yang masuk adalah larutan NaOH 40%, air murni, sedangkan komponen yg keluar (dihasilkan) adalah larutan NaOH 12%.



Gambar 4.2. Gambaran umum proses pengenceran
(Sumber: (Jurusan MPLK, 2022))

Langkah 2: Menggambarkan diagram alir prosesnya secara sederhana

Langkah 3: Memasukkan data-data yang diketahui pada diagram alir proses tersebut. Termasuk pada langkah ini adalah memberi simbol yang mudah dipahami, serta mengidentifikasi mana data yang diketahui, data tidak diketahui (perlu dicari tahu), dan data yang diinginkan.



Gambar 4.3. Diagram alir proses pencampuran

Langkah 4: Menentukan basis perhitungan

Basis: 100 L/jam

Basis ini dipilih karena lebih cocok dan sesuai dengan data yang diketahui yaitu komponen yg masuk = memiliki kecepatan aliran 100 L/jam. Angka ini diasumsikan sesuai dengan kapasitas umum tangki pencampuran yg digunakan.

Langkah 5: Menghitung neraca massa setiap komponen yang ada dalam sistem

Neraca massa keseluruhan:

$$M_1 + M_2 = M_3 \dots\dots\dots (i)$$

Neraca massa NaOH:

NaOH masuk = NaOH keluar

$$M_1 \cdot x_{NaOH_1} = M_2 \cdot 0 + M_3 \cdot x_{NaOH_3} \dots\dots\dots (ii)$$

Neraca massa air:

$$M_1 \cdot x_{air_1} + M_2 \cdot 1 = M_3 \cdot x_{air_3} \dots\dots\dots (iii)$$

$$\text{massa larutan masuk} = \left(\frac{1,43 \text{ kg}}{L} \right) \left(\frac{100 L}{jam} \right) = 143 \frac{kg}{jam}$$

Neraca massa keseluruhan:

$$M_1 + M_2 = M_3 \text{ (i)}$$

Neraca massa NaOH:

$$\text{NaOH masuk} = \text{NaOH keluar}$$

$$M_1.xNaOH_1 = M_2.0 + M_3.xNaOH_3 \text{(ii)}$$

Neraca massa air

$$M_1.xair_1 + M_2.1 = M_3.xair_3 \text{(iii)}$$

Persamaan (ii) untuk neraca massa NaOH:

$$(143 \text{ kg/jam}) (0,4) = 0 + (0,12.M_3)$$

$$M_3 = 476,7 \text{ kg/jam}$$

Persamaan (iii) untuk neraca massa air:

$$(143 \text{ kg/jam})(0,6) + M_2 = (476,7 \text{ kg/jam})(0,88)$$

$$85,8 \text{ kg/jam} + M_2 = 419,5 \text{ kg/jam}$$

$$M_2 = 333,7 \text{ kg/jam}$$

Atau dengan menggunakan persamaan

(i)

$$M_2 = M_3 - M_1$$

Langkah 6: Menyajikan dalam bentuk tabel hasil perhitungan neraca massa semua komponen yang menyatakan bahwa jumlah komponen masuk = jumlah komponen keluar

Tabel 4.1. Neraca massa proses pencampuran larutan NaOH

Komponen	Aliran Masuk (kg/jam)	Aliran Keluar (kg/jam)
NaOH (larutan pekat)	143	-
Air (pengencer)	333,7	-
NaOH+air (larutan encer)	-	476,7
Total	476,7	476,7

Apabila ingin dikonversi kembali ke satuan awal yaitu L/jam, maka

$$M_1 = 100 \text{ L/jam}$$

$$M_2 = 333,7 \text{ L/jam (massa jenis air} = 1 \text{ kg/jam)}$$

$$M_3 = 100 \text{ L/jam} + 333,7 \text{ L/jam} = 433,7 \text{ L/jam}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Geankoplis, C. J. (1993) *Transport Processes and Unit Operations*. 3rd edn. Prentice Hall International, Inc.
- Himmelblau, D. M. and Riggs, J. B. (2004) *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. 7th edn. New York, USA: Prentice Hall.
- Jurusan MPLK (2022) *Pengenceran Larutan, Politani Negeri Kupang*. Available at: <https://mplk.politanikoe.ac.id/index.php/info-mplk-lainnya/28-kimia-dasar/847-pengenceran-larutan-dilution>.
- Wuryanti, S. (2016) *Modul Ajar: Neraca Massa dan Energi*. Bandung.

BAB 5

BALANCE ON ATOMIC AND MOLECULAR BALANCE

Oleh Ismail Astar

5.1 Pendahuluan

Dalam dunia yang tak kasat mata oleh mata telanjang, terdapat sebuah tarian yang menakjubkan—tarian partikel-partikel subatomik dan molekul yang membentuk segala sesuatu di sekitar kita. Keseimbangan atom dan molekul adalah konsep fundamental yang mendasari pemahaman kita tentang materi dan interaksinya. Bab ini akan membawa Anda dalam sebuah perjalanan menakjubkan, dari skala terkecil atom hingga kompleksitas molekul yang membentuk kehidupan itu sendiri.

Bayangkan sejenak betapa luasnya implikasi dari pemahaman ini. Dari udara yang kita hirup, air yang kita minum, hingga perangkat elektronik yang kita gunakan sehari-hari—semuanya adalah manifestasi dari prinsip-prinsip keseimbangan atom dan molekul. Pemahaman ini tidak hanya penting bagi ilmuwan di laboratorium, tetapi juga memiliki dampak nyata pada kehidupan sehari-hari kita, mulai dari pengembangan obat-obatan baru hingga penciptaan material inovatif yang mengubah cara kita berinteraksi dengan dunia.

Dalam bab ini, kita akan menjelajahi definisi dan pentingnya keseimbangan atom dan molekul, serta menelusuri perjalanan sejarah yang telah membawa kita pada pemahaman mendalam saat ini. Kita akan melihat bagaimana ide-ide brilian para ilmuwan sepanjang sejarah telah membangun fondasi pengetahuan kita, dari teori atom Dalton yang sederhana namun revolusioner, hingga kompleksitas mekanika kuantum yang menantang intuisi kita.

Saat kita melangkah lebih jauh, Anda akan menemukan bahwa keseimbangan atom dan molekul bukan hanya tentang

stabilitas, tetapi juga tentang perubahan dan interaksi. Ini adalah kunci untuk memahami bagaimana materi berperilaku, bereaksi, dan berubah—proses-proses yang mendasari semua fenomena alam dan teknologi modern.

Bersiaplah untuk membuka pikiran Anda. Bab ini akan menjadi pintu gerbang Anda memasuki dunia mikroskopis yang menakjubkan, di mana hukum-hukum fisika dan kimia berperan dalam skala yang hampir tak terbayangkan kecilnya, namun dengan konsekuensi yang sangat besar bagi dunia kita.

Mari kita mulai perjalanan kita untuk memahami keseimbangan yang mendasari eksistensi segala sesuatu di alam semesta ini.

5.2 Pengantar Keseimbangan Atom dan Molekul

Keseimbangan atom mengacu pada stabilitas struktur atom, yang melibatkan distribusi seimbang dari proton, neutron, dan elektron. Menurut Zumdahl dan Zumdahl (2020), atom netral memiliki jumlah proton dan elektron yang sama. Keseimbangan ini penting untuk stabilitas atom dan menentukan sifat-sifat kimia elemen. Keseimbangan molekul berkaitan dengan stabilitas dan reaktivitas molekul, termasuk distribusi muatan dan geometri. Atkins et al. (2018) mendefinisikan keseimbangan molekul mencakup distribusi optimal dari elektron valensi antar atom dalam molekul, yang menentukan bentuk, polaritas, dan reaktivitas molekul.

Pentingnya pemahaman sifat materi keseimbangan atom dan molekul mendasari pemahaman kita tentang sifat-sifat materi. Seperti yang dinyatakan oleh Feynman et al. (2011) jika dalam suatu bencana, semua pengetahuan ilmiah hancur, dan hanya satu kalimat yang diwariskan ke generasi berikutnya, pernyataan apa yang akan memuat informasi paling banyak dalam kata-kata yang paling sedikit? Saya percaya itu adalah hipotesis atomik bahwa segala sesuatu terdiri dari atom. Selain itu, pemahaman tentang keseimbangan atom dan molekul sangat penting untuk menjelaskan reaksi kimia dan proses alam. Menurut Chang dan Goldsby (2016), keseimbangan kimia adalah kondisi di mana konsentrasi reaktan dan produk tetap konstan seiring waktu. Ini adalah konsep kunci

dalam memahami bagaimana reaksi kimia berlangsung dalam sistem alami dan industri. Dalam pengembangan material dan obat-obatan, keseimbangan atom dan molekul berperan penting dalam pengembangan material baru dan obat-obatan. Whitesides dan Deutch (2011) menyatakan bahwa pemahaman mendalam tentang struktur dan interaksi molekul telah memungkinkan desain rasional obat-obatan dan material dengan sifat-sifat yang diinginkan, revolusionisasi kedokteran dan teknologi material.

Konsep kesetimbangan atom dan molekul dalam teknologi modern merupakan salah satu hal yang sangat fundamental seperti nanoteknologi dan energi terbarukan. Menurut Drexler (1992), nanoteknologi, yang didasarkan pada manipulasi atom dan molekul individu, berpotensi mengubah hampir setiap aspek kehidupan kita, dari produksi energi hingga pengobatan penyakit. Disisi lain pemahaman dalam proses biologis terutama dalam biologi molekuler, keseimbangan atom dan molekul sangat penting untuk memahami proses-proses kehidupan. Alberts et al. (2015) menekankan bahwa kehidupan pada dasarnya adalah proses kimia. Untuk memahami bagaimana sel hidup bekerja, kita harus mengetahui tidak hanya struktur molekul-molekul biologis yang membentuknya, tetapi juga bagaimana molekul-molekul ini berinteraksi.

Pemahaman tentang keseimbangan atom dan molekul telah berkembang seiring waktu, dari konsep sederhana tentang atom yang tak terbagi hingga pemahaman kompleks tentang interaksi subatomik dan molekuler. Pengetahuan ini terus berkembang dan memiliki implikasi luas dalam berbagai bidang ilmu dan teknologi. Berikut adalah beberapa tonggak penting dalam sejarah ini:

1. Teori Atom Dalton (1808): John Dalton mengusulkan bahwa materi terdiri dari partikel-partikel kecil yang tidak dapat dibagi lagi, yang ia sebut atom. Ini menjadi dasar pemahaman modern tentang keseimbangan atom.
2. Penemuan Elektron (1897): J.J. Thomson menemukan elektron, menunjukkan bahwa atom memiliki struktur internal dan tidak tak terbagi.

3. Model Atom Rutherford (1911): Ernest Rutherford mengusulkan model atom dengan inti positif yang dikelilingi elektron, mengubah pemahaman tentang struktur atom.
4. Model Atom Bohr (1913): Niels Bohr mengembangkan model atom dengan elektron yang beredar di orbit tertentu, menjelaskan stabilitas atom dan spektrum emisi.
5. Mekanika Kuantum (1920-an): Pengembangan mekanika kuantum oleh ilmuwan seperti Schrödinger, Heisenberg, dan Born memberikan pemahaman mendalam tentang perilaku elektron dalam atom.
6. Penemuan Neutron (1932): James Chadwick menemukan neutron, melengkapi pemahaman kita tentang struktur inti atom.
7. Teori Ikatan Kimia (1930-an dan seterusnya): Perkembangan teori ikatan kimia, termasuk teori ikatan valensi dan teori orbital molekul, menjelaskan pembentukan dan sifat molekul.

Perkembangan historis ini menunjukkan bagaimana pemahaman kita tentang keseimbangan atom dan molekul telah berevolusi dari konsep sederhana atom yang tak terbagi menjadi model yang sangat kompleks dan canggih. Setiap penemuan baru membuka jalan bagi pemahaman yang lebih dalam tentang struktur dan perilaku materi pada tingkat atomik dan molekuler.

Pemahaman ini terus berkembang hingga saat ini, dengan penelitian terkini di bidang fisika kuantum, kimia komputasi, dan nanoteknologi yang terus memperluas batas-batas pengetahuan kita.

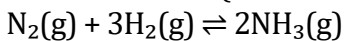
5.3 Konsep Dasar Keseimbangan Kimia

Keseimbangan kimia adalah konsep fundamental dalam kimia dan teknik kimia yang menggambarkan kondisi di mana laju reaksi maju sama dengan laju reaksi mundur dalam sistem tertutup. Ini menghasilkan keadaan dinamis di mana konsentrasi reaktan dan produk tetap konstan seiring waktu, meskipun reaksi terus berlangsung pada tingkat molekuler. Karakteristik keseimbangan kimia adalah sebagai berikut:

1. Keadaan Dinamis: Keseimbangan kimia bukan berarti reaksi berhenti, melainkan suatu keadaan di mana reaksi maju dan mundur terjadi secara simultan dengan laju yang sama. Seperti yang dinyatakan oleh Atkins dan de Paula (2018): Pada keseimbangan, reaksi mikroskopis terus berlangsung, tetapi tidak ada perubahan makroskopis yang dapat diamati.
2. Reversibilitas: Reaksi keseimbangan bersifat reversibel, artinya dapat berlangsung dalam dua arah.
3. Konstansi Konsentrasi: Pada keseimbangan, konsentrasi semua spesies tetap konstan seiring waktu.
4. Pengaruh Kondisi: Keseimbangan dapat dipengaruhi oleh perubahan kondisi seperti suhu, tekanan, atau konsentrasi.

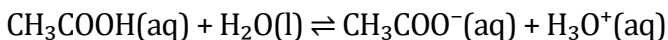
Mari kita tinjau beberapa contoh reaksi keseimbangan untuk memahami konsep ini lebih baik:

1. Sintesis Amonia (Proses Haber-Bosch)



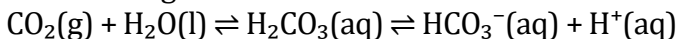
Reaksi ini adalah salah satu contoh paling terkenal dari keseimbangan kimia dalam industri. Nitrogen dan hidrogen bereaksi untuk membentuk amonia dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi dengan katalis besi. Fogler (2016) menjelaskan bahwa proses Haber-Bosch adalah contoh klasik bagaimana pemahaman tentang keseimbangan kimia dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses industri. Dengan memanipulasi suhu, tekanan, dan penggunaan katalis, yield amonia dapat ditingkatkan secara signifikan.

2. Disosiasi Asam Asetat dalam Air



Ini adalah contoh keseimbangan dalam larutan. Asam asetat terdisosiasi sebagian dalam air, menghasilkan keseimbangan antara molekul asam yang tidak terdisosiasi dan ion-ionnya.

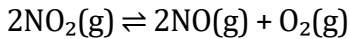
3. Keseimbangan Karbonat dalam Air



Ini adalah contoh keseimbangan multistap yang penting dalam sistem alami seperti lautan dan darah manusia. Chang dan Goldsby (2016) menekankan pentingnya keseimbangan ini. Keseimbangan karbonat memainkan peran krusial dalam

regulasi pH darah dan lautan, menunjukkan bagaimana prinsip-prinsip kesetimbangan kimia beroperasi dalam sistem biologis dan lingkungan.

4. Disosiasi Termal Nitrogen Dioksida



Reaksi ini menunjukkan kesetimbangan dalam fase gas yang sensitif terhadap perubahan suhu dan tekanan.

Kesetimbangan kimia dapat dicapai dari dua arah:

1. Dari arah reaktan: Ketika reaktan mulai bereaksi, laju reaksi maju awalnya tinggi dan kemudian menurun seiring waktu.
2. Dari arah produk: Jika kita mulai dengan produk, laju reaksi mundur awalnya tinggi dan kemudian menurun.

Levenspiel (1999) menggambarkan proses ini dengan pencapaian kesetimbangan dapat dilihat sebagai 'pertarungan' antara reaksi maju dan mundur. Seiring waktu, kedua laju ini menjadi sama, menghasilkan keadaan kesetimbangan dinamis.

Pemahaman mendalam tentang konsep dasar kesetimbangan kimia sangat penting dalam teknik kimia karena:

1. Optimasi Proses: Memungkinkan insinyur untuk memaksimalkan yield produk yang diinginkan.
2. Desain Reaktor: Membantu dalam merancang reaktor yang efisien untuk reaksi kesetimbangan.
3. Pengendalian Proses: Penting untuk mengontrol dan mempertahankan kondisi operasi yang optimal.
4. Analisis Keselamatan: Membantu dalam memahami potensi bahaya dari pergeseran kesetimbangan yang tidak diinginkan.

'Seader et al. (2011) menyimpulkan bahwa penguasaan konsep kesetimbangan kimia adalah keterampilan fundamental bagi setiap insinyur kimia. Ini memungkinkan mereka untuk merancang, mengoptimalkan, dan mengendalikan proses kimia dengan efektif dan aman. Crowl dan Louvar (2011) menekankan pentingnya Prinsip Le Chatelier dalam keselamatan proses: "Pemahaman tentang bagaimana sistem kesetimbangan merespons gangguan adalah kunci untuk mengantisipasi dan mencegah kondisi berbahaya dalam proses kimia.

5.4 Prinsip Le Chatelier

Prinsip Le Chatelier, yang dikemukakan oleh kimiawan Prancis Henry Louis Le Chatelier pada tahun 1884, adalah prinsip fundamental dalam memahami perilaku sistem kimia dalam kesetimbangan. Prinsip ini menyatakan bahwa "jika suatu sistem dalam kesetimbangan mengalami gangguan dari luar, sistem akan menyesuaikan diri untuk mengurangi efek gangguan tersebut dan mencapai kesetimbangan baru." Atkins dan de Paula (2018) menjelaskan: "Prinsip Le Chatelier memberikan panduan kualitatif tentang bagaimana sistem kesetimbangan akan merespons perubahan kondisi, memungkinkan kita untuk memprediksi arah pergeseran kesetimbangan."

Prinsip Le Chatelier berlaku untuk berbagai jenis gangguan pada sistem kesetimbangan, termasuk:

1. Perubahan konsentrasi
2. Perubahan tekanan atau volume (untuk sistem gas)
3. Perubahan suhu
4. Penambahan atau pengurangan katalis

Mari kita bahas masing-masing faktor ini secara detail dengan contoh reaksi.

1. Perubahan Konsentrasi

Ketika konsentrasi salah satu komponen dalam sistem kesetimbangan diubah, sistem akan bergeser untuk mengurangi perubahan tersebut.

Contoh: Kesetimbangan Pembentukan Amonia $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$

Jika konsentrasi N_2 ditingkatkan:

- Kesetimbangan akan bergeser ke kanan (ke arah produk) untuk mengonsumsi N_2 tambahan.
- Ini akan meningkatkan produksi NH_3 .

Fogler (2016) menekankan dalam sintesis amonia industri, peningkatan konsentrasi reaktan adalah salah satu strategi untuk meningkatkan yield produk.

2. Perubahan Tekanan atau Volume

Untuk reaksi yang melibatkan gas, perubahan tekanan atau volume dapat mempengaruhi kesetimbangan.

Contoh: Sintesis Metanol $\text{CO(g)} + 2\text{H}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH(g)}$

Jika tekanan sistem ditingkatkan (volume dikurangi):

- Kesetimbangan akan bergeser ke arah yang memiliki jumlah mol gas lebih sedikit (ke kanan dalam kasus ini).
- Ini akan meningkatkan produksi metanol.

Levenspiel (1999) menjelaskan bahwa dalam reaksi fase gas, perubahan tekanan dapat digunakan sebagai alat powerful untuk mengontrol arah kesetimbangan, terutama ketika ada perbedaan jumlah mol antara reaktan dan produk.

3. Perubahan Suhu

Perubahan suhu mempengaruhi konstanta kesetimbangan dan dapat menggeser kesetimbangan.

Contoh: Dekomposisi Nitrogen Dioksida $2\text{NO}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO(g)} + \text{O}_2\text{(g)}$ $\Delta H > 0$ (reaksi endotermik)

Jika suhu dinaikkan:

- Kesetimbangan akan bergeser ke arah yang mengkonsumsi panas (ke kanan untuk reaksi endotermik ini).
- Ini akan meningkatkan dekomposisi NO_2 .

Chang dan Goldsby (2016) menyatakan bahwa efek suhu pada kesetimbangan tergantung pada entalpi reaksi. Reaksi endotermik akan bergeser ke arah produk ketika suhu dinaikkan, sedangkan reaksi eksotermik akan bergeser ke arah reaktan.

4. Penambahan atau Pengurangan Katalis

Katalis tidak mengubah posisi kesetimbangan, tetapi mempercepat tercapainya kesetimbangan.

Contoh: Sintesis Asam Sulfat (Proses Kontak) $2\text{SO}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_3\text{(g)}$

Penambahan katalis V_2O_5 :

- Tidak mengubah komposisi kesetimbangan akhir.
- Mempercepat tercapainya kesetimbangan.

Seader et al. (2011) menjelaskan bahwa meskipun katalis tidak mengubah posisi kesetimbangan, perannya sangat penting dalam proses industri karena memungkinkan kesetimbangan dicapai dalam waktu yang praktis.

Prinsip Le Chatelier adalah alat yang powerful dalam memahami dan memprediksi perilaku sistem kimia dalam kesetimbangan. Dengan memahami prinsip ini, insinyur kimia dapat merancang dan mengoptimalkan proses dengan lebih efektif, meningkatkan efisiensi dan keselamatan operasi industri kimia.

5.5 Konstanta Kesetimbangan Kimia (K)

Konstanta kesetimbangan kimia (K) adalah parameter kuantitatif yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi produk dan reaktan pada keadaan kesetimbangan dalam suatu reaksi kimia. Konsep ini sangat penting dalam memahami bagaimana reaksi kimia berperilaku pada kondisi tertentu.

Untuk reaksi umum: $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

Konstanta kesetimbangan (K) didefinisikan sebagai:

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

Di mana:

- [A], [B], [C], dan [D] adalah konsentrasi molar dari masing-masing spesies pada keadaan kesetimbangan
- a, b, c, dan d adalah koefisien stoikiometri reaksi
- $K > 1$: Reaksi cenderung menghasilkan produk
- $K < 1$: Reaksi lebih cenderung ke arah reaktan
- $K = 1$: Konsentrasi reaktan dan produk seimbang

Faktor-faktor yang Mempengaruhi nilai K

1. Suhu

- Reaksi eksotermik: K menurun dengan kenaikan suhu
- Reaksi endotermik: K meningkat dengan kenaikan suhu

2. Tekanan

- Untuk reaksi gas, perubahan tekanan dapat mempengaruhi posisi kesetimbangan

- Peningkatan tekanan akan menggeser kesetimbangan ke arah jumlah mol gas yang lebih sedikit

3. Katalis

- Penambahan katalis tidak mempengaruhi nilai K
- Katalis mempercepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan

Metode Penelitian Konstanta Kesetimbangan dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya adalah sebagai berikut:

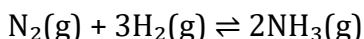
1. Eksperimen Laboratorium dengan mengukur konsentrasi reaktan dan produk pada berbagai kondisi untuk menentukan nilai K
2. Simulasi Komputer menggunakan perangkat lunak untuk memodelkan reaksi kimia dan memprediksi nilai K berdasarkan kondisi yang ditetapkan
3. Analisis Termodinamika menggunakan data termodinamika untuk menghitung K pada berbagai suhu

Aplikasi konstanta kesetimbangan sering digunakan dalam berbagai hal sebagai berikut:

1. Optimasi proses industri untuk membantu dalam menentukan kondisi optimal untuk reaksi kimia dalam skala industri
2. Prediksi hasil reaksi yang memungkinkan ilmuwan untuk memprediksi hasil reaksi pada kondisi tertentu
3. Analisis lingkungan membantu dalam memahami kesetimbangan kimia dalam sistem lingkungan, seperti kelarutan gas di perairan

Contoh Perhitungan penentuan konstanta kesetimbangan

1. Mari kita ambil contoh reaksi pembentukan ammonia



Misalkan pada kesetimbangan, konsentrasi masing-masing zat adalah:

$$[\text{N}_2] = 0,2 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2] = 0,1 \text{ M}$$

$$[\text{NH}_3] = 0,04 \text{ M}$$

Kita dapat menghitung konstanta kesetimbangan (K) sebagai berikut:

$$K = [\text{NH}_3]^2 / ([\text{N}_2] [\text{H}_2]^3)$$

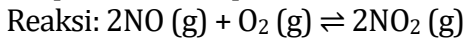
$$K = (0,04)^2 / (0,2 \times (0,1)^3)$$

$$K = 0,0016 / 0,0002$$

$$K = 8$$

Interpretasi: Nilai $K = 8$ menunjukkan bahwa pada kesetimbangan, konsentrasi produk (NH_3) lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi reaktan (N_2 dan H_2). Ini berarti reaksi cenderung bergeser ke arah produk pada kondisi kesetimbangan.

2. Kita akan menggunakan reaksi kesetimbangan pembentukan nitrogen dioksida (NO_2) dari nitrogen monoksida (NO) dan oksigen (O_2). Reaksi ini penting dalam kimia atmosfer dan berperan dalam pembentukan smog.



Untuk perhitungan, kita akan menggunakan konstanta kesetimbangan (K_c) pada suhu tertentu.

Misalkan kita memiliki data berikut:

- $K_c = 6,5$ pada suhu 300°C
- Konsentrasi awal: $[\text{NO}] = 0,1 \text{ M}$, $[\text{O}_2] = 0,05 \text{ M}$, $[\text{NO}_2] = 0 \text{ M}$

Langkah-langkah perhitungan:

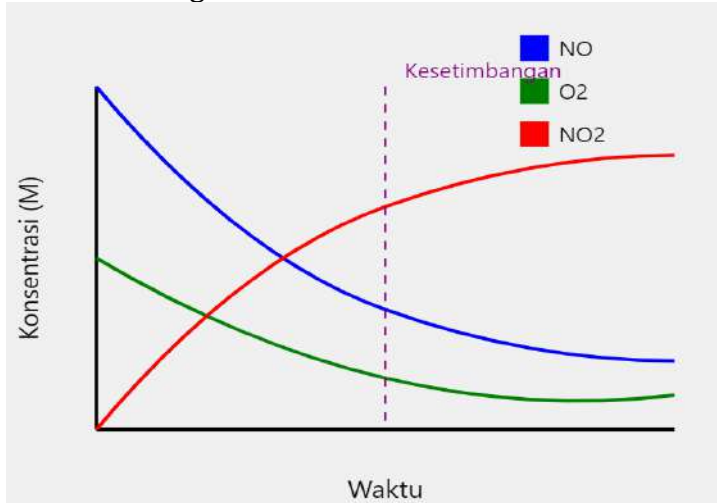
1. Tulis persamaan kesetimbangan: $K_c = [\text{NO}_2]^2 / ([\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2])$
2. Buat tabel perubahan konsentrasi:

	NO	O₂	NO₂
Awal	0,1	0,05	0
Perubahan	-2x	-x	+2x
Setimbang	0,1-2x	0,05-x	2x

3. Substitusi ke dalam persamaan
 $K_c : 6,5 = (2x)^2 / ((0,1-2x)^2 \cdot (0,05-x))$
4. Selesaikan persamaan untuk x (biasanya menggunakan metode numerik atau pendekatan): $x \approx 0,0204 \text{ M}$

5. Hitung konsentrasi pada kesetimbangan: $[\text{NO}] = 0,1 - 2(0,0204) = 0,0592 \text{ M}$ $[\text{O}_2] = 0,05 - 0,0204 = 0,0296 \text{ M}$ $[\text{NO}_2] = 2(0,0204) = 0,0408 \text{ M}$

Sekarang, mari kita visualisasikan proses ini dengan grafik.
Grafik Kesetimbangan Kimia NO_2



Penjelasan grafik:

1. Sumbu X menunjukkan waktu, sedangkan sumbu Y menunjukkan konsentrasi dalam molar (M).
2. Garis biru menunjukkan konsentrasi NO.
3. Garis hijau menunjukkan konsentrasi O_2 .
4. Garis merah menunjukkan konsentrasi NO_2 .
5. Garis putus-putus ungu menandai titik kesetimbangan.

Pada awal reaksi:

1. Konsentrasi NO tinggi (0,1 M).
2. Konsentrasi O_2 sedang (0,05 M).
3. Konsentrasi NO_2 nol.

Seiring berjalannya waktu:

- Konsentrasi NO dan O_2 menurun karena dikonsumsi dalam reaksi.
- Konsentrasi NO_2 meningkat karena dihasilkan oleh reaksi.

Pada kesetimbangan:

- Konsentrasi NO sekitar 0,0592 M.
- Konsentrasi O_2 sekitar 0,0296 M.

- Konsentrasi NO_2 sekitar 0,0408 M.
- Laju reaksi maju sama dengan laju reaksi mundur.
- Konsentrasi semua zat menjadi konstan.

Penting untuk dicatat bahwa meskipun grafik menunjukkan konsentrasi yang konstan pada kesetimbangan, reaksi tetap berlangsung pada tingkat mikroskopis. Ini adalah sifat dinamis dari kesetimbangan kimia.

5.6 Relevansi Keseimbangan Atom dan Molekul dalam Teknik Kimia

Keseimbangan atom dan molekul bukan hanya konsep teoritis, tetapi merupakan dasar fundamental dalam praktik Teknik Kimia modern. Pemahaman yang kuat tentang konsep ini memungkinkan insinyur kimia untuk merancang, mengoptimalkan, dan mengendalikan proses industri dengan lebih efektif, aman, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penguasaan konsep ini sangat penting bagi mahasiswa dan praktisi Teknik Kimia untuk sukses dalam karir mereka dan berkontribusi pada kemajuan industri kimia. Pemahaman mendalam tentang keseimbangan atom dan molekul memiliki relevansi yang sangat tinggi dalam bidang Teknik Kimia. Berikut adalah beberapa aspek kunci yang menunjukkan pentingnya konsep ini:

1. Dasar Pemahaman Proses Kimia

Keseimbangan atom dan molekul memberikan fondasi untuk memahami semua proses kimia. Dalam Teknik Kimia, ini berarti:

- a. Pemahaman reaksi kimia pada tingkat molekuler
- b. Prediksi produk reaksi dan yield
- c. Analisis mekanisme reaksi untuk optimasi proses

Contoh: Dalam industri petrokimia, pemahaman tentang struktur molekul hidrokarbon memungkinkan insinyur kimia untuk merancang proses cracking dan reforming yang efisien.

2. Optimasi Proses Industri

Konsep keseimbangan memungkinkan insinyur kimia untuk:

- a. Mengoptimalkan kondisi reaksi (suhu, tekanan, konsentrasi)
- b. Meningkatkan selektivitas reaksi
- c. Meminimalkan produk sampingan yang tidak diinginkan

Contoh: Dalam produksi amonia melalui proses Haber-Bosch, pemahaman tentang keseimbangan kimia memungkinkan optimasi kondisi reaksi untuk yield maksimum.

3. Desain Reaktor dan Peralatan

Keseimbangan atom dan molekul berperan penting dalam:

- a. Pemilihan jenis reaktor yang sesuai
- b. Perancangan sistem katalis
- c. Desain peralatan pemisahan (distilasi, ekstraksi, dll.)

Contoh: Dalam industri polimer, pemahaman tentang kinetika polimerisasi dan keseimbangan fase mempengaruhi desain reaktor dan sistem pendinginan.

4. Analisis dan Pengendalian Kualitas

Konsep ini mendukung:

- a. Pengembangan metode analisis kimia
- b. Pengendalian kualitas bahan baku dan produk
- c. Pemantauan proses secara real-time

Contoh: Dalam industri farmasi, analisis spektroskopi yang didasarkan pada interaksi atom dan molekul digunakan untuk kontrol kualitas obat.

5. Pengembangan Material Baru

Pemahaman tentang struktur dan interaksi molekul memungkinkan:

- a. Desain material dengan sifat spesifik
- b. Pengembangan katalis baru
- c. Inovasi dalam nanoteknologi

Contoh: Pengembangan membran selektif untuk pemurnian air didasarkan pada pemahaman tentang interaksi molekuler.

6. Keselamatan Proses dan Pengendalian Lingkungan

Konsep keseimbangan atom dan molekul penting untuk:

- a. Analisis risiko reaksi kimia

- b. Prediksi produk samping berbahaya
 - c. Pengembangan teknologi pengendalian polusi
- Contoh: Dalam industri kimia, pemahaman tentang dekomposisi termal senyawa organik penting untuk pencegahan kebakaran dan ledakan.

7. Efisiensi Energi dan Sustainability

Pemahaman ini membantu dalam:

- a. Optimasi penggunaan energi dalam proses kimia
- b. Pengembangan proses yang lebih ramah lingkungan
- c. Pemanfaatan sumber daya terbarukan

Contoh: Dalam biorefinery, pemahaman tentang struktur molekul biomassa membantu dalam pengembangan proses konversi yang efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). Garland Science.
- Atkins, P., de Paula, J., & Keeler, J. (2018). *Atkins' Physical Chemistry* (11th ed.). Oxford University Press.
- Bohr, N. (1913). On the Constitution of Atoms and Molecules. *Philosophical Magazine*, 26, 1-25.
- Chadwick, J. (1932). Possible Existence of a Neutron. *Nature*, 129, 312.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2016). *Chemistry* (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- Dalton, J. (1808). *A New System of Chemical Philosophy*. Manchester: R. Bickerstaff.
- Drexler, K. E. (1992). *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*. John Wiley & Sons.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). *The Feynman Lectures on Physics, Vol. I: The New Millennium Edition: Mainly Mechanics, Radiation, and Heat*. Basic Books.
- Fogler, H.S. (2016). *Elements of Chemical Reaction Engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Heisenberg, W. (1927). Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik*, 43(3-4), 172-198.
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering* (3rd ed.). Wiley.
- Rutherford, E. (1911). The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 21, 669-688.
- Schrödinger, E. (1926). An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. *Physical Review*, 28(6), 1049-1070.
- Seader, J.D., Henley, E.J., & Roper, D.K. (2011). *Separation Process Principles* (3rd ed.). Wiley.
- Thomson, J.J. (1897). Cathode Rays. *Philosophical Magazine*, 44, 293.
- Whitesides, G. M., & Deutch, J. (2011). Let's get practical. *Nature*, 469(7328), 21-22.
- Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2020). *Chemistry* (10th ed.). Cengage Learning.

BAB 6

COMBUSTION REACTION

Oleh Reno Fitriyanti

6.1 Pendahuluan

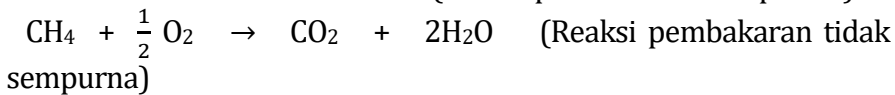
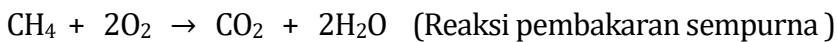
Reaksi pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan energi dan produk samping seperti gas buang. Reaksi pembakaran melibatkan oksidasi bahan bakar di mana atom-atom karbon (C) dan hidrogen (H) dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen (O_2) di udara untuk membentuk karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) (Mullinger and Jenkins, 2022). Reaksi pembakaran merupakan reaksi yang sangat eksotermik karena melepaskan panas dalam jumlah besar dan merupakan proses menghasilkan energi (Sun, 2024).

Bahan bakar bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan energi. Berdasarkan bentuknya bahan bakar dikelompokkan menjadi bahan bakar padat, cair dan gas. Bahan bakar padat yang digunakan untuk reaksi pembakaran berupa **biomassa** (kayu, sekam padi, limbah pertanian) dan senyawa karbon (batubara). Nilai kalor bahan bakar padat umumnya lebih rendah daripada bahan bakar cair sehingga untuk proses yang lebih efisien (memerlukan energi tinggi dalam volume kecil pembakaran) digunakan bahan bakar cair. Umumnya senyawa hidrokarbon (bensin, diesel) dan bahan bakar alternatif lainnya (bioetanol, biodiesel) digunakan sebagai bahan bakar cair. Bahan bakar gas seperti metana (CH_4), propana (C_3H_8), butana (C_3H_{10}), dan hidrogen merupakan pilihan populer karena efisiensi pembakaran dan rendahnya emisi yang dihasilkan (Thomas, 2015).

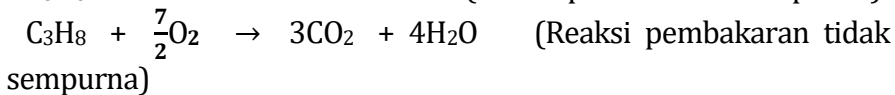
Oksidator yang digunakan dalam reaksi pembakaran adalah oksigen. Oksigen dari udara merupakan oksidator yang paling umum digunakan dalam reaksi pembakaran. Dalam proses pembakaran tertentu yang memerlukan efisiensi tinggi, oksidator yang digunakan adalah oksigen murni. Jumlah oksigen yang tersedia sangat mempengaruhi jenis pembakaran yang terjadi. Pembakaran

sempurna terjadi ketika bahan bakar dibakar dengan jumlah oksigen yang cukup dan menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) sebagai produk utama. Pembakaran sempurna menghasilkan panas yang maksimal dengan emisi yang lebih rendah. Sebaliknya, ketika oksigen yang tersedia tidak mencukupi maka terjadi pembakaran tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna menyebabkan terbentuknya produk samping seperti karbon monoksida (CO), partikel karbon (jelaga) dan menghasilkan lebih sedikit panas (Sabatini *et al.*, 2023). Pembakaran tidak sempurna umumnya menyebabkan polusi lebih tinggi dan lebih sedikit efisiensi energi. Penggunaan sistem pembakaran yang optimal dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan meminimalkan emisi yang dihasilkan.

Reaksi Pembakaran Metana:



Reaksi Pembakaran Propana



6.2 Azas Teknik Kimia dalam Reaksi Pembakaran

Dalam teknik kimia, pembakaran tidak hanya dipahami sebagai reaksi kimia sederhana, tetapi juga sebagai proses yang melibatkan perpindahan massa dan perpindahan panas. Reaksi pembakaran dapat dianalisis dan dioptimalkan menggunakan beberapa asas dan prinsip berikut:

1. Hukum Kekekalan Massa

Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa massa total reaktan harus sama dengan massa total produk dalam suatu reaksi kimia. Dalam konteks pembakaran, ini berarti bahwa massa bahan bakar dan oksigen yang masuk harus setara dengan massa produk pembakaran (CO₂, H₂O, dll.).

2. Hukum Kekekalan Energi

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya bisa diubah bentuknya. Dalam pembakaran, energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi panas dan energi kinetik (dalam mesin).

6.3 Aplikasi Reaksi Pembakaran

Reaksi pembakaran memainkan peran penting dalam banyak aplikasi teknik kimia dan industri, di antaranya:

1. Pembangkit Energi

Batubara, minyak bumi dan gas alam digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembangkit energi listrik. Bahan bakar dimasukkan ke dalam boiler atau ruang pembakaran untuk dibakar. Dalam proses pembakaran, bahan bakar bereaksi dengan oksigen dari udara dan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan dari reaksi pembakaran tersebut digunakan untuk memanaskan air hingga berubah menjadi uap bertekanan tinggi. Uap bertekanan tinggi selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin yang mengubah energi panas menjadi energi kinetik. Ketika turbin berputar, kumparan di dalam generator yang terhubung dengan turbin ikut bergerak. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana medan magnet yang berputar di sekitar kumparan kawat menyebabkan elektron mengalir dan menghasilkan arus listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian dialirkan melalui jaringan transmisi setelah dinaikkan tegangannya oleh transformator, dan didistribusikan ke pengguna (Balussou, 2023).

2. Industri Pengolahan

Reaksi pembakaran memainkan peran kunci dalam berbagai industri pengolahan. Secara umum, reaksi pembakaran di industri pengolahan tidak hanya menyediakan panas, tetapi juga sering berperan dalam memicu reaksi kimia dan menghasilkan bahan baku yang diperlukan dalam proses produksi. Dalam industri semen, reaksi pembakaran digunakan dalam tanur putar (rotary

kiln) untuk memanaskan campuran bahan baku, seperti batu kapur dan tanah liat, hingga suhu 1450°C. Suhu yang cukup tinggi dan berasal dari batubara atau gas alam tersebut digunakan dalam memicu reaksi kimia pada bahan baku untuk menghasilkan klinker sebagai komponen utama semen (Chatterjee, 2018).

Dalam industri peleburan logam, pembakaran juga digunakan untuk mencapai suhu yang sangat tinggi guna melelehkan bijih logam, seperti bijih besi atau tembaga. Proses ini membutuhkan panas untuk memisahkan logam dari pengotor (slag) dan mengubahnya menjadi bentuk cair sehingga dapat diolah lebih lanjut. Panas yang dibutuhkan untuk melebur logam dan menjaga suhu tungku tetap tinggi selama proses berlangsung berasal dari reaksi pembakaran. Selain itu, reaksi pembakaran gas alam juga digunakan untuk menghasilkan hidrogen melalui proses reformasi uap dalam proses produksi amonia. Panas dari pembakaran memungkinkan reaksi antara gas alam dan air untuk menghasilkan hidrogen, yang kemudian digunakan sebagai bahan baku dalam proses lanjutan produksi amonia.

Reaksi pembakaran juga digunakan secara luas dalam proses pengeringan di berbagai industri. Dalam proses ini, bahan bakar seperti gas alam, minyak, atau biomassa dibakar di dalam ruang pembakaran, menghasilkan panas yang digunakan untuk memanaskan udara. Udara panas kemudian dialirkan ke ruang pengering tempat sirkulasi bahan yang akan dikeringkan seperti produk pertanian, tekstil, atau material industri. Panas dari udara menyebabkan penguapan air dan mengurangi kadar air hingga tingkat yang diinginkan. Reaksi pembakaran yang digunakan secara tepat memungkinkan proses pengeringan berlangsung cepat dan efektif, meningkatkan kualitas serta umur simpan produk yang dihasilkan.

3. Transportasi

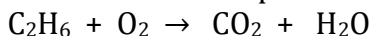
Reaksi pembakaran dalam mesin pembakaran dalam (internal combustion engines) adalah mekanisme utama yang memungkinkan kendaraan bermotor bergerak (Gupta, 2020).

Di dalam mesin pembakaran, bahan bakar fosil, seperti bensin atau diesel, dicampur dengan udara di dalam silinder mesin dan kemudian dibakar melalui percikan busi (pada mesin bensin) atau melalui kompresi tinggi (pada mesin diesel). Proses ini menghasilkan ledakan kecil yang menyebabkan gas hasil pembakaran memuai dengan cepat dan menghasilkan tekanan tinggi yang mendorong piston ke bawah. Gerakan piston kemudian dikonversi menjadi energi mekanik yang dibutuhkan untuk menjalankan kendaraan. Pembakaran yang efisien menghasilkan tenaga maksimal dengan emisi yang minimal, namun pembakaran yang tidak sempurna dapat menyebabkan polusi udara dan penurunan efisiensi bahan bakar. Teknologi modern terus dikembangkan untuk mengoptimalkan efisiensi pembakaran dan mengurangi dampak lingkungan.

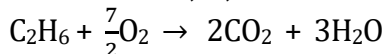
6.4 Persamaan Stoikiometri Reaksi Pembakaran

Stoikiometri reaksi pembakaran digunakan untuk menentukan jumlah relatif bahan bakar, oksigen, dan produk reaksi. Berikut adalah langkah-langkah untuk menyusun persamaan reaksi pembakaran:

1. Tuliskan reaksi umum contoh pembakaran etana



2. Setarakan jumlah atom C, H, dan O :



3. Setelah menulis persamaan reaksi, hitung jumlah mol bahan bakar dan oksigen yang diperlukan menggunakan koefisien reaksi.

Misal: pembakaran etana memerlukan 2 mol O_2 untuk setiap 1 mol C_2H_6 yang bereaksi.

4. Faktor konversi dapat digunakan untuk menghitung massa atau volume bahan bakar dan oksigen berdasarkan mol yang telah ditentukan.

Contoh :

Hitunglah jumlah oksigen yang diperlukan untuk membakar 1 kg metana (CH_4).

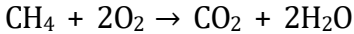
Penyelesaian:

Diketahui : massa metana 1 kg = 1000 g

Ditanya : tentukan jumlah oksigen yang diperlukan

Jawab :

1, Tuliskan persamaan reaksi dan setarakan jumlah atom:



2. Hitung mol CH_4 (BM $\text{CH}_4 = 16 \text{ g/mol}$):

$$\text{Mol CH}_4 = \frac{1000 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 62,5 \text{ mol}$$

Berdasarkan persamaan reaksi, 1 mol CH_4 memerlukan 2 mol Oksigen (BM $\text{O}_2 = 32 \text{ g/mol}$)/

Sehingga: Mol O_2 yang diperlukan adalah $= 62,5 \times 2 = 125 \text{ mol}$

$$\text{Massa O}_2 = 125 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} = 4000 \text{ g} = 4 \text{ kg}$$

Latihan

1. Tulislah reaksi:

- pembakaran sempurna heptana, C_7H_{16} .
- pembakaran tidak sempurna heptana, C_7H_{16} .
- hitung oksigen yang diperlukan untuk membakar 10 mol C_7H_{16} .

2. Tulislah reaksi:

- pembakaran sempurna asetilena, C_2H_2 .
- pembakaran tidak sempurna asetilena, C_2H_2 .
- hitung oksigen yang diperlukan untuk membakar 100 mol C_2H_2 .

3. Tulislah reaksi:

- pembakaran sempurna benzena, C_6H_6 .
- pembakaran tidak sempurna benzena, C_6H_6 .
- hitung oksigen yang diperlukan untuk membakar 2 mol C_6H_6 .

6.5 Komponen Gas dalam Campuran Udara

Untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi, konsep basis kering (*dry basis*) dan basah (*wet basis*) dalam analisis udara dan produk gas dari reaksi pembakaran adalah hal yang penting untuk dipahami. Dalam desain dan operasi sistem pembakaran, pengetahuan ini dapat membantu dalam merencanakan kondisi

optimal untuk pembakaran yang lebih efisien dan efektif. Dalam konteks reaksi pembakaran, istilah dry basis dan wet basis merujuk pada cara pengukuran dan perhitungan komponen gas dalam campuran udara, khususnya terkait dengan kelembapan. Uap air memerlukan energi untuk diubah menjadi gas sehingga dapat mengurangi efisiensi pembakaran dan mempengaruhi energi yang dihasilkan. Selain itu, saat menghitung emisi dari proses pembakaran juga penting untuk mengetahui apakah data yang digunakan adalah dry basis atau wet basis. Hal ini karena kandungan uap air dalam gas buang dapat memengaruhi konsentrasi polutan yang dihasilkan (Mukhopadhyay and Sen, 2019).

Dry Basis mengacu pada pengukuran konsentrasi gas dalam campuran udara tanpa memperhitungkan kelembapan. Dalam basis kering, semua komponen gas (seperti oksigen, nitrogen, dan produk pembakaran) diukur berdasarkan jumlah gas kering yang ada.

Komposisi udara kering (komposisi molar) terdiri dari:

Nitrogen (N ₂)	78,03%
Oksigen (O ₂)	20,99%
Argon (Ar)	0,94%
Karbon Dioksida (CO ₂)	0,03%
Gas lain: neon, helium, metana, dan gas lainnya	<u>0.01%</u> +
	100%

Berat Molekul (BM) = 29

Dalam perhitungan umumnya komposisi udara kering diasumsikan terdiri dari 79% N₂ dan 21% O₂.

Wet Basis mengacu pada pengukuran konsentrasi gas yang mencakup kelembapan. Dalam basis basah, jumlah total gas termasuk uap air yang berasal dari kelembapan udara dan produk pembakaran. Komposisi udara basah adalah udara kering ditambah dengan uap air (H₂O) yang persentasenya bervariasi tergantung pada suhu dan kelembapan relatif (berkisar antara 0% hingga sekitar 5% pada kondisi atmosferik normal).

Contoh

1. Wet basis ----dry basis

Stack gas mengandung 65% nitrogen, 15% karbon dioksida, 12 % oksigen dan sisanya air. Hitunglah komposisi molar gas berdasarkan berat kering (dry basis).

Penyelesaian:

Untuk menghitung komposisi molar gas berdasarkan berat kering dari suatu gas yang mengandung uap air, maka kandungan uap air diabaikan dari perhitungan komposisi.

Berikut adalah langkah-langkah untuk menyelesaikan soal tersebut:

Diketahui

Basis : 100 mol wet gas

Nitrogen (N_2) 65% mol

Karbon Dioksida (CO_2) 15% mol

Oksigen (O_2) 12% mol

Uap Air (H_2O) $100\% - (65\% + 15\% + 12\%) = 8\%$ mol

Ditanya : Tentukan persentase komponen kering?

Jawab :

Komponen uap air diabaikan untuk mendapatkan komposisi berdasarkan berat kering sehingga :

Total komposisi stack gas tanpa uap air = $65\% + 15\% + 12\% = 92\%$

Maka Komposisi Kering menjadi:

a. Komposisi kering $N_2 = \frac{65\%}{92\%} \times 100\% = 70,65\%$

b. Komposisi kering $CO_2 = \frac{15\%}{92\%} \times 100\% = 16,30\%$

c. Komposisi kering $O_2 = \frac{12\%}{92\%} \times 100\% = 13,04\%$

2. Dry basis --- wet basis

Hasil analisis stack gas menunjukkan komposisi basis kering mengandung 64% mol nitrogen, 14% karbon dioksida, karbon monoksida 12% dan oksigen 10%. Pengukuran kelembaban menunjukkan bahwa fraksi mol air dalam stack gas adalah 0.10. hitunglah komposisi molar gas berdasarkan berat basah.

Penyelesaian:

Untuk menghitung komposisi molar gas berdasarkan berat basah maka fraksi mol air dimasukkan ke dalam perhitungan.

Diketahui

Basis : 100 mol dry gas

Nitrogen (N_2) 64 mol

Karbon Dioksida (CO_2) 14 mol

Karbon Dioksida (CO_2): 12 mol

Oksigen (O_2) 10 mol

Fraksi mol air (H_2O) 100% - (10% dari dari stack gas = 10 mol

Ditanya : Hitunglah komposisi molar gas berdasarkan berat basah.

Jawab :

1. Hitung Total Fraksi Gas Kering:

Total fraksi mol gas kering tanpa air:

Total kering = 64 mol + 14 mol + 12 mol + 10 mol = 100 mol

Total fraksi mol gas (termasuk air):

Total basah = 100 mol + 10 mol = 110 mol

2. Hitung Komposisi Molar Gas Berdasarkan Berat Basah:

$$\text{Komposisi } N_2 = \frac{64\%}{110\%} \times 100\% = 58,18\%$$

$$\text{Komposisi } CO_2 = \frac{14\%}{110\%} \times 100\% = 12,72\%$$

$$\text{Komposisi } CO = \frac{12\%}{110\%} \times 100\% = 10,92\%$$

$$\text{Komposisi } O_2 = \frac{10\%}{110\%} \times 100\% = 9,09\%$$

$$\text{Komposisi } H_2O = \frac{12\%}{110\%} \times 100\% = 9,09\%$$

Sehingga komposisi molar gas berdasarkan berat basah yaitu 58,18% Nitrogen (N_2), 12,72% Karbon Dioksida (CO_2), 10,92% Karbon Monoksida (CO), 9,09% Oksigen (O_2) dan 9,09% Uap Air (H_2O).

Latihan

1. Hitunglah komposisi molar berdasarkan wet basis dan dry basis dari gas yang mengandung 10 mol H_2 , 10 mol O_2 dan 20 mol H_2O .
2. Flue gas mengandung 8% mol H_2O . Hitunglah :

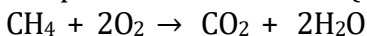
- kmol flue gas/kmol H₂O
- kmol dry flue gas/kmol flue gas
- kmol H₂O/kmol dry flue gas

6.6 Theoretical Air (Udara Teori) dan Excess Air (Udara Excees)

Theoretical Air dan Excess Air adalah konsep yang penting dalam pembakaran dan proses pembakaran bahan bakar (Prasad, 2022). Memahami konsep theoretical dan excess air sangat penting untuk mencapai efisiensi pembakaran yang optimal dan membantu dalam merancang dan mengoperasikan sistem pembakaran yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan menggunakan excess air, diharapkan emisi gas berbahaya dapat dikurangi, meskipun terlalu banyak excess air juga dapat menyebabkan kehilangan panas dan efisiensi rendah. *Theoretical Oxygen* adalah jumlah minimum oksigen yang diperlukan untuk membakar semua bahan bakar secara sempurna. Dalam kondisi ini, semua bahan bakar akan teroksidasi sepenuhnya, dan tidak ada bahan bakar yang tersisa. *Theoretical air* adalah jumlah udara yang mengandung theoretical oxygen.

Contoh:

Misalkan reaksi pembakaran metana (CH₄) dengan oksigen (O₂):



Dalam reaksi ini, 1 mol metana memerlukan 2 mol oksigen. Theoretical oxygen dihitung berdasarkan rasio stoikiometri reaksi.

Excess air adalah jumlah udara yang lebih dari jumlah theoretical air yang diperlukan untuk membakar bahan bakar. Penggunaan excess air sering dilakukan untuk memastikan bahwa pembakaran berlangsung lebih lengkap dan untuk mengurangi emisi bahan bakar yang tidak terbakar.

Persen excess air di hitung dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ excess air} = \frac{(\text{mol udara}) \text{ feed} - (\text{mol udara}) \text{ theoretical}}{(\text{mole udara}) \text{ theoretical}} \times 100\%$$

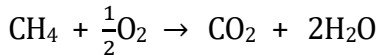
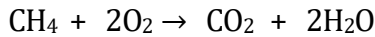
Contoh:

Pembakaran 1 mol metana berdasarkan rasio stoikiometri reaksi diperlukan diperlukan 2 mol oksigen (theoretical air). Jika oksigen yang ditambahkan maka 1 mol kelebihan oksigen disebut sebagai excess air.

$$\begin{aligned}\% \text{ excess air} &= \frac{(\text{mol udara}) \text{ feed} - (\text{mol udara}) \text{ theoretical}}{(\text{mole udara}) \text{ theoretical}} \times 100\% \\ &= \frac{3 \text{ mol} - 2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \times 100\% = \\ &= 50\%\end{aligned}$$

Latihan

Metana dibakar dalam reaksi :



Sebanyak 100 mol/jam metana dialirkan ke dalam reaktor
Hitunglah:

1. Berapa theoretical oxygen yang dialirkan ke dalam reaktor agar reaksi pembakaran berjalan sempurna?
2. Berapa theoretical oxygen yang dialirkan ke dalam reaktor dengan asumsi hanya 80% metana yang bereaksi?
3. Jika 80% excess air dimasukkan ke reaktor, berapa laju alir udara yang mengalir ke reaktor?
4. Jika 300 mol/jam oksigen masuk ke reaktor, maka berapa persen excess udaranya?

6.7 Neraca Massa Pada Reaktor Pembakaran

Prosedur untuk menyelesaikan perhitungan neraca massa pada reaksi pembakaran memerlukan pemahaman terhadap sistem dan analisis sistem. Metode yang sistematis dalam identifikasi reaktan, produk serta stoikiometri reaksi digunakan dalam menyelesaikan reaksi pembakaran (Felder *et al.*, 2016). Berikut adalah prosedur umum perhitungan neraca massa pada reaksi pembakaran:

1. Definisikan Sistem yang Dianalisis

Definisikan sistem yang dianalisis dengan mendefinisikan sistem pembakaran dan jenis pembakaran. Analisis sistem dilakukan dengan :

- a. Menentukan batas sistem (boundary) yang akan dianalisis yaitu unit operasi berupa ruang pembakaran atau reaktor.
- b. Mengidentifikasi apakah pembakaran terjadi secara sempurna atau tidak sempurna.

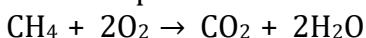
2. Identifikasi Komponen-Komponen Massa

Tentukan komponen reaktan dan produk yang akan dianalisis dalam sistem.

- a. Reaktan: Tentukan jenis dan jumlah bahan bakar yang terbakar (misalnya metana, propana, atau bensin) dan sumber oksigen (biasanya udara, yang mengandung 21% O_2 dan 79% N_2).
- b. Produk Pembakaran: Pada pembakaran sempurna, produk yang dihasilkan biasanya karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O). Selain itu, nitrogen (N_2) dari udara yang masuk tanpa bereaksi dan keluar sebagai bagian dari gas buang. Pada pembakaran tidak sempurna, CO, H_2 dan karbon padat ikut dihasilkan.

3. Tuliskan Persamaan Reaksi Kimia

Buat persamaan reaksi yang mewakili proses pembakaran. Contoh untuk pembakaran metana:



Untuk sistem steady-state: Tidak ada akumulasi massa, sehingga total massa yang masuk harus sama dengan massa yang keluar.

4. Hitung Aliran Massa (Jika Diperlukan)

Jika informasi mengenai laju aliran massa tidak tersedia langsung, gunakan data densitas, laju aliran volumetrik, atau fraksi massa untuk menghitung aliran massa

$$m = \rho \times V$$

di mana:

m adalah laju aliran massa (kg/s),

ρ adalah densitas (kg/m^3), dan

V adalah laju aliran volumetrik (m^3/s).

Massa dapat juga dihitung menggunakan persamaan :

$$m = mol \times Ar/Mr$$

di mana:

m adalah laju aliran massa (g/s),

Ar /Mr adalah berat atom . molekul relatif (g/mol)

5. Gunakan Koefisien Stoikiometri

Gunakan koefisien stoikiometri dari persamaan reaksi untuk menghitung jumlah reaktan dan produk.

6. Perhitungkan Massa Udara yang diperlukan

Untuk pembakaran sempurna, hitung total oksigen yang dibutuhkan, lalu hitung jumlah udara yang diperlukan dengan menggunakan proporsi oksigen dalam udara (21%)

$$massa\ udara = \frac{massa\ O_2}{0,21}$$

7. Hitunglah Massa Produk Pembakaran

Setelah menentukan jumlah reaktan, persamaan stoikiometri digunakan untuk menghitung massa produk pembakaran. Lakukan Neraca Massa untuk Semua Komponen. Setelah menghitung massa reaktan dan produk, selanjutnya pastikan bahwa massa masing-masing komponen (misalnya, C, H, O, N) seimbang antara reaktan dan produk serta pastikan massa total yang masuk ke dalam sistem sama dengan massa total yang keluar dari sistem.

Massa total reaktan = Massa total produk

8. Verifikasi dan Validasi Hasil

Setelah perhitungan selesai selanjutnya lakukan verifikasi dan pastikan neraca massa terpenuhi. Jika ada penyimpangan maka periksa kembali data dan asumsi yang digunakan.

Contoh

Hitung massa udara yang dibutuhkan dan massa produk pembakaran yang dihasilkan dari pembakaran 15 kg propana (C_3H_8) per jam. Pembakaran berlangsung sempurna dengan udara.

Penyelesaian

Langkah-Langkah Penyelesaian

1. Definisikan Sistem yang Dianalisis

Sistem yang dianalisis adalah reaktor pembakaran.

Pembakaran bersifat sempurna (propana sepenuhnya terbakar menjadi CO_2 dan H_2O)

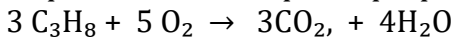
2. Identifikasi Komponen-Komponen Massa

Reaktan: Propana (C_3H_8) dan udara (O_2 dan N_2).

Produk : CO_2 , uap air (H_2O), dan N_2 yang tidak bereaksi.

3. Tuliskan Persamaan Reaksi Pembakaran

Reaksi pembakaran sempurna propana adalah:



Dari persamaan reaksi ini, terlihat bahwa setiap 1 mol propana membutuhkan 5 mol oksigen.

4. Hitung jumlah reaktan yang dibutuhkan

Massa molar propana (C_3H_8): 44 g/mol

$$\text{Mol propana yang dibakar} = \frac{15000 \text{ g/jam}}{44 \text{ g/mol}} = 340,91 \text{ mol/jam}$$

$$\text{Mol O}_2 \text{ yang dibutuhkan} = 5 \times 340,91 = 1.704,55 \text{ mol/jam}$$

5. Hitung Massa Udara yang Dibutuhkan

- Udara mengandung 21% O_2 dan 79% N_2 .

- Mol udara yang dibutuhkan = $\frac{1.704,55}{0,21} = 8.116,43 \text{ mol/jam}$

- Massa molar udara: $(0,21 \times 32) + (0,79 \times 28) = 28,84 \text{ g/mol}$

- Massa udara = $8,116,43 \times 28,84 = 234,034,47 \text{ g/jam}$

6. Hitung Massa Produk Pembakaran

- Massa CO_2

3 mol CO_2 terbentuk per mol C_3H_8 .

$$3 \times 340,91 = 1,022,73 \text{ mol/jam}$$

$$1,022,73 \times 44 = 45,000,12 \text{ g/jam} = 45 \text{ kg/jam}$$

- Massa H_2O

4 mol H_2O terbentuk per mol C_3H_8 .

$$4 \times 340,91 = 1,363,64 \text{ mol/jam}$$

$$1,363,64 \times 18 = 24,545,45 \text{ g/jam} = 24,55 \text{ kg/jam}$$

- Massa N_2 :

Mol N_2 yang masuk dengan udara:

$$0,79 \times 8,116,43 = 6,411,98 \text{ mol/jam}$$

$$6,411,98 \times 28 = 179,535,34 \text{ g/jam} = 179,54 \text{ kg/jam}$$

7. Lakukan Neraca Massa untuk Semua Komponen

- Total massa masuk:

$$\text{Massa C}_3\text{H}_8 = 15 \text{ kg/jam}$$

Massa udara = 234.03 kg/jam

Total massa masuk: $15 + 234.03 = 249.03$ kg/jam

- Total massa keluar:

Massa CO_2 = 45 kg/jam

Massa H_2O = 24.55 kg/jam

Massa N_2 = 179.54 kg/jam

Total massa keluar: $45 + 24.55 + 179.54 = 249.09$ kg/jam

8. Verifikasi dan Validasi Hasil

Terdapat sedikit perbedaan kecil dalam total massa karena pembulatan, namun neraca massa secara keseluruhan terpenuhi.

Latihan

1. Hitunglah berapa massa CO_2 yang terbentuk pada pembakaran sempurna 10 kg CH_4 dalam udara.
2. Berapa massa udara yang diperlukan dan berapa massa produk pembakaran yang dihasilkan jika 8 kg etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) terbakar sempurna per jam?
3. Metana (CH_4) dibakar sempurna dengan udara kering yang mengandung 21% oksigen (O_2) dan 79% nitrogen (N_2) secara volumetrik. Aliran metana sebesar 10 kg/jam digunakan. Hitunglah:
 - a. Berapa banyak udara yang dibutuhkan (dalam kg/jam) untuk pembakaran sempurna.
 - b. Berapa banyak gas hasil pembakaran yang dihasilkan (dalam kg/jam).

6.8 Perhitungan Energi Pembakaran

Energi pembakaran adalah energi yang dihasilkan dari reaksi antara bahan bakar dan oksigen. Perhitungan energi pembakaran membutuhkan pemahaman tentang nilai kalor bahan bakar, entalpi pembakaran, dan persamaan reaksi kimia (Felder *et al.*, 2016). Dengan menggunakan konsep-konsep ini maka dapat menentukan jumlah energi yang dilepaskan selama pembakaran dan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi pembakaran.

1. Nilai Kalor (Kalor Pembakaran)

Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan saat satu satuan massa atau volume bahan bakar terbakar sepenuhnya. Nilai kalor ini dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

- Nilai Kalor Tinggi (HHV - *Higher Heating Value*): Jumlah energi yang dilepaskan selama pembakaran, termasuk energi yang tersimpan dalam uap air yang dihasilkan dari pembakaran
- Nilai Kalor Rendah (LHV - *Lower Heating Value*): Energi yang dilepaskan selama pembakaran tanpa memperhitungkan energi yang tersimpan dalam uap air.

Satuan Nilai Kalor: Joule per gram (J/g), British Thermal Unit (BTU) dan kilokalori per kilogram (kcal/kg)

Rumus Umum untuk Menghitung Nilai Kalor:

$$\text{Energi} = \text{Nilai Kalor} \times \text{Massa Bahan Bakar}$$

Contoh

Jika sebuah bahan bakar memiliki nilai kalor sebesar 35 MJ/kg dan massa bahan bakar yang digunakan adalah 5 kg, maka energi yang dihasilkan adalah:

$$E = 35 \times 5 = 175 \text{ MJ}$$

2. Entalpi Pembakaran

Energi yang dilepaskan dari reaksi pembakaran dapat dihitung menggunakan nilai kalor atau entalpi pembakaran. Rumus umumnya adalah:

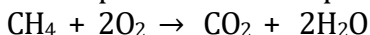
$$\Delta H_c = \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}}$$

Di mana:

- ΔH_c adalah perubahan entalpi ketika satu mol bahan bakar terbakar sempurna dalam keadaan standar (25°C, 1 atm).
- Energi pembakaran biasanya diberikan dalam satuan kJ/mol.

Contoh

Reaksi pembakaran sempurna metana (CH₄):



Nilai entalpi pembentukan (ΔH_f°) dalam kJ/mol adalah sebagai berikut:

- $\Delta H^{\circ}_f \text{CO}_2 = -393.5 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H^{\circ}_f \text{H}_2\text{O} = -241.8 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H^{\circ}_f \text{CH}_4 = -74.8 \text{ kJ/mol}$

Maka entalpi pembakaran untuk metana adalah:

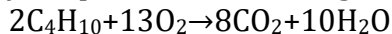
$$\Delta H_c = [(-393.5) + 2(-241.8)] - (-74.8)$$

$$\Delta H_c = (-393.5 - 483.6 + 74.8) \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_c = -802.3 \text{ kJ/mol}$$

3. Langkah-langkah Perhitungan Energi Pembakaran

- Langkah pertama adalah menentukan jenis bahan bakar yang akan dianalisis, misalnya menggunakan butana sebagai bahan bakar.
- Tuliskan persamaan reaksi pembakaran untuk butana dan setarakan koefisien reaksi. Untuk butana, reaksi pembakarannya dapat dituliskan sebagai:



Persamaan tersebut menunjukkan bahwa dua mol butana bereaksi dengan 13 mol oksigen untuk menghasilkan 8 mol karbon dioksida dan 10 mol air.

- Kumpulkan Data Entalpi

Selanjutnya, cari data entalpi pembentukan (ΔH_f) untuk semua senyawa yang terlibat dalam reaksi, baik reaktan maupun produk. Data ini biasanya tersedia dalam tabel. Contoh nilai entalpi pembentukan pada 25°C adalah:

- $\Delta H_f (\text{C}_4\text{H}_{10}, \text{butana}) = -125.6 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f (\text{CO}_2) = -393.5 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f (\text{H}_2\text{O}) = -241.8 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f (\text{O}_2) = 0 \text{ kJ/mol}$ (karena elemen dalam keadaan standar)

- Hitung perubahan entalpi untuk reaksi pembakaran menggunakan rumus berikut:

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \sum (\Delta H_f \text{ produk}) - \sum (\Delta H_f \text{ reaktan})$$

Untuk pembakaran butana maka,

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaksi}} &= [8 \times (-393.5) + 10 \times (-241.8)] - [2 \times (-125.6) + 13 \times 0] \\ &= 5314.8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Energi Pembakaran per Massa Bahan Bakar

Energi pembakaran per gram bahan bakar dihitung dengan cara (Mr C_4H_{10} = 58 g/mol) :

$$E_{\text{pembakaran}} = \frac{-5314,8 \text{ kJ}}{2 \text{ mol}} \times 58 \text{ g/mol} = -45,8 \text{ kJ/g}$$

Maka, energi pembakaran per gram butana adalah sekitar 45.8 kJ/g.

Jika 1 kg butana bereaksi maka akan menghasilkan energi sebesar:

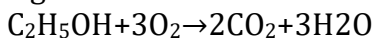
$$E_{\text{total}} = 1000\text{g} \times 45.8\text{kJ/g} = 45800\text{kJ}$$

5. Verifikasi dan Validasi Terakhir

Pastikan semua satuan konsisten daneriksa juga langkah-langkah sebelumnya untuk memastikan tidak ada kesalahan dalam perhitungan.

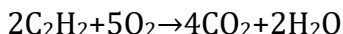
Latihan:

1. Diketahui reaksi pembakaran sempurna etanol (C_2H_5OH) sebagai berikut:



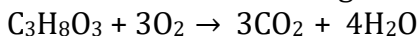
Entalpi pembentukan etanol, karbon dioksida, dan air berturut-turut adalah -277.4 kJ/mol, -393.5 kJ/mol, dan -241.8 kJ/mol. Hitunglah energi pembakaran per mol etanol.

2. Asetilena (C_2H_2) terbakar dalam oksigen menghasilkan karbon dioksida dan air, seperti yang ditunjukkan dalam reaksi berikut:



Data entalpi pembentukan asetilena adalah 226.0 kJ/mol. Hitung energi pembakaran untuk 1 mol asetilena.

3. Gliserol ($C_3H_8O_3$) terbakar sempurna menjadi karbon dioksida dan air sesuai dengan reaksi:



Entalpi pembentukan gliserol adalah -728.0 kJ/mol, sedangkan entalpi pembentukan CO_2 dan H_2O berturut-turut adalah -393.5 kJ/mol dan -241.8 kJ/mol. Hitunglah energi pembakaran per mol gliserol.

6.9 Tantangan dan Isu Lingkungan

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi yang dapat menyebabkan polusi udara dan perubahan iklim, seperti karbon dioksida (CO_2), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_2), dan partikel halus (PM). Teknik kimia modern berusaha mengurangi dampak ini melalui:

1. Kontrol Emisi dengan menggunakan teknologi untuk mengurangi emisi gas berbahaya, seperti scrubbers, catalytic converters, dan teknologi pembakaran bersih.
2. Meningkatkan efisiensi pembakaran untuk mengurangi penggunaan bahan bakar dan emisi. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi pembakaran meliputi kandungan karbon, hidrogen, dan pengotor dalam bahan bakar, rasio udara dan bahan bakar serta teknologi pembakaran yang digunakan.
3. Menggunakan bahan bakar alternatif yang lebih bersih dan terbarukan seperti hidrogen dan biofuel.

DAFTAR PUSTAKA

- Balussou, D. (2023) *An analysis of current and future electricity production from biogas in Germany*. KIT Scientific Publishing Available at: https://books.google.co.id/books?id=zx_AEAAAQBAJ.
- Chatterjee, A.K. (2018) *Cement Production Technology: Principles and Practice*. CRC Press. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=fpXYDwAAQBAJ>.
- Felder, R.M. et al. (2016) *Elementary Principles of Chemical Processes*. Wiley. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=gHApvgAACAAJ>.
- Gupta, S.K. (2020) *A Textbook of Automobile Engineering*. S. Chand Limited. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=b3HmDwAAQBAJ>.
- Mukhopadhyay, A. and Sen, S. (2019) *Fundamentals of Combustion Engineering*. CRC Press. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=3pCKDwAAQBAJ>.
- Mullinger, P. and Jenkins, B. (2022) *Industrial and Process Furnaces: Principles, Design and Operation*. Elsevier Science. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=cGVkEAAAQBAJ>.
- Prasad, R.A.M. (2022) *CHEMICAL PROCESS CALCULATIONS*. PHI Learning Pvt. Ltd. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=tzxrEAAAQBAJ>.
- Sabatini, R. et al. (2023) *Sustainable Aviation Technology and Operations: Research and Innovation Perspectives*. Wiley (Aerospace Series). Available at: https://books.google.co.id/books?id=G0_TEAAAQBAJ.
- Sun, L. (2024) *Heat Transfer Enhancement in Chemical Processes*. Elsevier Science. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=tXAJEQAAQBAJ>.
- Thomas, C.E. (2015) *Sustainable Transportation Options for the 21st Century and Beyond: A Comprehensive Comparison of Alternatives to the Internal Combustion Engine*. Springer International Publishing. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=mtYjCgAAQBAJ>.

BIODATA PENULIS



Muhrinsyah Fatimura

Dosen tetap di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas PGRI Palembang

Penulis yang lahir pada 1 Juni 1975 di Palembang ini kini berprofesi sebagai dosen tetap di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang. Beliau menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya pada tahun 1999, dan melanjutkan studi S2 di Jurusan Teknik Kimia BKU Teknologi Petrokimia di universitas yang sama, yang diselesaikannya pada tahun 2012. Saat ini, penulis sedang menempuh pendidikan S3 di bidang Ilmu Teknik pada Jurusan Teknik Kimia BKU Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Selain itu, beliau juga menjabat sebagai chief editor di jurnal Redoks.

BIODATA PENULIS



Fath Dwisari, S.Si., M.Si

Chemistry Lecturer

Politeknik 'Aisyiyah Pontianak, West Kalimantan

Fath Dwisari adalah seorang staf pengajar di Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik 'Aisyiyah Pontianak, Indonesia yang telah menyelesaikan pendidikan jenjang sarjana di Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia dan jenjang magister di Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia dengan konsentrasi ilmu kimia. Area penelitian yang diminati adalah dibidang kimia organik, analisis kimia air dan makanan serta toksikologi klinik.

ORCID ID <https://orcid.org/0009-0003-5001-3299>

Google Scholar:

<https://scholar.google.com/citations?hl=id&user=z2mMGGgAAAAJ>

SINTA ID : [6795483](#)

BIODATA PENULIS



apt Dewi Gulya Hari, M. Farm Dosen Program Studi Farmasi
Fakultas MIPA dan Kesehatan Universitas Muhammadiyah Riau

Penulis lahir di Padang pada tanggal 12 Juni 1975. Saat ini penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Farmasi Fakultas MIPA dan Kesehatan Universitas Muhammadiyah Riau. Menyelesaikan pendidikan S1 pada fakultas farmasi UNAND Padang (1999), pendidikan profesi apoteker (2000) dan S2 farmasi juga diselesaikan di UNAND Padang (2016).

BIODATA PENULIS



**Isran Asnawi, S.Si., M.T.
Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik Industri Logam Morowali**

Penulis lahir di Bulukumba, Sulawesi Selatan, tanggal 9 Januari 1991. Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali. Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Muslim Indonesia. Pada tahun 2018, penulis mulai berkarir sebagai dosen di Politeknik ATI yang kemudian menjadi dosen tetap di Politeknik Industri Logam Morowali hingga saat ini. Penulis menekuni beberapa rumpun bidang ilmu kimia, seperti kimia analisis, teknik kimia, kimia lingkungan, dan mikrobiologi. Penulis juga aktif sebagai ketua Satuan Penjamin Mutu Internal di perguruan tinggi saat ini.

BIODATA PENULIS



Ismail Astar, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi, Universitas Panca Bhakti

Ismail Astar lahir di Parit Pangeran 16 Juni 1986. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada tahun 2011 dan S2 pada tahun 2017 di Universitas Tanjungpura Pontianak pada bidang Studi Kimia dengan fokus kajian katalis dalam pembuatan dan produksi biodiesel. Aktivitas saat ini menjadi tenaga pengajar pada bidang Kimia dan Kimia Fisika Tanah Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Panca Bhakti Pontianak.

Buku yang pernah diterbitkan oleh penulis seperti Katalis biodiesel : pengenalan dan aplikasi produksi biodiesel (2022), Sejarah dan perkembangan metode pembuatan biodiesel (2021) dan Pupuk dan Pemupukan (2024). Penulis juga aktif menulis dalam jurnal ilmiah internasional dan nasional terutama yang berkaitan dengan bidang biodiesel dan katalis biodiesel diantaranya Tin-Empty Palm Bunch Ash Impregnated Zeolite as Suitable Catalyst for Simultaneous Transesterification-Esterification Reaction of Palm Oil (2019); Reaction Of Transesterification-Esterification Of Palm Oil Simultans With Zeolit Immediated Sn And PEFB (2018); Bifunctional heterogeneous catalysts from oil palm empty fruit bunches ash and alum for biodiesel synthesis simultaneously (2017); Synthesis and characterization of Sn/zeolite and catalytic activity test in the esterification reaction of sludge oil (2017);

Enkapsulasi Urea Menggunakan Biokomposit Zeolit Alam-Alginat-Pati Sagu sebagai Model Pupuk Lepas Lambat (Slow Release Fertilizer) (2022), Enkapsulasi Urea Pada Lumpur PDAM-Alginat sebagai Pupuk Lepas Lambat (2022) dan lain-lain.

Selain aktif menulis dalam jurnal, Penulis juga aktif dalam kegiatan kampanye green energi biodiesel seperti Trans Borneo Biodiesel Expedition (Pontianak Indonesia-Kucing Malaysia-Brunei Darussalam) tahun 2010 yang diikuti oleh perwakilan Indonesia dan malaysia, dan Trans Java-Bali Biodiesel Expedition (Banten-Bali) 2012 yang diikuti oleh perwakilan Indonesia, Malaysia dan Vietnam dengan melakukan road show kendaraan berbahan bakar biodiesel. Korespondensi bisa dilakukan melalui alamat email: ismailastar@gmail.com, atau bisa melalui Facebook Ismail doank dan twitter @ismail_astar.

BIODATA PENULIS



Ir. Reno Fitriyanti, S.T., M.Si., CIIQA

Dosen Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas PGRI Palembang

Penulis lahir di Palembang tanggal 19 Agustus 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas PGRI Palembang. Penulis merupakan alumni Program Studi Teknik Kimia (Strata 1) Universitas Sriwijaya dan Program Studi Pengelolaan Lingkungan (Strata 2) Universitas Sriwijaya. Saat ini penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Doktor pada Program Studi Ilmu Teknik BKU Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.