

KIMIA KLINIK DARAH

**Dito Anurogo
Bobby Pambudi
Meti Kusmiati
Korry Novitriani
Rianti Nurpalah
Riana Retno Widiastuty
Grace P I Lumentut
Arshy Prodyanatasari
Marsino O. R. O. Rondo**



GETPRESS INDONESIA

KIMIA KLINIK DARAH

Penulis : Dito Anurogo

Bobby Pambudi

Meti Kusmiati

Korry Novitriani

Rianti Nurpalah

Riana Retno Widiastuty

Grace P I Lumentut

Arshy Prodyanatasari

Marsino O. R. O. Rondo

ISBN :

Editor : Dr. Oktavinis, M.Biomed.

Penyunting: Dr. Neila Sulung, N.S., S.Pd. , M.Kes.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan Judul Kimia Klinik Darah dapat diselesaikan dengan baik atas kerjasama tim penulis. Buku ini dibuat untuk mahasiswa Kesehatan yang mempelajari terkait Kimia Klinik Darah. Buku ini bertujuan untuk memahami pengantar kimia klinik darah, karbohidrat, lipid, protein, gangguan fungsi ginjal, pembentukan batu ginjal, gagal jantung, elektrolit, analisa gas darah.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, November 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENGANTAR KIMIA KLINIK DARAH	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Komponen Utama Darah	3
1.3 Analisis Biokimia pada Darah	7
1.4 Teknologi dan Metodologi di Kimia Klinik Darah.....	29
1.5. Interpretasi Hasil dan Klinisnya.....	70
1.6 Studi Kasus: Aplikasi Kimia Klinik dalam Diagnosa Penyakit.....	73
1.7 Konklusi.....	77
DAFTAR PUSTAKA	79
BAB 2 KARBOHIDRAT	83
2.1 Pendahuluan.....	83
2.2 Jenis-Jenis Karbohidrat	84
2.3 Fungsi Karbohidrat.....	92
2.4 Metabolisme Karbohidrat.....	93
2.5 Hubungan Klinis Karbohidrat pada Manusia.....	97
DAFTAR PUSTAKA	100
BAB 3 LIPID	101
3.1 Pendahuluan.....	101
3.2 Klasifikasi Lipid.....	102
3.3 Asam Lemak.....	104
3.4 Trigliserida.....	109
3.5 Kolesterol.....	111
3.6 Fosfolipid	114
3.7 Lipoprotein	116
DAFTAR PUSTAKA	122
BAB 4 PROTEIN	125
4.1 Pendahuluan.....	125
4.2 Protein dalam Darah	126
DAFTAR PUSTAKA	138
BAB 5 GANGGUAN FUNGSI GINJAL	141
5.1 Anatomi Ginjal	141
5.2 Fungsi Ginjal	144

5.3 Macam-macam Gangguan Fungsi Ginjal	145
5.4 Pemeriksaan Laboratorium Gangguan Fungsi Ginjal.....	150
DAFTAR PUSTAKA.....	155
BAB 6 PEMBENTUKAN BATU GINJAL.....	159
6.1 Pendahuluan.....	159
6.2 Epidemiologi	163
6.3 Anatomi ginjal dan ureter	164
6.4 Definisi	166
6.5 Etiologi.....	166
6.6 Faktor Risiko	167
6.7 Komponen batu ginjal	170
6.8 Patofisiologi batu ginjal	170
6.9 Gejala klinis.....	180
6.10 Diagnosis.....	180
6.11 Terapi.....	183
DAFTAR PUSTAKA.....	188
BAB 7 GAGAL JANTUNG	191
7.1 Pendahuluan Gagal Jantung	191
7.2 Epidemiologi dan Prevalensi Gagal Jantung.....	194
7.3 Diagnosis dan Penanganan Gagal Jantung	197
DAFTAR PUSTAKA.....	205
BAB 8 ELEKTROLIT	207
8.1 Pendahuluan.....	207
8.2 Komposisi dan Regulasi Cairan dan Elektrolit Tubuh	208
8.3 Prinsip Perpindahan Cairan dan Elektrolit Tubuh.....	212
8.4 Kebutuhan Cairan dan Elektrolit Tubuh.....	214
8.5 Peran Cairan dan Elektrolit bagi Tubuh serta Manifestasi Klinis Bagi Tubuh	216
8.6 Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kebutuhan Cairan dan Elektrolit.....	219
8.7 Gangguan dan Dampak dari Kekurangan Cairan dan Elektrolit.....	226
DAFTAR PUSTAKA.....	229
BAB 9 ANALISA GAS DARAH	231
9.1 Pendahuluan.....	231
9.2 Keseimbangan Asam Basa	231
9.3 Analisa Gas Darah.....	232
9.4 Interpretasi Analisa Gas Darah.....	234
9.5 Klasifikasi Gangguan Asam Basa.....	235

9.6 Pengambilan Analisa Gas Darah.....239

DAFTAR PUSTAKA242

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Monosakarida	85
Gambar 2.2. Struktur Disakarida	86
Gambar 2.3. Struktur Rafinosa	87
Gambar 2.4. Struktur Amilosa dan Amilopektin.....	88
Gambar 2.5. Struktur Dekstrin	89
Gambar 2.6. Struktur Glikogen.....	90
Gambar 2.7. Struktur Selulosa.....	90
Gambar 2.8. Struktur Glikosaminoglikan.....	91
Gambar 2.9. Struktur Asam Sialat	91
Gambar 2.10. Jalur Katabolisme dari Karbohidrat, Protein, dan Lemak	95
Gambar 2.11. Metabolisme Karbohidrat.....	96
Gambar 3.1. Struktur Lipid dan Penggolongannya.....	103
Gambar 3.1. (a) Struktur Asam Lemak Jenuh; (b) Struktur Asam Lemak Tidak Jenuh (Monoenolat; (c) Lipid Bilayer yang Terdiri dari Asam Lemak Jenuh; (d) Lipid Bilayer yang Terdiri dari Campuran Asam Lemak Jenuh dan Tidak Jenuh.....	109
Gambar 3.2. Gugus Trigliserida	110
Gambar 3.3. Struktur Kolesterol	122
Gambar 3.4. Struktur Kimia Fosfolipid.....	115
Gambar 3.5. Bentuk Molekul Lipoprotein	116
Gambar 3.6. Jenis Lipoprotein Berdasarkan Densitas	118
Gambar 4.1. Klasifikasi protein berdasarkan struktur molekul	126
Gambar 4.2. Kelompok Heme pada mioglobin. (a). Ikatan atom besi dengan molekul protoporfirin. (b). Interaksi pengikatan O ₂ dalam mioglobin	127
Gambar 4.3. Struktur Hemoglobin (kode PDB 1HGA). subunit β berwarna biru dan subunit α berwarna abu-abu. Inti Fe berbentuk bulat jingga dan rangka <i>protoporphyrin</i> berwarna merah	130
Gambar 5.1. Letak Ginjal dalam Rongga Peritoneal	142

Gambar 5.2. Ginjal dan Nefron	143
Gambar 6.1 Anatomi struktur internal ginjal dan perjalanan	165
Gambar 6.2 . Diameter ureter dengan area penyempitan	165
Gambar 6.3 Gambaran umum patofisiologi terbentuknya batu.....	171
Gambar 6.4 calcium oxalat dihidrat dan monohidrat	173
Gambar 6.5 calcium phospat.....	174
Gambar 6.6. Batu asam urat	176
Gambar 6.7. Patofisiologi batu ginjal akibat gangguan genetik.....	178
Gambar 6.8 Tatalaksana batu nefrolitiasis akut.....	184
Gambar 7.1 Algoritma Diagnosis Gagal Jantung.....	201
Gambar 8.1. Komposisi Cairan Tubuh.....	208
Gambar 8.2. Distribusi elektrolit pada masing-masing kompartemen	210
Gambar 9.1. Diagram Interpretasi Analisa Gas Darah	235
Gambar 9.2. Allen Tes	241

DAFTAR TABEL

Tabel. 3.1. Asam lemak Jenuh.....	105
Tabel 3.2. Asam lemak Tidak Jenuh.....	107
Tabel 3.3. Komposisi lipoprotein dalam plasma manusia	118
Tabel 4.1 Kadar Hemoglobin.....	131
Tabel 6.1 Batu saluran kemih berdasarkan etiologi	167
Tabel 6.2 Faktor risiko tinggi pembentukan batu.....	168
Tabel 6.3 Komposisi batu ginjal.....	170
Tabel 6.4. Patofisiologi nefrolitiasis oleh karena kondisi abnormal	179
Tabel 6.5. Pemeriksaan urin tampung 24 jam untuk prediksi batu ginjal.....	183
Tabel 7.1 Klasifikasi <i>New York Heart Association</i> (NYHA).....	193
Tabel 7.2 Gejala dan tanda gagal jantung.....	196
Tabel 7.3 Penyebab peningkatan konsentrasi natriuretik peptides	198
Tabel 8.1. Komposisi Cairan dan Elektrolit Tubuh.....	210
Tabel 8.2. Komposisi at non elektrolit di dalam plasma darah	212
Tabel 8.3. Ion-ion yang dibutuhkan, jumlah kebutuhan, sumber ion, dan kebutuhan yang dianjurkan bagi tubuh.....	214
Tabel 8.4. Fungsi Metabolik dan Manifestasi Klinis Elektrolit.	216
Tabel 8.5. Komposisi cairan berdasarkan usia.....	221
Tabel 8.6. Perkiraan kebutuhan cairan tubuh berdasarkan usia	221
Tabel 8.7. Total Kebutuhan dan Pengeluaran Cairan dan Elektrolit pada keadaan normal dan beraktivitas.....	222
Tabel 8.8. Besar Insensible water loss (IWL) Berdasarkan Usia	223
Tabel 8.9. Standar Volume Urin Normal	224
Tabel 8.10. Kehilangan Cairan dan Elektrolit melalui Kulit dan Paru-Paru	225
Tabel 9.1 Interpretasi Analisa Gas Darah.....	234

BAB I

PENGANTAR KIMIA KLINIK DARAH

Oleh Dito Anurogo

Darah merupakan salah satu komponen vital dalam tubuh manusia yang memiliki berbagai fungsi penting. Kompleksitas komponen darah dan interaksinya memainkan peran kunci dalam kesehatan dan fungsi tubuh. Pemahaman terhadap darah dan komponennya, terutama dari perspektif kimia klinik, memberikan wawasan mendalam bagi profesional medis dalam mendiagnosis, merawat, dan mencegah berbagai kondisi kesehatan.

1.1 Pendahuluan

1.1.1 Definisi Kimia Klinik

Kimia Klinik merupakan bidang ilmu yang fokus pada analisis biokimia dari spesimen klinis (contoh: darah, urin) untuk tujuan diagnosis dan terapi. Ini membantu dalam identifikasi dan kuantifikasi substansi kimia, enzim (protein yang mempercepat reaksi kimia), dan molekul lain yang relevan dengan penyakit atau kondisi kesehatan.

1.1.2 Peran Kimia Klinik dalam Diagnostik Medis

Kimia Klinik adalah salah satu pilar diagnostik medis. Melalui analisis sampel tubuh, ilmu ini memungkinkan deteksi dini berbagai penyakit, memantau perkembangan kondisi pasien,

serta menilai efektivitas pengobatan. Metode analitis yang digunakan dalam Kimia Klinik, seperti spektrofotometri (metode untuk mengukur jumlah cahaya yang diserap oleh suatu sampel) dan elektroforesis (teknik yang digunakan untuk memisahkan molekul berdasarkan ukuran dan muatan), menyediakan data penting untuk keputusan klinis.

1.1.3 Spesifikasi Kimia Klinik Darah dan Aplikasinya

Darah, sebagai salah satu sampel klinis utama, berisi informasi mengenai sebagian besar proses metabolisme tubuh. Analisis kimia klinik darah dapat mengungkapkan ketidakseimbangan elektrolit (seperti natrium, kalium), fungsi organ vital (seperti hati, ginjal), dan banyak parameter lain yang mencerminkan kesehatan seseorang. Oleh karena itu, Kimia Klinik Darah memiliki peran sentral dalam banyak aspek medis, dari skrining kesehatan rutin hingga manajemen pasien kritis.

1.1.4 Sejarah perkembangan Kimia Klinik Darah

Sejak zaman kuno, manusia telah tertarik pada studi tentang darah. Dari metode sederhana seperti observasi visual hingga teknik canggih berbasis teknologi tinggi saat ini, Kimia Klinik Darah telah melalui transformasi monumental. Kemajuan teknologi, penemuan biomedis, dan integrasi ilmu biokimia dengan neurosains (ilmu yang mempelajari sistem saraf) telah memperluas horizon kita dalam memahami darah dan fungsinya.

1.1.5 Signifikansi Kimia Klinik Darah dalam kedokteran

Dalam era medis yang semakin canggih, pemahaman mendalam tentang Kimia Klinik Darah menjadi esensial. Tidak hanya sebagai alat diagnostik, tetapi juga sebagai jembatan antara penelitian dasar dan aplikasi klinis. Dengan pemahaman ini, kita dapat mendekati era baru dalam kedokteran yang lebih

personal, prediktif, dan preventif, di mana intervensi medis dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik setiap individu.

Saat kita melangkah menuju masa depan, integrasi Kimia Klinik Darah dengan bidang lain seperti genetika, farmakologi, dan data science akan membuka peluang baru dalam diagnostik dan perawatan medis yang lebih tepat dan efisien.

1.2 Komponen Utama Darah

Darah merupakan sebuah likuid khusus yang mengalir melalui seluruh tubuh, mengangkut nutrien, oksigen, dan limbah. Namun, apa yang membuat darah menjadi begitu unik adalah sel-sel spesifik yang ada di dalamnya, yaitu eritrosit, leukosit, dan trombosit. Ketiga jenis sel ini memiliki fungsi yang sangat berbeda, namun semuanya sama pentingnya untuk kesehatan tubuh kita.

1.2.1 Sel-sel Darah

1. Eritrosit (sel darah merah)

Eritrosit, lebih dikenal sebagai sel darah merah, adalah sel yang paling banyak dalam sirkulasi darah. Fungsi utama eritrosit adalah mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh dan membawa karbondioksida, limbah metabolik (produk dari reaksi kimia dalam tubuh), kembali ke paru-paru untuk dikeluarkan.

Struktur eritrosit yang bikonkaf memungkinkan fleksibilitas saat melintasi pembuluh darah kecil, kapiler. Selain itu, ketiadaan inti memungkinkan kapasitas maksimal untuk mengisi hemoglobin, protein kompleks yang mengandung zat besi.

Metabolisme eritrosit bergantung pada glikolisis anaerobik (proses pemecahan glukosa tanpa oksigen) untuk energi. Hemoglobin, komponen penting di dalam eritrosit, terdiri dari empat subunit protein yang masing-masing memiliki molekul heme (bagian dari hemoglobin yang mengikat oksigen). Ini memberi eritrosit kemampuan untuk mengangkut oksigen dengan efisien.

2. Leukosit (sel darah putih)

Leukosit, atau sel darah putih, adalah komponen pertahanan tubuh terhadap infeksi. Ada lima jenis leukosit: neutrofil, limfosit, monosit, eosinofil, dan basofil. Masing-masing memiliki peran khusus dalam respons imun.

Neutrofil berfungsi dalam fagositosis (proses 'mengonsumsi' mikroorganisme atau partikel asing) dan adalah yang pertama kali merespon infeksi bakteri. Limfosit, yang terdiri dari limfosit B dan T, berperan penting dalam respons imun adaptif, mengenali patogen spesifik dan merespon dengan memproduksi antibodi. Monosit berubah menjadi makrofag ketika masuk ke jaringan dan membantu dalam fagositosis. Eosinofil berperan dalam respons terhadap parasit dan alergi, sementara basofil memproduksi histamin (zat kimia yang dilepaskan saat reaksi alergi) dan heparin (antikoagulan alami).

3. Trombosit (platelet)

Trombosit, atau platelet, adalah fragmen sel yang berperan penting dalam proses pembekuan darah. Saat cedera terjadi dan pembuluh darah rusak, trombosit mengaktifasi dan mengumpul di situs cedera, membentuk "tutup" untuk mencegah kehilangan darah lebih lanjut. Proses pembentukan trombosit, dikenal sebagai trombopoiesis, terjadi di sumsum tulang merah di bawah pengaruh dari hormon trombopoietin.

Dengan pemahaman mendalam tentang ketiga komponen seluler ini, kita dapat lebih memahami mekanisme penyakit yang berkaitan dengan darah dan bagaimana teknologi dan penelitian masa depan dapat membantu dalam mengatasi tantangan diagnostik dan terapeutik di medan ini.

1.2.2 Plasma Darah

Plasma darah adalah komponen cair dari darah yang mengandung sel-sel darah. Ini berfungsi sebagai medium untuk mengangkut sel, protein, dan berbagai molekul lainnya di seluruh tubuh, memungkinkan pertukaran nutrisi, limbah, dan gas antara darah dan jaringan tubuh.

1. Fungsi

Sebagai komponen cair utama darah, plasma memiliki peran penting dalam homeostasis (penyeimbangan internal tubuh). Ia membantu dalam mengatur tekanan dan volume darah, mengangkut zat-zat terlarut, dan juga berfungsi sebagai mekanisme pertahanan melalui protein-protein tertentu seperti antibodi (protein yang dapat mengenali dan menetralkan mikroorganisme atau zat asing).

2. Komposisi

Komponen-komponen plasma sangat bervariasi dan memiliki fungsi yang spesifik:

- **Air:** Mencakup sekitar 90% dari volume plasma, air berfungsi sebagai pelarut dan medium pengangkut untuk sel-sel darah dan molekul lainnya, memungkinkan mereka bergerak melalui sistem sirkulasi.
- **Elektrolit:** Ini termasuk ion-ion seperti natrium (Na), kalium (K), klorida (Cl), kalsium (Ca), dan lainnya. Elektrolit membantu dalam menjaga potensial listrik di

seluruh sel tubuh dan juga dalam menjaga keseimbangan pH darah.

- Protein plasma: Ini mencakup albumin, globulin, dan fibrinogen.

Albumin berfungsi dalam mengatur tekanan onkotik (tekanan yang dihasilkan oleh protein dalam plasma) dan mengangkut zat-zat tertentu seperti hormon dan obat-obatan.

Globulin terdiri dari tiga jenis: alpha, beta, dan gamma. Globulin alpha dan beta memiliki fungsi transportasi, sedangkan gamma globulin terutama terdiri dari antibodi yang berperan dalam sistem kekebalan tubuh.

Fibrinogen adalah protein pembekuan yang berfungsi dalam proses pembentukan bekuan darah.

- Nutrien, gas, limbah metabolik: Plasma juga mengangkut nutrien seperti glukosa, asam amino, dan lipid, serta gas seperti oksigen dan karbondioksida. Sementara limbah metabolik (produk sisa dari proses metabolisme di dalam sel) seperti urea dan asam urat dikeluarkan dari tubuh melalui ginjal dan sistem ekskresi lainnya.

Dengan menggabungkan pemahaman tentang komposisi dan fungsi plasma darah, para ilmuwan dan peneliti terus menerus mengeksplorasi peranannya dalam penyakit-penyakit tertentu dan bagaimana hal ini dapat diintervensi untuk hasil kesehatan yang lebih baik. Seiring kemajuan teknologi medis, pemahaman kita tentang plasma dan potensi terapeutiknya terus berkembang, membuka peluang bagi pendekatan pengobatan yang inovatif dan personalisasi.

1.3 Analisis Biokimia pada Darah

Analisis biokimia darah merupakan salah satu instrumen diagnostik medis yang paling sering digunakan. Proses ini mengukur kandungan berbagai zat kimia di dalam plasma darah, yang dapat memberikan informasi penting tentang kesehatan dan fungsi berbagai organ tubuh.

1.3.1 Parameter Rutin

1. Hitung jenis sel darah: Pemeriksaan ini memberikan gambaran tentang jumlah dan rasio sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), dan trombosit (platelet) dalam sampel darah. Pemeriksaan ini dapat membantu dalam mendiagnosis kondisi seperti anemia (kekurangan sel darah merah), leukositosis (peningkatan jumlah sel darah putih), atau trombositopenia (penurunan jumlah trombosit).
2. Hemoglobin dan hematokrit:
 - Hemoglobin (protein yang mengandung besi di dalam sel darah merah yang mengangkut oksigen) - Tingkat hemoglobin yang rendah dapat menunjukkan anemia atau kehilangan darah.
 - Hematokrit (persentase volume sel darah merah terhadap volume total darah) - Peningkatan atau penurunan hematokrit dapat menunjukkan berbagai kondisi, termasuk dehidrasi atau kelebihan cairan.
3. Gula darah: Gula darah atau glukosa adalah sumber energi utama tubuh. Kadar glukosa yang tidak terkontrol bisa menjadi tanda diabetes melitus. Tingkat glukosa darah puasa dan glukosa darah pascamakan dapat memberikan gambaran tentang bagaimana tubuh mengatur glukosa.

4. Fungsi ginjal:

- Urea (limbah nitrogen yang dihasilkan dari metabolisme protein) - Tingkat urea yang tinggi dapat mengindikasikan gangguan fungsi ginjal.
- Kreatinin (limbah yang dihasilkan dari metabolisme kreatin, senyawa yang ditemukan di otot) - Seperti urea, kreatinin yang tinggi juga dapat menunjukkan gangguan fungsi ginjal.

5. Fungsi hati:

- SGOT (Serum Glutamic-Oxaloacetic Transaminase) dan SGPT (Serum Glutamic-Pyruvic Transaminase): Enzim ini biasanya ditemukan di dalam sel hati. Kadar yang meningkat di dalam darah dapat menunjukkan kerusakan hati.
- Bilirubin (pigmen yang dihasilkan dari pemecahan hemoglobin).
Bilirubin yang tinggi dapat mengindikasikan gangguan fungsi hati atau penyumbatan saluran empedu.

Analisis biokimia darah mencakup berbagai tes lainnya yang tidak disebutkan di sini. Setiap tes memberikan informasi penting tentang kesehatan pasien. Dalam kedokteran masa depan, pengetahuan yang mendalam tentang biokimia dan teknologi canggih akan memungkinkan deteksi dini penyakit dan intervensi yang lebih tepat, mengarah pada perawatan yang lebih personal dan efektif.

1.3.2 Analisis Elektrolit

Elektrolit adalah mineral dalam tubuh yang memiliki muatan listrik, yang dikenal sebagai ion. Fungsi mereka sangat penting untuk menjalankan berbagai proses biologis, termasuk menjaga keseimbangan cairan, transmisi impuls saraf, dan fungsi

otot. Analisis elektrolit sering dilakukan untuk mengevaluasi keseimbangan elektrolit pasien, yang bisa terpengaruh oleh berbagai kondisi klinis atau penggunaan obat tertentu.

1. Natrium (Na)

Natrium adalah kation utama (ion positif) dalam cairan ekstraseluler tubuh. Ia berperan penting dalam menjaga keseimbangan cairan dan elektrolit, serta berpartisipasi dalam transmisi impuls saraf. Ketidakseimbangan natrium, seperti hiponatremia (kadar natrium rendah) atau hipernatremia (kadar natrium tinggi), bisa memicu berbagai komplikasi, termasuk gangguan otak dan jantung.

2. Kalium (K)

Kalium adalah kation utama di cairan intraseluler dan memainkan peran krusial dalam fungsi otot, termasuk otot jantung. Hipokalemia (kadar kalium yang rendah) dan hiperkalemia (kadar kalium yang tinggi) adalah kondisi yang bisa mengancam jiwa karena efeknya terhadap jantung.

3. Kalsium (Ca)

Selain perannya dalam pembentukan tulang dan gigi, kalsium juga penting untuk koagulasi darah (pembekuan) dan transmisi impuls saraf. Hipokalsemia (kadar kalsium rendah) dan hiperkalsemia (kadar kalsium tinggi) dapat mempengaruhi fungsi otot dan saraf.

4. Magnesium (Mg)

Magnesium berperan dalam lebih dari 300 reaksi enzimatik (proses yang dipercepat oleh enzim) dalam tubuh, termasuk produksi energi dan sintesis DNA dan protein. Hipomagnesemia (kadar magnesium rendah) dapat menyebabkan gangguan irama jantung, sementara

hipermagnesemia (kadar magnesium tinggi) bisa menghambat fungsi saraf dan otot.

5. Klorida (Cl)

Sebagai anion utama (ion negatif) di cairan ekstraseluler, klorida bekerja bersama dengan natrium untuk menjaga keseimbangan cairan dan pH darah. Ketidakseimbangan klorida, baik rendah maupun tinggi, dapat mempengaruhi keseimbangan asam-basa tubuh.

Pemahaman mendalam tentang elektrolit dan keseimbangannya adalah esensial dalam praktek medis. Analisis elektrolit membantu dokter mengidentifikasi penyebab dari berbagai gejala, merancang strategi terapi yang efektif, dan memantau respons pasien terhadap pengobatan. Dengan kemajuan teknologi di masa depan, analisis ini bisa menjadi lebih canggih, memungkinkan deteksi dini ketidakseimbangan elektrolit dan intervensi yang lebih tepat waktu.

1.3.3 Parameter Lain

Dalam dunia medis, pemahaman tentang beragam parameter darah sangat penting untuk mendapatkan gambaran holistik tentang kesehatan pasien. Di luar parameter rutin dan analisis elektrolit, ada beragam pemeriksaan lain yang dapat memberikan informasi mendalam tentang kondisi spesifik dan fungsi organ.

1. Profil Lipid

Ini mengacu pada sekelompok tes yang mengukur konsentrasi berbagai jenis lemak dalam darah. Termasuk di dalamnya adalah kolesterol total, HDL (lipoprotein densitas tinggi), LDL (lipoprotein densitas rendah), dan trigliserida. Tingkat ini bisa menunjukkan risiko seseorang terhadap penyakit jantung koroner.

- **Pengenalan**

Profil lipid adalah suatu panel diagnostik yang mengukur konsentrasi lemak tertentu dalam darah seseorang. Lemak-lemak ini esensial bagi fungsi tubuh, tetapi keseimbangan yang salah dapat meningkatkan risiko penyakit jantung dan pembuluh darah.

- **Elemen-Elemen Profil Lipid**

Kolesterol total: Ini mengukur semua kolesterol dalam semua lipoprotein dalam darah. Kolesterol adalah jenis lemak yang diperlukan untuk membangun sel-sel tubuh dan memproduksi hormon, tetapi kadar yang terlalu tinggi dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan.

HDL (lipoprotein densitas tinggi): Sering disebut sebagai "kolesterol baik", HDL membantu mengangkut kolesterol berlebih dari pembuluh darah ke hati untuk dikeluarkan dari tubuh. Kadar HDL yang tinggi umumnya mengindikasikan risiko yang lebih rendah terhadap penyakit jantung.

LDL (lipoprotein densitas rendah): Dikenal sebagai "kolesterol jahat", LDL dapat menumpuk di arteri dan membentuk plak, yang dapat menyebabkan arteri menyempit dan meningkatkan risiko serangan jantung.

Trigliserida: Jenis lemak yang digunakan tubuh untuk menyimpan energi. Kadar trigliserida yang tinggi dalam darah dapat meningkatkan risiko penyakit jantung, terutama jika kadar HDL rendah dan LDL tinggi.

- **Pentingnya Pengukuran**

Mengukur profil lipid adalah langkah penting dalam menilai risiko seseorang terhadap penyakit kardiovaskular, seperti penyakit arteri koroner. Selain itu, tes ini juga

penting bagi individu yang sudah memiliki faktor risiko lain, seperti hipertensi (tekanan darah tinggi) atau diabetes.

- Pendekatan Modern dalam Pengukuran Profil Lipid

Dengan kemajuan teknologi dan pemahaman mendalam tentang biokimia lipid, ada metode-metode baru yang sedang dikembangkan untuk analisis yang lebih rinci tentang profil lipid. Teknik-teknik canggih ini tidak hanya mengukur konsentrasi, tetapi juga kualitas, ukuran partikel, dan sifat fungsional dari lipoprotein. Hal ini dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang status kesehatan kardiovaskular seseorang.

Mengukur profil lipid adalah langkah fundamental dalam pencegahan, diagnosis, dan pengelolaan penyakit kardiovaskular. Melalui pemahaman tentang komponen-komponen utama dari profil lipid dan bagaimana mereka mempengaruhi kesehatan, profesional medis dan pasien dapat bekerja sama untuk mengoptimalkan kesehatan jantung dan mengurangi risiko penyakit jantung dan komplikasi terkait lainnya.

2. Enzim-enzim: Katalisator Biologis dan Indikator Klinis

Enzim adalah protein yang mempercepat reaksi kimia dalam tubuh. Beberapa enzim, ketika ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi di darah, bisa menandakan kerusakan jaringan atau organ, seperti hati atau jantung.

- Enzim Sebagai Protein Katalis

Enzim, pada dasarnya, adalah molekul protein yang memegang peran penting sebagai katalisator biologis. Katalisator adalah zat yang mempercepat laju reaksi kimia tanpa sendiri dikonsumsi dalam reaksi tersebut. Dalam konteks biologis, enzim membantu mempercepat reaksi

kimia yang esensial bagi kehidupan, memungkinkan proses-proses seperti metabolisme, sintesis DNA, dan banyak lagi, untuk terjadi dalam kecepatan yang memadai bagi fungsi sel yang sehat.

- **Mekanisme Aksi Enzim**

Enzim bekerja dengan mengenali substrat spesifik (zat awal) dan mengikatnya pada bagian yang dikenal sebagai situs aktif. Kombinasi dari enzim dan substrat membentuk suatu kompleks sementara yang memfasilitasi konversi substrat menjadi produk. Setelah reaksi selesai, enzim dilepaskan dan tetap tidak berubah, siap untuk mengkatalisis reaksi lainnya.

- **Enzim Sebagai Indikator Medis**

Beberapa enzim memiliki fungsi khas dalam jaringan atau organ tertentu. Saat jaringan atau organ tersebut mengalami cedera atau kerusakan, enzim dapat dilepaskan ke dalam aliran darah, meningkatkan konsentrasinya di sana. Oleh karena itu, pemeriksaan konsentrasi enzim dalam darah dapat menjadi indikator yang berguna dari kerusakan jaringan:

Enzim Hati: Enzim seperti Alanin Aminotransferase (ALT) dan Aspartat Aminotransferase (AST) biasanya ditemukan dalam sel-sel hati. Peningkatan kadar enzim ini dalam darah menunjukkan kerusakan pada sel-sel hati.

Enzim Otot Jantung: Troponin adalah protein yang terdapat di otot jantung dan berperan dalam proses kontraksi. Jika ada kerusakan pada otot jantung, seperti pada kasus serangan jantung, level troponin dalam darah akan meningkat.

- Tantangan dan Prospek Masa Depan

Kemajuan teknologi medis terus memperdalam pemahaman kita tentang enzim dan potensi mereka sebagai biomarker dalam diagnostik. Penelitian terbaru mencari tahu apakah ada enzim spesifik lain yang bisa menunjukkan kerusakan pada jaringan atau organ lain di tubuh. Selain itu, dengan teknologi nanomedis, mungkin ada cara untuk memanfaatkan enzim dalam pengiriman obat yang tepat sasaran atau terapi gen.

Enzim, selain perannya sebagai katalisator biologis, memiliki peran penting dalam bidang medis sebagai indikator potensial kerusakan jaringan atau organ. Memahami bagaimana enzim bekerja dan bagaimana mereka dapat mengindikasikan kondisi medis tertentu adalah esensial untuk pengembangan diagnostik dan terapi yang lebih baik di masa depan.

3. Protein Total dan Fraksi: Membaca Indikator Kesehatan dari Kadar Protein Darah

Protein total mengukur jumlah semua protein dalam darah, sedangkan fraksi mengacu pada protein spesifik seperti albumin atau globulin. Abnormalitas dalam tingkat ini dapat menunjukkan berbagai kondisi, termasuk penyakit hati, ginjal, atau kondisi inflamasi.

Protein merupakan komponen penting dalam darah manusia, yang memainkan berbagai peran esensial, mulai dari pengangkutan zat-zat tertentu, berfungsi sebagai antibodi, hingga berperan sebagai enzim yang mempercepat reaksi kimia. Tes protein total dan fraksi memberikan wawasan tentang keseimbangan dan fungsi tubuh.

- **Protein Total: Pengukuran Keseluruhan**

Ketika kita berbicara tentang protein total, kita merujuk pada jumlah keseluruhan protein yang ada dalam plasma darah. Pengukuran ini mencakup semua jenis protein, termasuk albumin, globulin, dan fibrinogen. Nilai normal protein total pada orang dewasa berkisar antara 6,0 dan 8,3 g/dL.

- **Fraksi Protein: Albumin dan Globulin**

Albumin

Ini adalah protein yang paling melimpah dalam plasma darah. Albumin berfungsi sebagai pengangkut berbagai molekul melalui darah, termasuk obat-obatan, hormon, dan nutrisi. Selain itu, albumin memainkan peran penting dalam menjaga tekanan osmotik darah, yang memungkinkan distribusi cairan antara darah dan jaringan tubuh. Rendahnya kadar albumin dalam darah (hipoalbuminemia) bisa menjadi tanda masalah pada fungsi hati atau ginjal, serta kondisi lain seperti malnutrisi.

Albumin adalah protein yang secara luas didistribusikan dalam plasma darah manusia dan merupakan komponen paling melimpah dalam plasma. Protein ini memiliki berbagai fungsi penting dalam menjaga keseimbangan cairan dan transportasi molekul penting dalam tubuh.

Salah satu peran utama albumin adalah sebagai pengangkut molekul ke dalam dan keluar dari darah. Albumin berinteraksi dengan berbagai molekul, termasuk obat-obatan (seperti antibiotik dan obat penghilang rasa sakit), hormon (seperti hormon steroid), dan nutrisi (seperti asam lemak dan vitamin). Ini memungkinkan molekul-molekul ini untuk tetap larut dalam darah dan

mencapai targetnya di dalam tubuh. Pengikatan obat-obatan oleh albumin juga mempengaruhi seberapa lama obat tersebut beredar dalam tubuh, yang memiliki implikasi penting dalam dosis dan pengobatan.

Selain fungsi transportasinya, albumin juga berperan dalam menjaga tekanan osmotik darah. Tekanan osmotik adalah tekanan yang dibentuk oleh partikel-partikel dalam darah (termasuk albumin) yang mencegah cairan keluar dari pembuluh darah ke jaringan tubuh. Ini membantu menjaga volume darah dan mencegah terjadinya edema atau penumpukan cairan berlebihan di dalam jaringan tubuh.

Konsentrasi albumin dalam darah adalah indikator penting kesehatan tubuh. Rendahnya kadar albumin dalam darah (hipoalbuminemia) bisa menjadi tanda masalah pada fungsi hati atau ginjal. Albumin diproduksi oleh hati, jadi masalah pada hati seperti sirosis atau hepatitis dapat mengganggu produksi albumin. Selain itu, gangguan ginjal dapat mengurangi kemampuan tubuh untuk mempertahankan albumin dalam darah. Kondisi lain yang dapat menyebabkan hipoalbuminemia termasuk malnutrisi, penyakit inflamasi kronis, atau kondisi yang meningkatkan kehilangan albumin seperti luka bakar yang parah.

Albumin adalah salah satu dari banyak faktor yang membantu menjaga keseimbangan cairan dan komponen penting dalam menjaga kesehatan tubuh. Pemahaman yang mendalam tentang peran albumin dalam tubuh manusia telah membantu dalam pengembangan strategi pengobatan dan penanganan berbagai kondisi medis, dan penelitian terus berlanjut untuk lebih memahami peran dan potensi aplikasi albumin dalam bidang biomedis. Dengan

pemahaman yang lebih baik tentang albumin, kita dapat mengantisipasi masa depan yang lebih cerah dalam pengobatan dan pemeliharaan kesehatan manusia.

Globulin

Terdiri dari berbagai subkelompok protein, termasuk imunoglobulin (antibodi) yang membantu melawan infeksi. Tingkat globulin yang tinggi mungkin menunjukkan respons imun aktif, sedangkan tingkat yang rendah bisa menunjukkan masalah dengan produksi imunoglobulin.

Globulin adalah kelompok protein yang terdapat dalam plasma darah manusia yang memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan dan respons imun tubuh. Kelompok globulin ini mencakup berbagai subkelompok protein yang memiliki fungsi yang beragam, termasuk imunoglobulin atau lebih dikenal dengan istilah antibodi.

Salah satu subkelompok penting dari globulin adalah imunoglobulin, yang merupakan komponen utama dari sistem kekebalan tubuh. Imunoglobulin adalah antibodi yang dihasilkan oleh sel-sel B dalam sistem kekebalan tubuh sebagai respons terhadap kehadiran patogen seperti bakteri, virus, atau zat asing lainnya. Antibodi ini memiliki kemampuan untuk mengenali dan menetralkan patogen dengan berbagai mekanisme, seperti mengikat patogen tersebut dan merangsang respon imun yang melibatkan sel-sel lain dalam sistem kekebalan.

Ketika tingkat globulin dalam darah meningkat, hal ini dapat menjadi indikator respons imun tubuh yang aktif. Ini bisa terjadi dalam situasi seperti infeksi aktif, di mana tubuh berjuang untuk melawan patogen yang masuk. Respons

imun yang kuat dapat mengakibatkan peningkatan produksi imunoglobulin untuk membantu melawan infeksi. Selain itu, imunoglobulin juga dapat digunakan dalam terapi tertentu untuk meningkatkan respons imun tubuh terhadap penyakit tertentu.

Sebaliknya, tingkat globulin yang rendah dalam darah bisa mengindikasikan masalah dengan produksi imunoglobulin. Ini dapat terjadi dalam kondisi seperti penyakit autoimun, di mana sistem kekebalan tubuh menyerang jaringan tubuh sendiri dan mengganggu produksi imunoglobulin. Selain itu, kondisi yang menghambat fungsi sistem kekebalan tubuh juga dapat mengakibatkan penurunan tingkat globulin.

Dalam pengobatan dan pemantauan kesehatan, pengukuran tingkat globulin dalam darah adalah salah satu aspek penting untuk mengevaluasi fungsi sistem kekebalan tubuh dan respons terhadap kondisi medis tertentu. Penelitian terus dilakukan untuk memahami lebih dalam peran globulin dan imunoglobulin dalam tubuh, serta untuk mengembangkan terapi yang lebih efektif dalam pengelolaan penyakit yang berkaitan dengan sistem kekebalan tubuh.

Dengan pemahaman yang lebih baik tentang peran globulin dalam tubuh, kita dapat memahami lebih baik bagaimana sistem kekebalan tubuh berfungsi dan bagaimana kita dapat meningkatkan respons imun tubuh terhadap berbagai tantangan kesehatan yang dihadapi oleh tubuh manusia.

- Indikator Medis

Abnormalitas dalam kadar protein total dan fraksi dapat mengungkapkan berbagai kondisi medis. Seperti disebutkan, kadar albumin yang rendah mungkin menunjukkan masalah dengan hati, karena hati bertanggung jawab untuk memproduksi sebagian besar albumin tubuh. Namun, peningkatan kadar globulin dapat menandakan adanya proses inflamasi aktif, infeksi, atau bahkan beberapa jenis kanker.

- Prospek Masa Depan

Dengan kemajuan teknologi diagnostik dan peningkatan pemahaman kita tentang biologi molekuler, kita mungkin dapat mengidentifikasi marker protein lain yang spesifik untuk berbagai kondisi klinis. Ini dapat memperluas cakupan tes protein darah untuk deteksi dini, pemantauan, dan manajemen kondisi kesehatan.

Pemeriksaan protein total dan fraksi memberikan gambaran mendalam tentang status kesehatan seseorang, dengan potensi untuk mendeteksi berbagai kondisi medis berdasarkan keseimbangan dan konsentrasi protein tertentu dalam darah. Dengan pengetahuan yang tepat dan interpretasi hasil dengan hati-hati, tes ini bisa menjadi alat diagnostik yang berharga dalam praktek medis.

4. Marker Inflamasi: Menyelami Peran Protein C-Reaktif dan Alat Diagnostik Peradangan

Beberapa protein, seperti protein C-reaktif (CRP), meningkat saat ada peradangan dalam tubuh. Mereka adalah alat diagnostik yang berguna untuk mendeteksi atau memantau kondisi inflamasi.

Peradangan adalah respons alami tubuh terhadap cedera atau infeksi. Meskipun peradangan dapat membantu tubuh memperbaiki diri sendiri, peradangan yang berkepanjangan atau kronis dapat menyebabkan kerusakan jaringan. Oleh karena itu, memiliki alat untuk mendeteksi dan memantau peradangan adalah penting dalam praktek medis.

- Protein C-Reaktif (CRP)

CRP adalah protein yang diproduksi oleh hati dan kadar darahnya meningkat saat ada peradangan di tubuh. Konsentrasi CRP yang tinggi, terutama pada kondisi tanpa gejala klinis yang jelas, dapat mengindikasikan peradangan sistemik, seperti pada penyakit arteri koroner atau infeksi bakteri. Dalam konteks kardiovaskular, tes CRP sensitif tinggi (hs-CRP) digunakan untuk menilai risiko penyakit jantung.

- Urgensi CRP

CRP bukan hanya menandai keberadaan peradangan tetapi juga berfungsi sebagai prediktor risiko komplikasi dalam berbagai kondisi medis. Sebagai contoh, kadar CRP yang tinggi setelah operasi mungkin menandakan komplikasi pasca operasi, seperti infeksi luka.

- Marker Inflamasi Lainnya

Selain CRP, ada banyak marker inflamasi lain yang digunakan dalam praktek klinis. Misalnya, sedimentasi eritrosit (ESR) adalah tes yang mengukur seberapa cepat sel darah merah mengendap di dasar tabung uji. Kecepatan yang meningkat dapat menandakan peradangan. Selain itu, Interleukin-6 (IL-6) adalah sitokin (protein yang mempengaruhi interaksi dan komunikasi antar sel) yang berperan dalam proses inflamasi dan juga diukur dalam beberapa kondisi.

- Aplikasi Futuristik

Dengan perkembangan bioteknologi dan genomika, para peneliti saat ini sedang menggali dalam mengeksplorasi marker inflamasi baru dan lebih spesifik yang dapat mendeteksi peradangan pada tingkat molekuler. Pemahaman mendalam tentang proses peradangan pada tingkat gen dan protein dapat mengarah pada terapi yang lebih spesifik dan personalisasi untuk berbagai kondisi inflamasi.

Marker inflamasi, seperti CRP, memainkan peran krusial dalam mendeteksi dan memantau kondisi inflamasi dalam tubuh. Sebagai penanda respons imun, mereka memberikan gambaran tentang keadaan kesehatan internal seseorang dan dapat memberi tahu dokter tentang potensi masalah yang mungkin terjadi. Dengan pemahaman yang mendalam dan interpretasi yang tepat, marker ini dapat membantu dalam pengambilan keputusan klinis dan mengarahkan perawatan pasien.

5. Tes Enzimologis: Laktat Dehidrogenase dan Kreatin Kinase Sebagai Indikator Kerusakan Jaringan

Contohnya adalah Laktat dehidrogenase (LDH) dan kreatin kinase (CK). Kedua enzim ini, saat ditemukan dalam kadar tinggi, bisa menandakan kerusakan jaringan, misalnya akibat cedera otot atau beberapa kondisi patologis lainnya.

Di dalam tubuh kita, berbagai enzim memainkan peran penting dalam metabolisme dan fungsi biologis lainnya. Saat jaringan mengalami kerusakan, kandungan enzim tertentu dalam darah bisa meningkat, memberikan petunjuk tentang lokasi dan tingkat keparahan kerusakan tersebut. Dalam konteks ini, Laktat dehidrogenase (LDH) dan kreatin kinase

(CK) adalah dua enzim yang sering diperiksa untuk mendeteksi kerusakan jaringan.

- **Laktat Dehidrogenase (LDH)**

LDH adalah enzim yang ada di banyak jenis sel dan organ, termasuk hati, otot, jantung, ginjal, dan banyak lagi. LDH membantu mengubah laktat menjadi piruvat, sebuah molekul penting dalam proses metabolisme seluler. Kenaikan LDH dalam darah bisa mengindikasikan kerusakan sel atau nekrosis (kematian sel). Misalnya, tingkat LDH yang meningkat mungkin menandakan serangan jantung, kerusakan hati, atau kondisi lain seperti anemia hemolitik (penghancuran sel darah merah).

Laktat Dehidrogenase (LDH) adalah enzim penting dalam proses metabolisme seluler yang hadir dalam berbagai jenis sel dan organ di dalam tubuh manusia. Enzim ini memiliki peran utama dalam pengubahan laktat menjadi piruvat, yang merupakan molekul penting dalam berbagai jalur metabolik seluler. LDH terdiri dari beberapa isoenzim, yang dapat ditemukan dalam berbagai jaringan dan organ, termasuk hati, otot, jantung, ginjal, dan lainnya. Kehadiran LDH dalam berbagai jaringan dan organ menunjukkan keragaman perannya dalam berbagai fungsi tubuh.

Proses metabolisme seluler adalah inti dari semua aktivitas biologis dalam tubuh manusia. Dalam proses ini, glukosa dan gula lainnya diubah menjadi energi yang digunakan oleh sel untuk berbagai fungsi, termasuk kontraksi otot, fungsi jantung, dan sintesis molekul-molekul penting. LDH memainkan peran kunci dalam proses ini dengan mengkatalisasi reaksi yang mengubah laktat menjadi piruvat. Laktat adalah produk sampingan dari

metabolisme glukosa, dan konversi laktat menjadi piruvat oleh LDH adalah langkah penting dalam menghasilkan energi seluler.

Penting untuk memahami bahwa tingkat LDH dalam darah dapat menjadi indikator penting dalam diagnosis medis. Kenaikan tajam dalam tingkat LDH dalam darah dapat mengindikasikan adanya kerusakan sel atau nekrosis, yang merupakan kematian sel. Ini bisa terjadi dalam berbagai kondisi dan penyakit, seperti serangan jantung, kerusakan hati akibat hepatitis atau keracunan obat, dan kondisi lainnya seperti anemia hemolitik, di mana sel darah merah dihancurkan secara berlebihan dalam darah. Kehadiran LDH dalam berbagai organ memungkinkan pengukuran tingkat enzim ini untuk membantu dalam mendiagnosis dan memantau kondisi medis yang berkaitan dengan kerusakan sel atau nekrosis.

Selain itu, tingkat LDH yang tinggi juga dapat digunakan untuk mengawasi perkembangan penyakit dan respons terhadap perawatan. Misalnya, pada pasien dengan kanker, peningkatan tingkat LDH dalam darah dapat menjadi indikator keberhasilan atau kegagalan perawatan. Oleh karena itu, pemantauan tingkat LDH dapat menjadi alat penting dalam pengelolaan penyakit serius.

Jelaslah bahwa LDH adalah enzim yang krusial dalam fungsi seluler dan memainkan peran penting dalam diagnosis dan pemantauan berbagai kondisi medis. Pemahaman yang lebih baik tentang peran dan regulasi LDH dalam tubuh dapat membantu dalam pengembangan strategi pengobatan yang lebih efektif dan diagnosis yang lebih akurat di masa depan.

- **Kreatin Kinase (CK)**

CK, dikenal juga sebagai creatine phosphokinase (CPK), adalah enzim yang ditemukan terutama dalam otot dan jantung. Fungsinya adalah untuk memfasilitasi produksi energi bagi otot dengan mengubah kreatin menjadi fosfat. Ketika otot rusak, CK dilepaskan ke dalam aliran darah, sehingga kenaikan kadar CK bisa menunjukkan kerusakan otot atau kondisi seperti miopati (penyakit otot), rabdomiolisis (penguraian otot), atau serangan jantung.

Kreatin Kinase (CK), yang juga dikenal sebagai creatine phosphokinase (CPK), adalah enzim krusial yang berperan dalam proses penghasilan energi dalam otot dan jantung manusia. Fungsi utama CK adalah memfasilitasi konversi kreatin menjadi fosfat kreatin (creatine phosphate). Reaksi ini memiliki peran penting dalam penyimpanan dan penggunaan energi dalam sel-sel otot.

Proses metabolisme otot memerlukan suplai energi yang konstan, terutama selama aktivitas fisik yang intens seperti berolahraga atau kontraksi otot saat jantung memompa darah. CK membantu menyediakan sumber daya energi yang cepat dan efisien dengan mengubah kreatin, yang tersimpan dalam sel otot, menjadi fosfat kreatin. Saat diperlukan, fosfat kreatin dapat dengan cepat melepaskan energi yang disimpan dalam ikatan fosfatnya untuk mendukung kontraksi otot yang kuat dan cepat.

Kadar CK yang normal dalam darah adalah indikator kesehatan otot dan jantung. Namun, peningkatan signifikan dalam tingkat CK dalam darah dapat menjadi tanda kerusakan otot atau pelepasan enzim dari otot ke aliran

darah. Kondisi yang dapat menyebabkan peningkatan CK termasuk miopati (penyakit otot), yang melibatkan kerusakan atau degenerasi otot; rabdomiolisis, yang merupakan penguraian otot yang parah dan dapat mengarah pada pelepasan produk otolisis ke dalam darah; atau serangan jantung, di mana otot jantung mengalami kerusakan.

Penentuan tingkat CK dalam darah adalah penting dalam mendiagnosis dan memantau berbagai masalah kesehatan. Misalnya, dalam kasus serangan jantung, peningkatan tajam dalam tingkat CK-MB (isoenzim CK yang spesifik untuk jantung) dalam darah dapat memberikan bukti kerusakan jantung. Pemantauan tingkat CK juga penting dalam pengelolaan pasien dengan miopati atau rabdomiolisis.

Dalam perkembangan kedepannya, penelitian terus berlanjut untuk lebih memahami peran CK dalam kesehatan dan penyakit, serta bagaimana penggunaannya dapat ditingkatkan dalam diagnosis dan pengobatan. Keseluruhan, pemahaman yang lebih baik tentang CK telah membantu meningkatkan penanganan masalah-masalah otot dan jantung yang serius, serta mendorong perkembangan terapi yang lebih efektif dalam pemulihan dan perawatan kondisi medis yang terkait.

- **Menerapkan Tes Enzimologis dalam Praktek Klinis**

Pentingnya tes enzimologis terletak pada kemampuannya untuk memberikan wawasan cepat tentang status kesehatan jaringan. Dokter dapat memanfaatkan tes ini untuk memonitor pasien dengan cedera trauma, mereka yang menjalani operasi besar, atau individu yang memiliki gejala yang tidak jelas penyebabnya.

Penerapan tes enzimologi dalam praktik klinis memiliki peran penting dalam memberikan pemahaman cepat mengenai kondisi kesehatan jaringan. Tes enzimologi menjadi alat berharga bagi dokter untuk memantau pasien, terutama mereka yang pulih dari cedera traumatik, menjalani operasi besar, atau mengalami gejala medis yang belum jelas penyebabnya.

Tes enzimologi, yang berdasarkan pada prinsip-prinsip biokimia, memberikan gambaran tentang fungsi berbagai jaringan dan organ dalam tubuh manusia. Tes ini umumnya mengukur tingkat aktivitas enzim tertentu, yang merupakan molekul biologis yang bertanggung jawab dalam mempercepat reaksi kimia penting. Enzim berfungsi sebagai alat kerja biokimia tubuh, mendorong proses-proses yang diperlukan untuk menjaga kesehatan dan keseimbangan tubuh.

Salah satu aplikasi utama tes enzimologi adalah dalam mengevaluasi kerusakan dan cedera jaringan. Ketika jaringan mengalami kerusakan, seperti pada trauma atau operasi, enzim yang biasanya terkungkung dalam sel-sel dapat bocor ke dalam aliran darah. Memantau tingkat enzim tersebut, seperti kreatin kinase (CK) atau laktat dehidrogenase (LDH), dapat memberikan indikasi awal tentang gangguan atau kerusakan jaringan. Sebagai contoh, peningkatan kadar CK dalam darah dapat mengindikasikan cedera otot, sementara peningkatan kadar LDH dapat menunjukkan kerusakan sel dalam berbagai organ.

Selain itu, tes enzimologi memainkan peran penting dalam mendiagnosis dan mengelola kondisi medis, termasuk gangguan hati dan jantung. Sebagai contoh, tes

fungsi hati menilai tingkat enzim seperti alanin aminotransferase (ALT) dan aspartat aminotransferase (AST) untuk mengevaluasi kesehatan hati dan mendeteksi kerusakan hepatoseluler. Sementara itu, penanda jantung seperti troponin penting untuk mendiagnosis infark miokard atau serangan jantung.

Kecepatan dan akurasi tes enzimologi sangat menguntungkan dalam pengaturan klinis. Mereka memungkinkan profesional kesehatan untuk membuat keputusan tepat waktu mengenai perawatan pasien, mulai dari penyesuaian strategi pengobatan hingga inisiasi intervensi medis. Sebagai contoh, seorang ahli bedah yang memantau pasien pascaoperasi mungkin akan memesan tes enzimologi untuk memastikan bahwa jaringan sembuh dengan baik dan segera mengatasi komplikasi apa pun.

Selain itu, tes enzimologi sangat berharga dalam kasus di mana pasien memiliki gejala yang kabur atau tidak spesifik. Tes ini dapat membantu dokter untuk mengidentifikasi masalah yang mendasarinya dengan mengungkapkan tingkat enzim yang tidak normal yang terkait dengan disfungsi organ atau jaringan tertentu.

Di dalam medan diagnostik medis yang terus berkembang, tes enzimologi terus mengalami perkembangan dan perbaikan. Teknologi yang baru dan kemajuan dalam bidang enzimologi memungkinkan pengembangan uji yang lebih spesifik dan sensitif, yang memungkinkan deteksi penyakit lebih awal dan penyusunan rencana pengobatan yang lebih personal.

Jelaslah bahwa signifikansi tes enzimologi dalam praktik klinis tidak dapat diabaikan. Kemampuannya untuk memberikan pemahaman cepat tentang kondisi kesehatan

jaringan memungkinkan profesional kesehatan untuk membuat keputusan yang terinformasi, yang pada akhirnya meningkatkan perawatan dan hasil pasien. Dalam pengetahuan medis yang terus berkembang, tes enzimologi tetap menjadi dasar dalam kedokteran diagnostik, berkontribusi pada masa depan yang lebih sehat bagi semua.

- Aplikasi Futuristik

Dengan perkembangan teknologi medis dan pemahaman biokimia yang lebih mendalam, kita mungkin akan melihat peningkatan kepekaan dan spesifisitas dalam tes enzimologis. Metode baru yang lebih canggih bisa mengukur variasi spesifik dari enzim ini untuk memberikan gambaran yang lebih detail tentang lokasi dan sifat kerusakan jaringan.

LDH dan CK adalah enzim kunci yang memberikan gambaran tentang integritas dan kesehatan jaringan. Melalui tes enzimologis, profesional medis dapat mendeteksi, memantau, dan merespon dengan cepat terhadap berbagai kondisi klinis, memaksimalkan peluang pemulihan dan mengurangi risiko komplikasi bagi pasien.

6. Interpretasi dan Relevansinya dalam Kondisi Klinis

Menginterpretasikan hasil tes laboratorium membutuhkan keahlian dan pengetahuan mendalam tentang penyakit dan fisiologi manusia. Setiap abnormalitas dalam hasil tes harus dilihat dalam konteks gejala klinis pasien, riwayat medis, dan pemeriksaan lainnya. Pemahaman ini memungkinkan dokter untuk membuat diagnosis yang akurat dan merancang rencana perawatan yang sesuai.

Di era futuristik, teknologi diagnostik terus berkembang dengan cepat, memungkinkan deteksi dini dan intervensi yang lebih tepat untuk berbagai kondisi klinis. Maka dari itu, penting bagi profesional medis untuk tetap memperbarui pengetahuan mereka agar dapat memberikan pelayanan terbaik bagi pasien.

1.4 Teknologi dan Metodologi di Kimia Klinik Darah

Kemajuan teknologi dan metodologi dalam bidang kimia klinik darah telah merevolusi cara kita memahami dan mendiagnosis berbagai kondisi kesehatan. Keahlian ini tidak hanya memberi kita gambaran tentang kondisi kesehatan seseorang tetapi juga memfasilitasi penemuan dan pengembangan terapi baru.

1.4.1 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel darah yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat. Vena antekubital (vein yang terletak di lipatan siku) biasanya menjadi pilihan utama untuk pengambilan sampel karena mudah diakses dan menyebabkan sedikit ketidaknyamanan bagi pasien. Selalu penting untuk mengikuti protokol steril agar menghindari kontaminasi dan infeksi.

Teknik pengambilan sampel darah merupakan langkah awal yang krusial dalam proses diagnostik medis. Salah satu lokasi yang umum digunakan untuk pengambilan sampel darah adalah vena antekubital, yang terletak di lipatan siku. Pemilihan vena ini didasarkan pada beberapa pertimbangan penting.

Vena antekubital dipilih sebagai lokasi pengambilan sampel darah karena kemudahan akses dan minimnya ketidaknyamanan bagi pasien. Lokasi ini memiliki beberapa vena besar yang mudah diidentifikasi dan diakses oleh petugas medis. Selain itu, prosedur pengambilan sampel darah dari vena ini jarang menyebabkan rasa sakit yang signifikan karena kulit di sekitar area siku cenderung kurang sensitif terhadap rasa sakit.

Selain pemilihan lokasi yang tepat, penting untuk selalu mengikuti protokol kebersihan dan sterilisasi yang ketat saat melakukan pengambilan sampel darah. Hal ini dilakukan untuk menghindari kontaminasi dan infeksi yang dapat terjadi saat jarum menusuk kulit dan masuk ke dalam aliran darah. Petugas medis harus memastikan bahwa alat-alat yang digunakan, termasuk jarum, tabung pengambilan sampel, dan tempat sampel, adalah steril. Tindakan ini membantu mencegah masuknya mikroorganisme patogen ke dalam darah pasien yang dapat mengakibatkan infeksi yang serius.

Pengambilan sampel darah yang tepat juga memerlukan keterampilan teknis yang baik. Petugas medis harus memastikan bahwa jarum dimasukkan dengan benar ke dalam vena untuk menghindari kerusakan pada vena atau jaringan sekitarnya. Saat darah diambil, teknik pengambilan yang baik juga melibatkan penggunaan tekanan yang tepat pada lokasi pengambilan sampel dan penggunaan tabung yang sesuai untuk mengumpulkan jumlah darah yang diperlukan.

Di masa depan, teknologi pengambilan sampel darah dapat terus berkembang. Misalnya, penelitian dalam bidang mikrofluida telah menghasilkan teknologi yang lebih maju untuk mengambil sampel darah hanya dengan sedikit atau tanpa rasa sakit sama sekali. Teknologi seperti ini memiliki potensi untuk mengurangi ketidaknyamanan bagi pasien dan meningkatkan efisiensi pengambilan sampel darah dalam pengaturan medis.

Pemahaman tentang teknik pengambilan sampel darah yang tepat sangat penting dalam memastikan bahwa hasil diagnostik yang diperoleh adalah akurat dan bahwa pasien mendapat perawatan yang sesuai. Kepatuhan terhadap protokol steril dan perbaikan teknologi pengambilan sampel darah adalah langkah-langkah yang akan terus ditingkatkan di masa depan untuk meningkatkan kualitas layanan medis.

1.4.2 Teknik Pemisahan Komponen Darah

Setelah pengambilan sampel, darah biasanya dipisahkan menjadi komponennya yang berbeda. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah sentrifugasi, di mana tabung sampel diletakkan di sentrifuge (alat yang berputar dengan sangat cepat) untuk memisahkan sel darah dari plasma.

Teknik pemisahan komponen darah adalah langkah penting dalam proses diagnostik medis yang memungkinkan penelitian dan analisis lebih lanjut terhadap berbagai komponen darah. Salah satu metode yang paling umum digunakan dalam pemisahan ini adalah sentrifugasi. Sentrifugasi adalah proses di mana tabung sampel darah ditempatkan dalam sebuah alat yang disebut sentrifuge yang berputar dengan sangat cepat. Prinsip dasar sentrifugasi didasarkan pada prinsip gaya sentrifugal, di mana benda-benda dengan massa yang berbeda akan terdorong menjauh dari pusat rotasi dengan kecepatan yang berbeda.

Dalam konteks pemisahan komponen darah, sentrifugasi memisahkan berbagai elemen darah utama, yaitu sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), platelet (trombosit), dan plasma. Sel darah merah adalah yang paling berat dan biasanya akan terdorong ke arah luar dari pusat rotasi, sedangkan sel darah putih dan platelet akan berada di lapisan

yang disebut buffy coat yang terletak di antara sel darah merah dan plasma. Plasma, yang merupakan cairan berwarna kuning pucat, akan berada di bagian paling atas tabung.

Setelah proses sentrifugasi selesai, komponen-komponen ini dapat dipisahkan dengan hati-hati untuk analisis lebih lanjut. Plasma mengandung berbagai komponen penting seperti protein, hormon, elektrolit, dan zat-zat lain yang berperan dalam fungsi tubuh. Plasma juga berperan dalam transportasi berbagai zat seperti nutrisi, obat-obatan, dan sisa-sisa metabolisme ke seluruh tubuh. Sel darah merah adalah komponen yang mengandung hemoglobin dan berperan dalam mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh. Sel darah putih adalah bagian dari sistem kekebalan tubuh yang berfungsi untuk melawan infeksi, sedangkan platelet adalah elemen yang berperan dalam proses pembekuan darah.

Teknik pemisahan komponen darah ini memiliki banyak aplikasi dalam dunia medis, termasuk dalam diagnosis penyakit, pemantauan kondisi kesehatan pasien, serta dalam penyimpanan dan transfusi darah. Selain itu, teknik sentrifugasi terus berkembang dengan penemuan metode sentrifugasi berkecepatan tinggi dan teknologi pemisahan yang lebih canggih untuk menghasilkan hasil yang lebih akurat dan efisien dalam laboratorium medis masa depan.

1.4.3 Metode Analitis

1. Spektrofotometri

Ini adalah metode yang digunakan untuk mengukur jumlah cahaya yang diserap oleh larutan. Dengan mengetahui seberapa banyak cahaya yang diserap oleh sampel, kita bisa menentukan konsentrasi zat tertentu di dalamnya.

- Konsep Dasar

Spektrofotometri berasal dari kata "spektro-" yang merujuk pada spektrum cahaya dan "-fotometri" yang berkaitan dengan pengukuran intensitas cahaya. Pada dasarnya, metode ini memanfaatkan prinsip bahwa molekul tertentu menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, dan intensitas penyerapan ini berkorelasi dengan konsentrasi molekul tersebut.

- Mekanisme Kerja

Ketika cahaya dengan panjang gelombang tertentu melewati suatu larutan, sebagian dari cahaya tersebut akan diserap oleh molekul di dalam larutan. Spektrofotometer, perangkat yang digunakan dalam metode ini, mengukur seberapa banyak cahaya yang mampu melewati larutan (transmitansi) serta seberapa banyak yang diserap (absorbansi). Perbandingan antara cahaya yang masuk dengan yang keluar dari larutan memberikan kita informasi tentang seberapa banyak molekul yang ada di dalam larutan tersebut.

Mekanisme kerja spektrofotometri adalah suatu konsep penting dalam kimia analitik dan biokimia yang digunakan untuk mengukur konsentrasi zat-zat yang dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Prinsip dasar spektrofotometri didasarkan pada hukum Beer-Lambert, yang menyatakan bahwa absorbansi (A) cahaya yang melewati suatu larutan secara logaritmik berkorelasi dengan konsentrasi (c) zat yang ada dalam larutan dan panjang gelombang (λ) cahaya yang digunakan dalam pengukuran.

Ketika cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu melewati suatu larutan, molekul-molekul dalam larutan tersebut memiliki kemampuan untuk menyerap sebagian dari cahaya tersebut. Panjang gelombang cahaya yang diserap oleh molekul bergantung pada sifat-sifat molekul tersebut dan struktur kimianya. Molekul yang berbeda akan menyerap cahaya pada panjang gelombang yang berbeda pula. Oleh karena itu, spektrofotometri dapat digunakan untuk mengidentifikasi molekul dan mengukur konsentrasi mereka dalam larutan.

Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur sejauh mana cahaya dapat melewati suatu larutan (transmitansi) dan sejauh mana cahaya tersebut diserap oleh molekul-molekul dalam larutan (absorbansi). Ketika cahaya masuk ke dalam larutan, sebagian dari cahaya tersebut akan diserap oleh molekul-molekul yang ada dalam larutan, sementara sebagian lainnya akan melintas melalui larutan tanpa diserap. Perangkat ini mengukur intensitas cahaya yang keluar dari larutan dan membandingkannya dengan intensitas cahaya yang masuk. Perbandingan ini digunakan untuk menghitung absorbansi larutan.

Absorbansi (A) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$A = -\log(T)$$

di mana T adalah transmitansi, yaitu perbandingan antara intensitas cahaya yang keluar dengan intensitas cahaya yang masuk. Nilai absorbansi berkorelasi secara linear dengan konsentrasi zat yang ada dalam larutan, dan hubungan ini dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi zat yang tidak diketahui dalam larutan dengan

cara yang sangat akurat. Dengan demikian, spektrofotometri adalah teknik yang sangat berguna dalam analisis kuantitatif dalam berbagai bidang ilmu, termasuk kimia, biokimia, biologi molekuler, dan banyak lagi.

Dalam perkembangan masa depan, teknologi spektrofotometri terus berkembang, dengan pengembangan metode spektrofotometri berkecepatan tinggi, spektrofotometri beresolusi tinggi, dan spektrofotometri dalam rentang panjang gelombang yang lebih luas. Ini akan memungkinkan para peneliti untuk melakukan analisis yang lebih kompleks dan mendalam, membuka peluang baru dalam pemahaman dan penelitian di berbagai bidang ilmu.

- Aplikasi dalam Kimia Klinik

Dalam konteks kimia klinik, spektrofotometri sering digunakan untuk mengukur konsentrasi berbagai senyawa biokimia dalam darah atau urin. Contoh klasik adalah pengukuran glukosa (gula) dalam darah. Dengan mengetahui seberapa banyak cahaya yang diserap oleh sampel darah pada panjang gelombang tertentu, kita bisa menghitung konsentrasi glukosa di dalamnya.

Di bidang kimia klinik, spektrofotometri merupakan teknik yang sangat penting untuk melakukan analisis kuantitatif zat-zat biokimia dalam berbagai sampel biologis, terutama darah dan urin. Aplikasi spektrofotometri dalam kimia klinik memiliki dampak yang sangat signifikan dalam diagnosis penyakit, pemantauan kondisi pasien, dan penelitian ilmiah.

Salah satu contoh paling umum dalam kimia klinik adalah pengukuran konsentrasi glukosa dalam darah. Glukosa adalah gula yang merupakan sumber utama

energi bagi sel-sel tubuh manusia. Pemantauan kadar glukosa dalam darah adalah kunci dalam manajemen diabetes, penyakit yang ditandai oleh gangguan dalam pengaturan glukosa dalam tubuh. Dengan menggunakan spektrofotometri, kita dapat mengukur absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh sampel darah yang mengandung glukosa. Hubungan antara absorbansi dan konsentrasi glukosa telah diketahui, sehingga kita dapat dengan cepat dan akurat menghitung kadar glukosa dalam darah pasien. Ini memungkinkan dokter dan ahli kimia klinik untuk memantau dan mengatur pengobatan diabetes secara efektif.

Selain pengukuran glukosa, spektrofotometri juga digunakan dalam kimia klinik untuk mengukur konsentrasi berbagai senyawa lain dalam darah, seperti enzim, protein, lipid, elektrolit, dan banyak lainnya. Misalnya, pengukuran kadar enzim hati seperti aspartat aminotransferase (AST) dan alanin aminotransferase (ALT) dapat memberikan indikasi kerusakan hati. Peningkatan kadar protein tertentu dalam darah, seperti C-reactive protein (CRP), dapat menunjukkan adanya peradangan dalam tubuh. Semua ini adalah informasi penting yang digunakan dalam diagnosis penyakit dan pemantauan kondisi kesehatan pasien.

Di masa depan, teknologi spektrofotometri dalam kimia klinik terus berkembang. Terdapat upaya untuk mengembangkan metode spektrofotometri yang lebih cepat, lebih sensitif, dan lebih spesifik untuk analisis biomarker penyakit yang lebih kompleks. Selain itu, integrasi teknologi spektrofotometri dengan sistem otomatis dan kecerdasan buatan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam analisis klinis. Ini akan

membuka pintu untuk diagnosis yang lebih awal dan penanganan yang lebih tepat dalam berbagai kondisi medis, menghasilkan perawatan yang lebih baik dan hasil yang lebih baik bagi pasien.

- **Kelebihan dan Keterbatasan**

Salah satu keunggulan spektrofotometri adalah akurasi yang tinggi. Namun, perlu diperhatikan bahwa metode ini paling efektif jika zat yang diukur memiliki spektrum penyerapan yang dikenal dan tidak tumpang tindih dengan senyawa lain dalam sampel. Selain itu, meskipun perangkat modern sudah sangat canggih, keberhasilan pengukuran tetap bergantung pada pemeliharaan yang baik dan kalibrasi reguler.

Keunggulan dan keterbatasan spektrofotometri adalah aspek penting yang perlu dipahami dalam konteks aplikasinya dalam berbagai bidang ilmu, termasuk kimia klinik dan analisis biokimia.

Keunggulan Spektrofotometri

1. **Akurasi Tinggi:** Spektrofotometri dikenal karena tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur konsentrasi zat-zat dalam sampel. Ini membuatnya menjadi alat yang sangat berguna dalam analisis kuantitatif, terutama dalam kimia klinik di mana tingkat akurasi sangat penting untuk diagnosis yang tepat.
2. **Selektivitas:** Spektrofotometri memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengukur spesifik senyawa atau molekul berdasarkan panjang gelombang penyerapan karakteristik mereka. Ini memungkinkan identifikasi yang akurat dari senyawa tertentu dalam campuran kompleks, seperti dalam analisis berbagai komponen dalam darah.

3. **Non-Destruktif:** Metode ini non-destruktif, yang berarti sampel yang dianalisis tidak rusak atau dimodifikasi selama pengukuran. Hal ini memungkinkan penggunaan ulang sampel untuk analisis tambahan atau pengujian ulang jika diperlukan.
4. **Waktu Pengukuran Cepat:** Spektrofotometri dapat menghasilkan hasil pengukuran dalam waktu yang relatif singkat, yang memungkinkan efisiensi dalam laboratorium klinis dan penelitian.

Keterbatasan Spektrofotometri

1. **Keterbatasan Spektrum Penyerapan:** Salah satu keterbatasan utama adalah bahwa spektrofotometri hanya efektif jika zat yang diukur memiliki spektrum penyerapan yang dikenal. Zat-zat yang tidak memiliki penyerapan cahaya pada panjang gelombang yang sesuai tidak dapat diukur dengan metode ini.
2. **Interferensi:** Spektrofotometri dapat terpengaruh oleh interferensi dari senyawa lain dalam sampel yang menyerap cahaya pada panjang gelombang yang sama. Ini dapat mengganggu akurasi pengukuran jika tidak dikelola dengan baik.
3. **Persiapan Sampel yang Rumit:** Persiapan sampel yang kompleks, seperti dalam analisis berbagai komponen dalam darah, dapat menjadi rumit dan memerlukan langkah tambahan seperti ekstraksi atau pengenceran yang cermat.
4. **Pemeliharaan dan Kalibrasi:** Keberhasilan pengukuran spektrofotometri bergantung pada pemeliharaan yang baik dan kalibrasi reguler perangkat. Peralatan yang tidak terkalibrasi dengan baik dapat menghasilkan hasil yang tidak akurat.
5. **Biaya dan Keterbatasan Panjang Gelombang:** Perangkat spektrofotometri yang berkualitas tinggi dapat

memiliki biaya yang tinggi, dan mungkin dibutuhkan perangkat yang berbeda untuk berbagai panjang gelombang penyerapan. Ini bisa menjadi keterbatasan dalam hal biaya dan pengelolaan peralatan.

Pemahaman tentang keunggulan dan keterbatasan spektrofotometri penting dalam memilih metode analisis yang tepat sesuai dengan tujuan penelitian atau aplikasi di bidang kimia klinik dan biokimia. Dengan memahami kapan dan bagaimana menggunakan teknik ini dengan bijak, pengguna dapat memaksimalkan potensi spektrofotometri dalam analisis mereka.

Prospek Masa Depan

Dengan kemajuan teknologi, spektrofotometri telah berevolusi menjadi metode yang lebih canggih seperti spektrofotometri massa dan spektroskopi resonansi magnet inti (NMR). Teknik-teknik ini memungkinkan deteksi molekul dengan sensitivitas yang sangat tinggi dan dalam jumlah yang sangat kecil, yang mengarah ke kemungkinan deteksi dini banyak penyakit.

Secara keseluruhan, spektrofotometri tetap menjadi salah satu alat paling penting dalam laboratorium kimia klinik, dengan aplikasinya yang luas, mulai dari diagnosis penyakit hingga pemantauan terapi obat.

2. Elektroforesis

Teknik ini digunakan untuk memisahkan protein berdasarkan ukuran dan muatan listrik mereka. Elektroforesis sering digunakan untuk mendiagnosis kondisi seperti multiple myeloma dan thalassemia.

Elektroforesis adalah suatu teknik yang digunakan secara luas dalam dunia medis dan ilmiah untuk pemisahan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan muatan listrik mereka. Salah satu aplikasi utama elektroforesis adalah dalam pemisahan protein,

yang merupakan komponen kunci dalam sel-sel tubuh dan memiliki beragam fungsi penting dalam kesehatan manusia.

Pada dasarnya, elektroforesis protein melibatkan penggunaan medan listrik yang diterapkan pada sampel protein yang ditempatkan dalam medium gel, seperti gel poliakrilamida. Ketika medan listrik diberikan, protein-protein dalam sampel akan bergerak melalui gel menuju elektroda yang berlawanan muatan dengan mereka. Selama pergerakan ini, protein-protein tersebut akan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada ukuran dan muatan listrik mereka.

Perbedaan dalam pemisahan protein-protein ini menciptakan pola unik pada gel, di mana protein-protein dengan ukuran dan muatan serupa akan berkumpul bersama dalam lokasi tertentu, sementara protein-protein lain akan berada pada lokasi yang berbeda. Pola ini dapat digunakan untuk mendiagnosis berbagai kondisi kesehatan, seperti multiple myeloma dan thalassemia.

Multiple myeloma adalah jenis kanker darah yang berkembang dalam sel plasma di sumsum tulang. Dalam pemisahan elektroforesis protein serum, pasien dengan multiple myeloma sering menunjukkan peningkatan jumlah protein monoklonal yang abnormal. Protein ini dapat dideteksi sebagai pita atau "spike" yang terpisah dalam pola elektroforesis, yang merupakan indikator penting dalam mendiagnosis kondisi ini.

Sementara itu, thalassemia adalah kelompok penyakit darah yang mempengaruhi produksi hemoglobin dalam sel darah merah. Pemisahan elektroforesis hemoglobin dapat membedakan jenis-jenis thalassemia berdasarkan perbedaan dalam profil muatan hemoglobin. Ini memungkinkan diagnosis yang lebih akurat dan pemantauan kondisi pasien.

Selain diagnostik, elektroforesis protein juga digunakan dalam penelitian ilmiah untuk memahami struktur dan fungsi protein-protein tertentu. Dengan kemampuan untuk memisahkan protein berdasarkan karakteristik fisik mereka, elektroforesis telah

menjadi salah satu alat penting dalam ilmu biokimia dan biomedis.

Teknologi elektroforesis terus berkembang, memungkinkan analisis yang lebih sensitif dan cepat. Ini menjadikannya alat yang tak ternilai dalam mendiagnosis dan memahami berbagai kondisi medis, serta menghasilkan penelitian ilmiah yang lebih mendalam dan akurat.

Dasar Prinsip

Elektroforesis adalah proses yang memanfaatkan medan listrik untuk memisahkan molekul berdasarkan perbedaan muatan dan ukuran mereka. Molekul-molekul ini bergerak dalam medan listrik melalui medium, seperti gel, pada kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada muatan dan ukurannya.

Elektroforesis adalah suatu proses pemisahan yang berdasarkan pada penggunaan medan listrik untuk memisahkan molekul-molekul berdasarkan perbedaan muatan dan ukuran mereka. Proses ini merupakan salah satu teknik yang paling penting dan sering digunakan dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk biokimia, biomedis, dan genetika. Prinsip dasar elektroforesis melibatkan pergerakan molekul-molekul dalam suatu medium, biasanya gel, saat diberikan medan listrik. Selama perjalanan mereka melalui medium ini, molekul-molekul tersebut akan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda, yang ditentukan oleh dua faktor utama: muatan mereka dan ukuran fisiknya.

Muatan adalah salah satu sifat paling kritis yang memengaruhi pergerakan molekul dalam elektroforesis. Molekul-molekul yang memiliki muatan positif akan bergerak menuju elektrode negatif, sementara molekul-molekul yang bermuatan negatif akan bergerak menuju elektrode positif. Ini mirip dengan cara partikel bermuatan bergerak dalam medan listrik, mengikuti hukum

Coulomb tentang tarikan dan tolakan antar muatan yang berlawanan.

Selain muatan, ukuran fisik molekul juga memainkan peran penting dalam pemisahan mereka dalam elektroforesis. Molekul-molekul yang lebih besar akan mengalami hambatan lebih besar saat bergerak melalui medium, sehingga mereka cenderung bergerak lebih lambat dibandingkan dengan molekul yang lebih kecil. Ini menciptakan pemisahan berdasarkan ukuran, di mana molekul-molekul dengan ukuran serupa akan berkumpul bersama dalam area tertentu pada gel, sementara molekul yang lebih besar atau lebih kecil akan berada di lokasi yang berbeda dalam gel.

Elektroforesis memiliki berbagai variasi dan aplikasi yang luas. Misalnya, dalam elektroforesis gel poliakrilamida (Polyacrylamide Gel Electrophoresis/ PAGE), digunakan untuk memisahkan protein berdasarkan ukuran dan muatan mereka, yang sangat penting dalam analisis biokimia dan biomedis. Sedangkan dalam elektroforesis kapiler (Capillary Electrophoresis/CE), dipakai untuk memisahkan senyawa kimia dengan presisi tinggi dalam berbagai bidang, termasuk analisis farmasi dan forensik.

Dalam perkembangannya, elektroforesis terus menjadi alat yang makin canggih dan sensitif dalam penelitian ilmiah. Terobosan teknologi dalam elektroforesis, seperti elektroforesis kapiler tingkat mikro (Microchip Electrophoresis) dan integrasi dengan deteksi fluoresensi atau spektrometri massa, telah menghasilkan metode analisis yang lebih cepat dan akurat. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang prinsip dasar elektroforesis sangat penting dalam mengembangkan teknik analisis modern yang mendukung kemajuan ilmu pengetahuan dan aplikasi di masa depan.

Mekanisme Kerja

Ketika suatu sampel (misalnya protein) diletakkan dalam medan listrik, protein dengan muatan positif akan bergerak menuju elektroda negatif dan sebaliknya. Seberapa cepat protein bergerak, atau migrasi, akan tergantung pada ukuran, bentuk, dan muatan listrik molekul tersebut. Medium gel, seperti agarose atau poliakrilamida, bertindak sebagai hambatan dan membuat molekul berukuran besar bergerak lebih lambat daripada molekul berukuran kecil.

Elektroforesis adalah teknik yang penting dalam biokimia, biologi molekuler, dan ilmu-ilmu terkait yang digunakan untuk memisahkan molekul-molekul berdasarkan muatan listrik dan ukuran mereka. Mekanisme kerja elektroforesis didasarkan pada prinsip dasar bahwa molekul-molekul dalam sampel akan bergerak dalam respons terhadap medan listrik yang diterapkan. Ketika suatu sampel, misalnya protein atau asam nukleat (seperti DNA atau RNA), ditempatkan dalam medan listrik dengan elektroda positif dan negatif, molekul-molekul dalam sampel akan mendapatkan muatan listrik yang sesuai. Molekul-molekul dengan muatan positif akan ditarik menuju elektroda negatif, sementara molekul dengan muatan negatif akan bergerak menuju elektroda positif. Besarnya muatan listrik dan mobilitas elektroforetik (seberapa cepat molekul bergerak) akan sangat memengaruhi seberapa jauh molekul bergerak selama elektroforesis.

Selanjutnya, medium gel seperti agarose atau poliakrilamida digunakan untuk membatasi pergerakan molekul-molekul dalam sampel. Gel bertindak sebagai hambatan fisik yang menghambat pergerakan molekul. Jika molekul-molekul berukuran besar harus melewati gel, mereka akan bergerak lebih lambat daripada molekul-molekul berukuran kecil karena gel memberikan

hambatan fisik yang lebih besar. Ini menghasilkan pemisahan molekul berdasarkan ukuran mereka, di mana molekul-molekul dengan ukuran yang lebih besar akan bergerak lebih lambat dan berhenti lebih dekat dengan titik aplikasi awal dibandingkan dengan molekul-molekul yang lebih kecil.

Dalam elektroforesis, faktor-faktor seperti tegangan listrik yang diterapkan, durasi elektroforesis, jenis medium gel, dan kondisi lingkungan lainnya harus diperhitungkan dengan cermat untuk memastikan bahwa pemisahan molekul yang diinginkan dapat dicapai secara efisien dan akurat. Oleh karena itu, elektroforesis sering digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk analisis pemisahan protein, pemisahan fragmen DNA dalam analisis genetik, dan pemisahan RNA dalam penelitian biokimia dan biologi molekuler.

Elektroforesis terus berkembang dengan penggunaan teknologi yang lebih canggih seperti elektroforesis kapiler yang memungkinkan pemisahan molekul dalam waktu singkat dan dengan resolusi yang lebih baik. Ini berpotensi untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam berbagai aplikasi ilmiah dan klinis. Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang prinsip-prinsip elektroforesis, penelitian dan pengembangan di bidang ini akan terus memberikan kontribusi besar terhadap kemajuan dalam ilmu-ilmu biologi dan kimia.

Aplikasi dalam Kimia Klinik

Dalam kimia klinik, elektroforesis seringkali digunakan untuk analisis serum protein. Misalnya, pada pasien dengan multiple myeloma (sejenis kanker sel plasma), akan ada peningkatan produksi satu jenis protein yang disebut paraprotein atau M-protein. Dengan elektroforesis, M-protein ini dapat terdeteksi sebagai puncak yang tajam dalam spektrum protein serum. Pada thalassemia (gangguan hemoglobin pada sel darah merah), elektroforesis digunakan

untuk mengidentifikasi dan membedakan bentuk-bentuk abnormal dari hemoglobin.

Dalam kimia klinik, elektroforesis adalah teknik yang sangat berharga untuk analisis berbagai macam sampel biologis, khususnya dalam pemisahan dan karakterisasi protein. Salah satu aplikasi yang signifikan adalah penggunaan elektroforesis dalam analisis serum protein.

Contoh yang mencolok adalah dalam diagnosis multiple myeloma, sejenis kanker yang memengaruhi sel plasma dalam sumsum tulang. Pasien dengan kondisi ini cenderung memiliki peningkatan produksi protein tertentu yang disebut paraprotein atau M-protein. Elektroforesis serum digunakan untuk mendeteksi M-protein ini sebagai puncak tajam dalam spektrum protein serum. Analisis elektroforesis ini memberikan informasi krusial kepada dokter untuk mengonfirmasi diagnosis dan untuk memantau perkembangan penyakit selama perawatan.

Selain itu, elektroforesis juga digunakan dalam identifikasi dan pemisahan berbagai jenis hemoglobin dalam kasus thalassemia, kelompok gangguan darah yang ditandai oleh gangguan pada hemoglobin dalam sel darah merah. Dengan elektroforesis, bentuk-bentuk abnormal dari hemoglobin yang ada dalam sampel darah dapat diidentifikasi dan dibedakan dengan akurat. Ini membantu dalam diagnosis jenis thalassemia tertentu dan membimbing perawatan yang sesuai.

Keunggulan elektroforesis adalah kemampuannya untuk memisahkan molekul berdasarkan muatan listrik dan ukuran mereka. Ini memungkinkan identifikasi dan karakterisasi yang akurat dari berbagai jenis molekul biologis, terutama protein dalam konteks kimia klinik. Dengan pemahaman yang lebih dalam tentang profil elektroforesis, diagnosis penyakit, pemantauan perkembangan penyakit, dan penelitian ilmiah di bidang biomedis semakin ditingkatkan. Dalam masa depan, teknologi elektroforesis yang lebih canggih dan sensitif dapat

terus memainkan peran penting dalam kemajuan dalam bidang kesehatan dan ilmu biokimia.

Kelebihan dan Keterbatasan

Keunggulan utama elektroforesis adalah kemampuannya untuk memisahkan molekul dengan perbedaan muatan dan ukuran yang sangat kecil, membuatnya sangat sensitif. Namun, proses ini mungkin memerlukan sampel yang cukup besar dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan teknik analitis lainnya. Selain itu, interpretasi hasil memerlukan keahlian khusus.

Elektroforesis adalah teknik pemisahan yang kuat yang digunakan dalam berbagai bidang ilmu, termasuk biokimia, biologi molekuler, dan kimia klinik. Sebagai alat analisis yang sangat sensitif, elektroforesis memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya pilihan utama dalam banyak aplikasi, tetapi juga memiliki beberapa keterbatasan yang harus dipertimbangkan.

Keunggulan Elektroforesis

1. **Pemisahan Molekul yang Sangat Baik:** Salah satu keunggulan utama elektroforesis adalah kemampuannya untuk memisahkan molekul dengan sangat baik berdasarkan muatan listrik dan ukuran mereka. Ini memungkinkan identifikasi dan pemisahan molekul yang serupa atau bahkan identik secara struktural tetapi memiliki karakteristik yang berbeda.
2. **Sensitivitas Tinggi:** Elektroforesis adalah teknik yang sangat sensitif, yang memungkinkan deteksi molekul dalam jumlah kecil. Hal ini bermanfaat dalam berbagai aplikasi di mana sampel mungkin terbatas, seperti analisis protein atau asam nukleat dalam sampel biologis.
3. **Pemisahan Kelompok Molekul:** Elektroforesis dapat digunakan untuk memisahkan kelompok molekul yang

berbeda, seperti protein, DNA, atau RNA, dalam satu eksperimen. Ini memungkinkan analisis berbagai komponen dalam sampel yang kompleks.

Keterbatasan Elektroforesis

1. **Waktu yang Diperlukan:** Proses elektroforesis mungkin memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan teknik analitis lainnya, terutama jika pemisahan harus sangat akurat. Ini dapat menjadi keterbatasan dalam situasi di mana hasil yang cepat diperlukan.
2. **Persiapan Sampel yang Rumit:** Persiapan sampel untuk elektroforesis sering kali memerlukan langkah-langkah yang rumit, termasuk denaturasi dan pemberian muatan. Ini memerlukan keahlian khusus untuk memastikan bahwa sampel siap untuk analisis.
3. **Interpretasi yang Memerlukan Keahlian:** Hasil elektroforesis sering memerlukan interpretasi yang cermat, terutama dalam situasi di mana ada banyak pita atau band yang perlu diidentifikasi. Keahlian yang baik dalam menganalisis hasil adalah kunci untuk mendapatkan informasi yang akurat.
4. **Volume Sampel yang Diperlukan:** Beberapa teknik elektroforesis mungkin memerlukan volume sampel yang cukup besar, yang mungkin menjadi keterbatasan jika sampel terbatas.
5. **Difusi:** Dalam elektroforesis, ada fenomena difusi yang dapat memengaruhi pemisahan molekul, terutama dalam perjalanan yang panjang. Ini dapat membatasi akurasi dalam pemisahan molekul yang sangat mirip ukuran dan muatan.

Pemahaman yang mendalam tentang keunggulan dan keterbatasan elektroforesis adalah kunci dalam penggunaan yang efektif dari teknik ini dalam berbagai aplikasi ilmiah dan klinis.

Dengan perkembangan teknologi dan metode elektroforesis yang lebih canggih, keterbatasan tertentu mungkin dapat diatasi, dan teknik ini akan terus berperan penting dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan penelitian.

Prospek Masa Depan

Seiring berjalannya waktu, variasi teknik elektroforesis, seperti elektroforesis kapiler, telah dikembangkan untuk meningkatkan kecepatan dan resolusi pemisahan. Dengan kemajuan teknologi, kita juga melihat integrasi antara elektroforesis dengan teknologi lain seperti spektrometri massa untuk analisis molekul yang lebih mendalam.

Dengan peranannya yang tak tergantikan dalam diagnosis dan pemantauan berbagai penyakit, elektroforesis tetap menjadi salah satu teknik utama yang digunakan dalam laboratorium kimia klinik modern.

3. Kromatografi

Metode pemisahan ini memanfaatkan perbedaan afinitas (kecenderungan) molekul untuk bergerak melalui medium (seperti kolom atau gel). Kromatografi sangat berguna untuk memisahkan dan mengidentifikasi komponen dalam campuran kompleks.

Kromatografi sering digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Dalam analisis kualitatif, kromatografi memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi komponen-komponen dalam sampel berdasarkan pada waktu retensi atau karakteristik elusi mereka. Misalnya, ketika sampel dianalisis dengan kromatografi cair-tinggi kinerja (High-Performance Liquid Chromatography/HPLC), masing-masing senyawa dalam sampel akan muncul pada waktu retensi yang berbeda dalam spektrum deteksi. Ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa tersebut berdasarkan perbandingan dengan standar atau spektrum referensi.

Di sisi lain, dalam analisis kuantitatif, kromatografi digunakan untuk menentukan jumlah relatif atau absolut dari komponen-komponen dalam sampel. Hal ini bisa sangat berharga dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam penelitian farmasi untuk memastikan konsentrasi obat yang tepat dalam produk farmasi.

Selain itu, kromatografi memiliki beragam variasi dan aplikasi, seperti kromatografi gas (Gas Chromatography/GC), kromatografi lapis tipis (Thin-Layer Chromatography/TLC), dan kromatografi pertukaran ion (Ion-Exchange Chromatography/IEC), yang masing-masing memiliki kegunaan khusus dalam pemisahan dan analisis.

Dengan demikian, kromatografi adalah salah satu alat terpenting dalam dunia ilmiah dan laboratorium, memungkinkan peneliti untuk menjalani berbagai eksperimen yang membutuhkan pemisahan dan analisis komponen sampel. Dengan kemampuannya yang luar biasa untuk memisahkan dan mengidentifikasi zat-zat dalam sampel, kromatografi terus berperan dalam meningkatkan pemahaman kita terhadap kimia dan biologi, serta mendukung berbagai aplikasi dalam berbagai disiplin ilmu.

Prinsip Dasar

Kromatografi adalah suatu teknik pemisahan yang mengacu pada distribusi komponen antara dua fase, yaitu fase stasioner (tidak bergerak) dan fase gerak (bergerak). Komponen dalam sampel yang memiliki afinitas (kecenderungan) yang berbeda terhadap fase stasioner akan bergerak pada kecepatan yang berbeda-beda saat fase gerak melaluinya, sehingga menghasilkan pemisahan.

Kromatografi, dalam konteks prinsip dasarnya, merupakan suatu teknik pemisahan yang sangat penting dalam berbagai bidang ilmu, termasuk kimia, biokimia, dan biomedis. Prinsip dasar kromatografi adalah pemisahan komponen-komponen dalam sebuah sampel berdasarkan perbedaan afinitas atau kecenderungan mereka terhadap dua fase yang berperan dalam proses ini: fase stasioner (tidak bergerak) dan fase gerak (bergerak).

Fase stasioner adalah media yang tidak berpindah tempat, seperti kolom kromatografi yang diisi dengan bahan tertentu. Sementara itu, fase gerak adalah cairan atau gas yang mengalir melalui media stasioner. Proses pemisahan dimulai ketika sampel yang mengandung berbagai komponen diinjeksikan ke dalam sistem kromatografi. Kemudian, fase gerak akan mengalir melalui fase stasioner, dan komponen-komponen dalam sampel akan berinteraksi dengan kedua fase ini.

Apa yang membuat kromatografi sangat efektif adalah bahwa komponen-komponen dalam sampel memiliki afinitas yang berbeda-beda terhadap fase stasioner dan fase gerak. Dengan kata lain, beberapa komponen mungkin lebih cenderung berinteraksi dengan fase stasioner, sementara yang lain lebih suka bergerak dengan fase gerak. Akibatnya, komponen-komponen ini akan bergerak pada kecepatan yang berbeda-beda selama fase gerak melaluinya.

Hasilnya adalah pemisahan yang cukup jelas antara komponen-komponen sampel. Komponen-komponen yang memiliki afinitas lebih tinggi terhadap fase stasioner akan bergerak lebih lambat, sementara yang memiliki afinitas lebih rendah akan bergerak lebih cepat. Dalam beberapa jenis kromatografi, seperti kromatografi cair-bergas atau kromatografi lapis tipis, pemisahan ini dapat diamati sebagai pemisahan fisik yang tampak saat komponen-komponen muncul sebagai pita atau spot terpisah pada media kromatografi.

Penerapan prinsip dasar ini dalam praktek klinis, misalnya, dapat digunakan untuk menganalisis sampel darah dan mengidentifikasi berbagai komponen seperti hormon, protein, atau senyawa metabolit. Kromatografi telah menjadi alat penting dalam bidang diagnostik medis dan penelitian ilmiah karena kemampuannya untuk memberikan pemisahan yang akurat dan sensitif.

Terus berkembangnya teknologi kromatografi dan pengembangan metode baru akan terus memperluas aplikasi dan meningkatkan akurasi dalam pemisahan dan analisis komponen-komponen dalam berbagai jenis sampel. Sebagai kontribusi terhadap masa depan, perkembangan dalam kromatografi akan terus mendukung penelitian dan praktik klinis, membawa manfaat signifikan dalam pemahaman dan peningkatan kualitas berbagai aspek ilmu pengetahuan dan kesehatan.

Mekanisme Kerja

Ketika campuran diletakkan pada satu ujung kolom kromatografi, fase gerak (misalnya pelarut) akan mendorong campuran melewati kolom. Komponen-komponen yang memiliki afinitas kuat terhadap fase stasioner (misalnya, material kolom atau gel) akan tertahan lebih lama, sementara komponen dengan afinitas rendah akan bergerak lebih cepat. Ini mengakibatkan pemisahan berdasarkan interaksi antara molekul dengan fase stasioner.

Kromatografi adalah teknik pemisahan yang sangat penting dalam dunia kimia, biokimia, dan ilmu-ilmu terkait. Mekanisme kerja kromatografi didasarkan pada prinsip dasar bahwa campuran yang akan dipisahkan akan berinteraksi berbeda dengan dua fase yang ada dalam sistem kromatografi: fase gerak dan fase stasioner. Di bawah ini adalah penjelasan yang lebih mendalam tentang mekanisme kerja kromatografi:

1. **Fase Gerak dan Fase Stasioner:** Dalam kromatografi, ada dua fase yang berperan penting. Fase gerak adalah cairan atau gas yang mengalir melalui kolom atau media pemisahan. Fase stasioner adalah media yang diam, seperti kolom kromatografi berisi partikel padat atau kertas kromatografi. Interaksi antara molekul dalam campuran dengan fase stasioner akan mempengaruhi seberapa cepat mereka bergerak melalui sistem.
2. **Interaksi Molekular:** Setiap komponen dalam campuran memiliki karakteristik interaksi yang berbeda dengan fase stasioner. Komponen-komponen yang memiliki afinitas tinggi terhadap fase stasioner akan terikat secara kuat dan tertahan lebih lama dalam kolom. Sebaliknya, komponen-komponen dengan afinitas rendah akan bergerak lebih cepat melalui kolom.
3. **Pemisahan Berdasarkan Afinitas:** Kromatografi memungkinkan pemisahan komponen-komponen dalam campuran berdasarkan afinitas mereka terhadap fase stasioner. Komponen-komponen yang lebih kuat terikat akan mengalami retensi yang lebih lama, sementara yang lebih lemah akan elusi lebih awal. Ini menghasilkan pemisahan yang berkualitas.
4. **Deteksi dan Analisis:** Setelah komponen-komponen dipisahkan, mereka dapat dideteksi dan dianalisis lebih lanjut. Deteksi dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti spektrofotometri, detektor massa, atau detektor konduktivitas, tergantung pada jenis kromatografi yang digunakan.
5. **Jenis Kromatografi:** Ada berbagai jenis kromatografi, termasuk kromatografi cair, kromatografi gas, dan kromatografi lapis tipis, yang masing-masing memiliki prinsip dan aplikasi khusus. Misalnya, kromatografi cair digunakan untuk pemisahan senyawa-senyawa dalam

larutan cair, sementara kromatografi gas lebih cocok untuk senyawa-senyawa yang mudah menguap.

Kromatografi memiliki berbagai aplikasi dalam berbagai bidang, seperti kimia farmasi, biokimia, analisis forensik, dan banyak lagi. Ini memungkinkan pemisahan dan karakterisasi senyawa-senyawa yang sangat kompleks dalam sampel, membantu dalam identifikasi senyawa tertentu dalam analisis kimia, dan mendukung penelitian ilmiah di berbagai disiplin. Dengan perkembangan teknologi, kromatografi terus menjadi lebih canggih dan sensitif, memungkinkan penggunaan yang lebih luas dan akurat dalam berbagai aplikasi ilmiah dan klinis.

Aplikasi dalam Kimia Klinik

Kromatografi telah menjadi alat yang sangat berharga dalam kimia klinik, terutama dalam identifikasi dan kuantifikasi metabolit (produk metabolisme), obat-obatan, dan molekul lain dalam sampel biologis. Sebagai contoh, kromatografi cair berkinerja tinggi (HPLC - High Performance Liquid Chromatography) dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi obat tertentu dalam plasma darah, sehingga memungkinkan penyesuaian dosis yang optimal untuk pasien.

Kromatografi, khususnya teknik kromatografi cair berkinerja tinggi (HPLC), memiliki peran penting dalam dunia kimia klinik dengan menyediakan alat yang sangat berharga untuk analisis berbagai komponen dalam sampel biologis seperti darah, urine, atau cairan serebrospinal. Di bawah ini adalah penjelasan yang lebih mendalam tentang aplikasi kromatografi dalam kimia klinik:

Identifikasi dan Kuantifikasi Metabolit: Dalam pengujian kimia klinik, penting untuk memantau konsentrasi metabolit tertentu dalam sampel biologis, karena perubahan dalam profil

metabolit dapat menjadi indikator penyakit atau respons terhadap pengobatan. Kromatografi memungkinkan pemisahan, identifikasi, dan kuantifikasi yang akurat dari metabolit ini. Contoh aplikasi yang umum adalah pemantauan glukosa dalam darah untuk diagnosis dan manajemen diabetes.

Pengukuran Obat-obatan: Kromatografi juga digunakan untuk mengukur konsentrasi obat-obatan dalam sampel biologis, seperti plasma darah. Hal ini sangat penting dalam pengaturan dosis yang tepat untuk pasien, mengoptimalkan efek terapeutik sambil menghindari toksisitas obat. Dalam beberapa kasus, obat-obatan dapat mempengaruhi metabolisme atau eliminasi zat lain dalam tubuh, dan HPLC memungkinkan pemantauan interaksi obat yang potensial.

Pemantauan Toksin: Dalam situasi paparan toksin atau keracunan, kromatografi dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi zat beracun dalam sampel biologis. Ini membantu dalam diagnosis dan manajemen pasien yang terpapar bahan berbahaya.

Penelitian **Klinis:** Kromatografi juga digunakan dalam penelitian klinis untuk mengidentifikasi biomarker atau molekul indikator yang terkait dengan penyakit tertentu. Penemuan ini dapat mendukung diagnosis lebih awal atau pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme penyakit.

Keunggulan kromatografi cair berkinerja tinggi termasuk sensitivitas tinggi, akurasi, dan ketepatan waktu dalam memberikan hasil analisis. Namun, perlu diingat bahwa interpretasi hasil memerlukan keahlian khusus dan kalibrasi yang cermat. Dengan demikian, kromatografi cair berkinerja tinggi telah menjadi salah satu alat utama dalam kimia klinik, membantu dokter dan peneliti dalam diagnosis penyakit, pemantauan terapi, dan penelitian ilmiah yang lebih mendalam. Dalam masa depan, terus terjadi perkembangan teknologi

kromatografi yang dapat meningkatkan efisiensi dan sensitivitas analisis dalam aplikasi kimia klinik yang lebih luas.

Kelebihan dan Keterbatasan

Salah satu kelebihan utama kromatografi adalah sensitivitas dan kemampuannya untuk memisahkan campuran yang sangat kompleks. Namun, proses ini mungkin memerlukan waktu yang lama, tergantung pada jenis kromatografi dan kompleksitas sampel. Perangkat kromatografi juga bisa menjadi mahal dan memerlukan pemeliharaan rutin.

Kromatografi adalah salah satu alat pemisahan dan analisis yang sangat berharga dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk kimia klinik. Namun, seperti teknik analitis lainnya, kromatografi memiliki sejumlah kelebihan dan keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam penggunaannya:

Kelebihan Kromatografi

1. **Sensitivitas Tinggi:** Salah satu keunggulan utama kromatografi adalah kemampuannya untuk mendeteksi senyawa dalam jumlah yang sangat kecil. Ini memungkinkan pemantauan dan analisis sampel dengan tingkat sensitivitas yang tinggi.
2. **Pemisahan Kompleks:** Kromatografi memungkinkan pemisahan campuran yang sangat kompleks menjadi komponen-komponen individu yang dapat diidentifikasi dan diukur secara terpisah. Ini penting dalam situasi di mana sampelnya sangat kompleks, seperti dalam analisis kimia klinik yang melibatkan sampel biologis.
3. **Akurasi dan Ketepatan:** Hasil yang dihasilkan oleh kromatografi umumnya dianggap akurat dan dapat diandalkan, selama proses dilakukan dengan benar dan peralatan dikalibrasi dengan baik.

Keterbatasan Kromatografi

1. **Waktu yang Diperlukan:** Proses kromatografi dapat memerlukan waktu yang lama, terutama jika pemisahan yang sangat akurat diperlukan. Ini bisa menjadi keterbatasan dalam situasi di mana hasil yang cepat diperlukan.
2. **Biaya dan Pemeliharaan:** Perangkat kromatografi, terutama yang berkualitas tinggi, bisa mahal. Selain itu, mereka memerlukan pemeliharaan rutin agar berfungsi dengan baik. Ini bisa menjadi beban finansial dan operasional bagi laboratorium.
3. **Interpretasi Hasil:** Interpretasi hasil kromatografi memerlukan keahlian khusus, terutama dalam mengidentifikasi puncak-puncak atau band dalam spektrum kromatogram. Kesalahan dalam interpretasi dapat mengarah pada kesalahan analisis.
4. **Persiapan Sampel yang Rumit:** Persiapan sampel sebelum analisis kromatografi seringkali memerlukan langkah-langkah yang rumit, seperti ekstraksi atau derivatisasi, tergantung pada sifat sampelnya.
5. **Kemungkinan Tumpang Tindih:** Dalam beberapa kasus, senyawa dalam sampel mungkin memiliki sifat yang mirip dan tumpang tindih dalam kromatogram, membuat pemisahan dan identifikasi lebih sulit.

Pemahaman yang mendalam tentang kelebihan dan keterbatasan kromatografi adalah penting dalam merencanakan dan menginterpretasi eksperimen analitis. Dengan perkembangan teknologi, kromatografi terus meningkatkan efisiensi dan sensitivitasnya, menjadikannya alat yang semakin berharga dalam ilmu pengetahuan, termasuk dalam aplikasi kimia klinik yang mendukung diagnosis penyakit, pemantauan terapi, dan penelitian ilmiah yang lebih mendalam.

Prospek Masa Depan

Seiring kemajuan teknologi, variasi dari kromatografi tradisional, seperti kromatografi cair superkritis dan kromatografi gas-massa, telah dikembangkan. Ini memungkinkan pemisahan yang lebih cepat, deteksi yang lebih sensitif, dan analisis molekul yang lebih mendalam. Kombinasi kromatografi dengan teknik lain seperti spektrometri massa membawa analisis kimia ke level berikutnya, memberikan wawasan mendalam tentang biologi molekuler dan metabolisme.

Dengan pertumbuhan pesat dalam penelitian metabolomik (studi tentang profil metabolit dalam organisme) dan proteomik (studi tentang protein), kromatografi akan terus memegang peran penting dalam pemahaman kita tentang biokimia dan patofisiologi penyakit.

4. Analisis Otomatis

Dalam era modern, banyak analisis laboratorium yang dikerjakan oleh mesin otomatis yang dapat memproses banyak sampel sekaligus, memberikan hasil dengan cepat dan akurasi yang tinggi. Dalam era futuristik yang kita hadapi, integrasi teknologi seperti kecerdasan buatan dan big data akan memainkan peran penting dalam mempercepat analisis dan interpretasi data laboratorium. Dengan kemajuan ini, kita dapat mengharapkan diagnosis yang lebih dini, intervensi yang lebih tepat, dan hasil kesehatan yang lebih baik untuk pasien di seluruh dunia.

Analisis otomatis dalam laboratorium merupakan kemajuan signifikan dalam dunia ilmu pengetahuan dan teknologi, terutama dalam konteks kimia klinik dan biokimia. Teknik ini telah mengubah cara kita melakukan analisis laboratorium dengan memberikan efisiensi yang tinggi, akurasi yang lebih baik, dan pemrosesan yang cepat. Dalam era futuristik

yang mendatang, kita dapat mengantisipasi evolusi lebih lanjut dalam analisis otomatis yang didorong oleh teknologi canggih seperti kecerdasan buatan (AI) dan big data. Berikut adalah pengembangan lebih lanjut tentang peran analisis otomatis di masa depan:

1. Penggunaan Teknologi Otomasi

Mesin otomatis saat ini dapat mengelola berbagai jenis sampel dalam jumlah besar, meminimalkan kesalahan manusia, dan memberikan hasil dengan akurasi yang tinggi. Misalnya, analisis otomatis telah menjadi pilar dalam tes laboratorium rutin seperti pengukuran glukosa darah atau pemantauan profil lipid dalam diagnosis penyakit kardiovaskular. Ini menghemat waktu, sumber daya, dan mengurangi potensi kesalahan manusia.

2. Integrasi Kecerdasan Buatan (AI)

Dalam era futuristik, AI akan memainkan peran kunci dalam meningkatkan analisis otomatis. AI dapat digunakan untuk memprediksi hasil berdasarkan data sebelumnya, mengenali pola yang sulit untuk dideteksi oleh mata manusia, dan mempercepat interpretasi hasil. Contohnya adalah penggunaan AI dalam analisis sitologi untuk mendeteksi sel-sel kanker atau dalam analisis genom untuk mengidentifikasi mutasi genetik yang berkaitan dengan penyakit.

3. Pemanfaatan Big Data

Dengan kemampuan untuk mengumpulkan dan menganalisis jumlah data yang besar, big data akan mendukung analisis otomatis yang lebih canggih. Ini memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber, termasuk catatan kesehatan pasien, data laboratorium, dan data genomik. Dengan cara ini, kita dapat memahami tren kesehatan yang lebih besar dan membuat keputusan yang lebih cerdas dalam diagnosis dan pengobatan.

4. **Diagnosis yang Lebih Dini**

Analisis otomatis yang diperkuat oleh AI dan big data dapat memungkinkan diagnosis penyakit yang lebih dini. Dengan mendeteksi biomarker penyakit pada tahap awal, perawatan dapat dimulai lebih cepat, meningkatkan peluang kesembuhan atau manajemen penyakit yang lebih efektif.

5. **Peran dalam Perawatan Terpersonalisasi (*personalized treatment*)**

Kemajuan dalam analisis otomatis dapat mendukung perawatan terpersonalisasi di mana pengobatan dan dosis obat disesuaikan secara spesifik dengan kebutuhan setiap pasien berdasarkan data genetik, respons terhadap obat, dan profil kesehatan individu.

Dalam masa depan, analisis otomatis akan terus berkembang, memberikan kontribusi signifikan dalam dunia kedokteran dan penelitian ilmiah. Dengan teknologi canggih yang semakin terintegrasi, kita dapat mengantisipasi transformasi besar dalam pemantauan kesehatan, diagnosis penyakit, dan pengembangan terapi. Hal ini akan memberikan manfaat besar bagi pasien di seluruh dunia dengan menyediakan perawatan yang lebih baik, lebih cepat, dan lebih terjangkau.

1.4.4 Kontrol Kualitas dalam Laboratorium Kimia Klinik

Setiap laboratorium klinis harus mengedepankan prinsip kontrol kualitas untuk memastikan hasil yang diberikan akurat dan dapat diandalkan. Kontrol kualitas merujuk pada prosedur yang digunakan untuk mendeteksi, mengurangi, dan memperbaiki kesalahan analitis dalam laboratorium. Hal ini melibatkan penggunaan sampel kontrol (sampel dengan konsentrasi yang diketahui) yang diukur secara berkala

untuk memastikan alat bekerja dengan benar. Selain itu, ada protokol yang ketat mengenai penyimpanan reagen, kalibrasi peralatan, dan pelatihan tenaga laboratorium. Kesalahan dalam hasil pengujian bisa berakibat fatal, terutama dalam bidang medis, sehingga penting bagi laboratorium untuk mematuhi standar kontrol kualitas yang tinggi.

Kontrol kualitas (KK) adalah aspek integral dari setiap laboratorium klinis yang bertujuan untuk memastikan keakuratan, keandalan, dan konsistensi hasil uji yang dihasilkan. Dalam konteks laboratorium kimia klinik, kontrol kualitas berperan penting dalam menjaga standar yang tinggi untuk pengujian dan diagnosis penyakit. Berikut adalah pengembangan lebih lanjut tentang konsep dan pentingnya kontrol kualitas dalam laboratorium kimia klinik:

1. Prinsip Kontrol Kualitas

Kontrol kualitas adalah serangkaian langkah dan prosedur yang dirancang untuk:

- Memantau dan mengevaluasi kinerja laboratorium secara berkala.
- Mendeteksi dan mengidentifikasi kesalahan analitis dengan cepat.
- Menjamin bahwa hasil pengujian akurat dan dapat diandalkan.
- Meminimalkan variabilitas dalam pengujian sehari-hari.

2. Penggunaan Sampel Kontrol

Salah satu aspek kunci dari kontrol kualitas adalah penggunaan sampel kontrol, yang merupakan sampel dengan konsentrasi yang diketahui dari analit tertentu. Sampel kontrol digunakan secara berkala selama analisis rutin untuk memastikan bahwa peralatan dan prosedur berfungsi

sebagaimana mestinya. Hasil dari sampel kontrol digunakan untuk memantau variabilitas dan perubahan dalam proses analitis.

3. Kalibrasi Peralatan

Kontrol kualitas mencakup kalibrasi peralatan secara berkala. Peralatan laboratorium seperti spektrofotometer, analiser kimia, dan perangkat lainnya harus dikalibrasi dengan standar yang diketahui untuk memastikan bahwa hasil pengukuran akurat.

4. Pelatihan dan Sertifikasi

Staf laboratorium harus dilatih dengan baik dalam teknik analitis dan prosedur kontrol kualitas. Mereka juga dapat mendapatkan sertifikasi yang mengakui kemampuan mereka dalam menjalankan operasi laboratorium dengan benar.

5. Manajemen Data

Kontrol kualitas juga mencakup manajemen data yang baik. Data hasil pengujian dan kontrol harus dicatat, disimpan, dan dievaluasi secara sistematis. Ini membantu dalam pelacakan tren dan perubahan dalam kinerja laboratorium.

6. Kesalahan Berpotensi

Kesalahan dalam hasil pengujian dapat memiliki konsekuensi serius, terutama dalam diagnosis dan perawatan pasien. Kontrol kualitas membantu mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan secepat mungkin, sehingga mengurangi risiko kesalahan yang dapat membahayakan pasien.

7. Standar Internasional

Laboratorium kimia klinik sering mengikuti standar internasional seperti ISO 15189 untuk memastikan bahwa mereka mematuhi praktik terbaik dalam kontrol kualitas.

Standar ini membantu menjaga kualitas hasil pengujian dan memastikan kepercayaan pasien dan dokter.

8. Peran dalam Pelayanan Kesehatan

Kontrol kualitas memiliki dampak besar pada pelayanan kesehatan secara keseluruhan. Hasil yang akurat dan dapat diandalkan dari laboratorium kimia klinik membantu dokter dalam diagnosis, pengobatan, dan pemantauan pasien.

9. Masa Depan Kontrol Kualitas

Dalam era futuristik, teknologi seperti kecerdasan buatan (AI) dan big data akan semakin memainkan peran penting dalam kontrol kualitas. AI dapat digunakan untuk analisis data yang lebih canggih dan deteksi dini kesalahan. Dengan demikian, kontrol kualitas akan menjadi lebih efisien dan efektif dalam mendukung layanan kesehatan yang lebih baik dan lebih aman bagi pasien di seluruh dunia.

Pentingnya kontrol kualitas dalam laboratorium kimia klinik tidak dapat diremehkan. Ini adalah langkah kritis dalam memastikan bahwa hasil pengujian yang dihasilkan dapat diandalkan, dan hal ini berperan besar dalam diagnosis penyakit, pengobatan, dan perawatan pasien secara efektif.

1.4.5 Teknik-teknik Molekuler dalam Diagnosis

Dengan kemajuan teknologi, teknik molekuler kini menjadi bagian integral dari diagnostik dalam kimia klinik darah. Teknik PCR (*Polymerase Chain Reaction*) memungkinkan amplifikasi DNA sehingga memudahkan deteksi patogen atau mutasi genetik. Teknik lain seperti sekuen DNA dapat mengidentifikasi perubahan pada level gen yang mungkin berkontribusi pada gangguan darah. Teknologi seperti CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) juga memungkinkan untuk manipulasi genetik yang tepat, yang dapat digunakan untuk diagnostik dan potensi terapi.

Dalam beberapa dekade terakhir, peran teknik molekuler dalam diagnostik medis telah berkembang pesat, membawa perubahan paradigma dalam cara kita mendeteksi dan memahami penyakit.

1. Teknik PCR (*Polymerase Chain Reaction*)

Polymerase Chain Reaction (PCR) adalah metode yang revolusioner yang memungkinkan amplifikasi (pembesaran) segmen spesifik DNA dari sampel yang sangat kecil. Dalam konteks kimia klinik, ini berarti bahwa sejumlah kecil patogen, misalnya virus atau bakteri, dapat dideteksi dalam sampel darah bahkan jika konsentrasinya sangat rendah. Ini memberikan keunggulan dalam deteksi dini penyakit infeksi. Selain itu, PCR juga digunakan untuk mendeteksi mutasi genetik yang mungkin terkait dengan gangguan darah tertentu.

Polymerase Chain Reaction (PCR) adalah terobosan penting dalam dunia biologi molekuler yang telah merevolusi berbagai aspek di bidang kimia klinik dan diagnostik medis. Teknik ini memungkinkan amplifikasi (pembesaran) segmen spesifik DNA dari sampel yang sangat kecil, dengan sensitivitas tinggi dan keakuratan. Dalam konteks kimia klinik, PCR memiliki dampak besar dalam deteksi penyakit infeksi, penelitian genetika, dan pemahaman lebih mendalam tentang kondisi medis. Berikut adalah pemahaman yang lebih mendalam tentang PCR:

a. Amplifikasi DNA

PCR memungkinkan duplikasi cepat dan eksponensial dari sejumlah kecil DNA target. Ini dicapai melalui siklus suhu berulang yang mengizinkan DNA untai ganda (*double-stranded DNA*) untuk meleleh menjadi untai tunggal (*single-stranded DNA*), kemudian DNA polimerase menghasilkan salinan baru dari untai tunggal ini. Proses ini berulang

berkali-kali, menghasilkan banyak salinan dari DNA target yang spesifik.

b. Deteksi Patogen Infeksi

PCR memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi keberadaan patogen seperti virus atau bakteri dalam sampel darah atau cairan tubuh lainnya. Bahkan dengan konsentrasi yang sangat rendah, PCR dapat mengamplifikasi dan mendeteksi DNA patogen, memungkinkan diagnosis dini penyakit infeksi yang penting dalam perawatan medis.

c. Identifikasi Mutasi Genetik

PCR juga digunakan untuk mendeteksi mutasi genetik yang mungkin terkait dengan berbagai gangguan darah dan penyakit genetik. Dengan menggunakan primer (sekuens pendek DNA yang spesifik untuk DNA target), PCR dapat memperbesar segmen DNA yang mengandung mutasi tertentu, yang kemudian dapat diidentifikasi dengan metode analisis khusus.

d. Aplikasi dalam Kimia Klinik

Dalam laboratorium kimia klinik, PCR digunakan dalam berbagai uji diagnostik, seperti tes HIV, tes hepatitis, deteksi penyakit menular seksual, dan banyak lagi. Ini memungkinkan dokter untuk mengkonfirmasi diagnosis dengan cepat dan akurat, yang penting untuk perawatan yang tepat.

e. Pengaruh di Masa Depan

PCR terus berkembang dengan munculnya varian teknologi seperti PCR *real-time* (qPCR) dan digital PCR (dPCR). Ini membuka peluang baru untuk analisis molekuler yang lebih canggih dan sensitif. Dalam masa depan, PCR dapat menjadi dasar untuk diagnosis yang lebih

dini, pemantauan penyakit yang lebih efektif, dan pengembangan terapi yang disesuaikan secara genetik.

Dengan kemampuannya untuk mendeteksi dan memperbanyak DNA secara spesifik, PCR telah menjadi alat yang sangat berharga dalam kimia klinik dan diagnostik medis. Terusnyanya perkembangan teknologi PCR akan memberikan manfaat yang lebih besar dalam pemahaman dan pengelolaan penyakit dalam praktik medis sehari-hari.

2. Sekuensing DNA

Sekuensing DNA memungkinkan para peneliti dan klinisi untuk membaca urutan spesifik dari DNA. Dengan teknologi ini, kita dapat mengidentifikasi mutasi atau perubahan pada gen yang mungkin menyebabkan atau meningkatkan risiko penyakit. Dalam kasus gangguan darah, sekuensing DNA sering digunakan untuk mendiagnosis penyakit genetik, seperti thalassemia atau penyakit sel sabit.

Sekuensing DNA adalah teknik mendasar yang memungkinkan kita untuk memahami komposisi genetik individu dengan sangat rinci. Ini merupakan alat penting dalam kimia klinik dan penelitian genetika yang memberikan wawasan mendalam tentang sifat-sifat genetik individu, mutasi, dan risiko penyakit. Di bawah ini adalah pemahaman yang lebih mendalam tentang pentingnya sekuensing DNA dalam diagnostik gangguan darah dan penelitian genetika:

a. Membaca Urutan DNA

Sekuensing DNA adalah proses yang memungkinkan kita untuk membaca urutan asam nukleat dalam molekul DNA. Ini berarti kita dapat memahami urutan spesifik dari A (adenin), T (timin), C (sitosin), dan G (guanin) dalam DNA. Pemahaman tentang urutan DNA sangat penting

dalam menganalisis gen, pengidentifikasian mutasi, dan pemahaman terkait penyakit.

b. Diagnostik Penyakit Genetik

Dalam kimia klinik, sekuensing DNA digunakan untuk mendiagnosis penyakit genetik, termasuk gangguan darah seperti thalassemia dan penyakit sel sabit. Dengan menentukan urutan gen tertentu, kita dapat mengidentifikasi mutasi yang mungkin menyebabkan penyakit tersebut. Ini memungkinkan untuk diagnosis yang lebih akurat dan pemahaman lebih baik tentang bagaimana penyakit tersebut berkembang.

c. Penelitian Genetika

Dalam penelitian genetika, sekuensing DNA memainkan peran penting dalam mengidentifikasi gen yang terlibat dalam perkembangan gangguan darah dan penyakit genetik lainnya. Penelitian ini dapat membantu dalam pengembangan terapi yang lebih efektif dan dalam memahami dasar genetik dari berbagai gangguan.

d. Mendeteksi Mutasi Genetik

Sekuensing DNA juga digunakan untuk mendeteksi mutasi genetik yang mungkin meningkatkan risiko gangguan darah atau penyakit lain. Ini dapat memberikan wawasan tentang faktor risiko genetik dan memungkinkan tindakan pencegahan atau perawatan yang lebih tepat.

e. Masa Depan Sekuensing DNA

Teknologi sekuensing DNA terus berkembang. Sekuensing generasi berikutnya (*Next-Generation Sequencing* - NGS) memungkinkan analisis genom yang lebih cepat dan terjangkau. Di masa depan, ini dapat digunakan untuk pemantauan kesehatan pribadi yang

lebih mendalam dan pengembangan terapi yang disesuaikan secara genetik.

Sekuensing DNA adalah alat yang sangat kuat dalam kimia klinik dan penelitian genetika. Dengan kemampuannya untuk membaca urutan genetik secara rinci, ini memberikan manfaat besar dalam pemahaman penyakit, diagnosis yang akurat, dan pengembangan terapi yang lebih baik. Di era yang akan datang, sekuensing DNA akan memainkan peran yang semakin besar dalam pengelolaan kesehatan individu.

3. Teknologi CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*)

CRISPR adalah alat revolusioner dalam biologi molekuler yang memungkinkan editing gen dengan presisi tinggi. Meskipun potensinya dalam terapi gen sedang dalam penyelidikan, dalam konteks diagnostik, CRISPR dapat digunakan untuk "menargetkan" dan mendeteksi urutan DNA spesifik, memungkinkan identifikasi cepat dari mutasi atau patogen.

Teknologi CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) adalah salah satu inovasi paling mengagumkan dalam biologi molekuler yang memiliki potensi besar dalam berbagai aspek termasuk diagnostik genetika. Teknik ini memungkinkan pengeditan gen dengan presisi tinggi dan telah membuka pintu untuk pengembangan metode diagnostik yang lebih canggih dan efektif. Berikut adalah pemahaman mendalam tentang peran CRISPR dalam diagnostik genetika:

a. Targeting DNA Spesifik

Salah satu keunggulan utama CRISPR dalam diagnostik genetika adalah kemampuannya untuk "menargetkan" urutan DNA yang sangat spesifik. Ini memungkinkan deteksi mutasi genetik, patogen, atau varian genetik tertentu dengan presisi yang tinggi. Misalnya, dalam konteks gangguan darah, CRISPR dapat digunakan untuk mencari mutasi gen yang terkait dengan penyakit.

b. Identifikasi Cepat Mutasi dan Patogen

CRISPR memungkinkan identifikasi cepat mutasi genetik yang mungkin menyebabkan gangguan darah atau risiko penyakit lainnya. Ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan patogen, seperti virus atau bakteri, dalam sampel darah. Kecepatan dalam identifikasi ini memiliki potensi besar dalam deteksi dini penyakit.

c. Kelebihan Sensitivitas dan Spesivisitas

CRISPR sering memiliki sensitivitas dan spesivisitas yang lebih tinggi daripada metode diagnostik konvensional. Ini berarti bahwa hasilnya lebih akurat dan memiliki kemampuan untuk membedakan dengan tepat antara berbagai varian genetik atau patogen yang serupa.

d. Keahlian dan Kontrol Kualitas yang Diperlukan

Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan CRISPR dalam diagnostik memerlukan peralatan khusus dan tingkat keahlian yang tinggi. Proses ini juga harus diawasi dengan ketat untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil. Kesalahan dalam prosedur CRISPR dapat menghasilkan data yang tidak akurat.

e. Masa Depan Teknologi CRISPR

Teknologi CRISPR terus berkembang, dan di masa depan, kita dapat mengharapkan lebih banyak aplikasi dalam diagnostik genetika yang akan memungkinkan penemuan dini penyakit genetik, pemantauan kesehatan individu yang lebih mendalam, dan pengembangan terapi yang disesuaikan secara genetik.

CRISPR telah membawa kemajuan besar dalam diagnostik genetika. Potensinya untuk mendeteksi mutasi genetik, patogen, dan varian genetik dengan presisi tinggi memiliki implikasi yang sangat positif dalam penanganan penyakit dan pemahaman genetik individu. Namun, untuk memastikan keandalan hasil, peralatan yang canggih dan tingkat keahlian yang tinggi sangat diperlukan.

Mengingat beragam potensi teknik molekuler di atas, sangat penting untuk memahami kelebihan dan keterbatasan mereka. Sementara sensitivitas dan spesifisitas mereka dalam mendeteksi patogen atau mutasi seringkali lebih tinggi daripada metode konvensional, mereka juga memerlukan peralatan khusus, keahlian, dan kontrol kualitas ketat untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil.

Teknik molekuler akan terus berperan penting dalam kemajuan diagnostik medis. Kita dapat mengharapkan lebih banyak inovasi dalam hal kecepatan, akurasi, dan biaya, yang akan membawa kita lebih dekat ke tujuan kedokteran presisi - suatu pendekatan di mana pengobatan dan pencegahan disesuaikan dengan karakteristik molekuler, lingkungan, dan gaya hidup individu.

1.4.6 Potensi Terapi Gen dalam Perawatan Gangguan Darah

Terapi gen merupakan pendekatan futuristik yang menjanjikan dalam pengobatan berbagai penyakit termasuk gangguan darah. Konsep dasarnya adalah menggantikan, memperbaiki, atau memperkenalkan fungsi gen untuk mengobati penyakit. Dalam konteks gangguan darah, terapi gen dapat digunakan untuk mengobati penyakit seperti hemofilia atau thalassemia. Misalnya, pendekatan yang sedang diperiksa adalah penggunaan vektor virus untuk menyisipkan gen yang berfungsi dengan baik ke dalam sel darah pasien. Meski menjanjikan, terapi gen masih dalam tahap penelitian dan pengembangan, tetapi potensinya dalam mengobati dan bahkan menyembuhkan gangguan darah adalah sesuatu yang benar-benar revolusioner.

Saat kita bergerak maju ke masa depan, integrasi dari semua teknik dan teknologi ini akan menyediakan alat yang lebih baik untuk diagnosis dan perawatan. Ini, dikombinasikan dengan pendekatan holistik dan individual, akan memungkinkan perawatan yang lebih tepat sasaran dan hasil kesehatan yang lebih baik bagi pasien.

1.5. Interpretasi Hasil dan Klinisnya

1.5.1 Penyimpangan dari Nilai Normal

Setiap tes yang dilakukan dalam kimia klinik darah memiliki rentang nilai referensi atau "nilai normal" yang dianggap sebagai standar kesehatan. Nilai ini didasarkan pada pengukuran dari populasi sehat dan dapat bervariasi berdasarkan jenis kelamin, usia, dan faktor lainnya. Namun, penting untuk diingat bahwa nilai normal hanyalah panduan. Penyimpangan dari nilai referensi ini mungkin menunjukkan adanya kondisi medis tertentu, namun interpretasinya harus dilakukan dengan hati-hati. Beberapa faktor, seperti diet, olahraga, dan stres, dapat

menyebabkan fluktuasi sementara dalam beberapa parameter darah.

Misalnya, peningkatan konsentrasi glukosa darah (gula) dapat mengindikasikan diabetes mellitus. Namun, tingkat glukosa yang sedikit meningkat setelah makan adalah normal. Oleh karena itu, penyimpangan dari nilai normal harus dianalisis dalam konteks klinis keseluruhan pasien.

1.5.2 Implikasi Klinis dari Hasil Analisis

Interpretasi hasil analisis klinik tidak hanya tentang mengidentifikasi penyimpangan dari norma, tetapi juga memahami apa arti penyimpangan tersebut dalam konteks kesehatan keseluruhan pasien.

Sebagai contoh, penurunan jumlah eritrosit (sel darah merah) dan hemoglobin mungkin menunjukkan anemia. Anemia bisa disebabkan oleh berbagai faktor, mulai dari kekurangan zat besi, kerusakan sumsum tulang, hingga kondisi genetik seperti thalassemia. Sementara itu, peningkatan jumlah leukosit (sel darah putih) mungkin menandakan respons imun terhadap infeksi, tetapi juga bisa menjadi tanda kondisi seperti leukemia.

Kenaikan kadar urea dan kreatinin dalam darah biasanya menunjukkan gangguan fungsi ginjal. Sedangkan peningkatan enzim hati seperti SGOT (*Serum Glutamic Oxaloacetic Transaminase*) dan SGPT (*Serum Glutamic Pyruvic Transaminase*) menunjukkan potensi kerusakan hati.

Namun, sangat penting untuk memahami bahwa tes laboratorium hanya merupakan bagian dari gambaran keseluruhan. Hasil analisis harus dipertimbangkan bersamaan dengan gejala klinis, riwayat medis pasien, pemeriksaan fisik, dan informasi lainnya sebelum dokter membuat diagnosis atau rekomendasi perawatan. Interpretasi yang akurat dan holistik

adalah kunci untuk memberikan perawatan yang efektif dan tepat sasaran kepada pasien.

1.5.3 Hubungan antara Hasil Laboratorium dan Gejala Klinis

Pemahaman mendalam mengenai hubungan antara hasil laboratorium dan gejala klinis yang muncul pada pasien merupakan aspek penting dalam dunia kedokteran. Hasil laboratorium, walaupun objektif, harus selalu dilihat dalam konteks gejala klinis pasien untuk mendapatkan gambaran lengkap mengenai kondisi kesehatannya.

Contoh klasik adalah peningkatan kadar troponin I dalam darah, yang merupakan petanda potensial kerusakan otot jantung. Namun, tanpa gejala klinis seperti nyeri dada atau sesak napas, hasil ini mungkin tidak selalu menandakan serangan jantung. Sebaliknya, pasien dengan gejala serangan jantung yang tidak menunjukkan peningkatan troponin perlu didekati dengan hati-hati, karena faktor lain bisa bermain peran.

Demikian pula, keberadaan bakteri dalam hasil kultur urine (urinalisis) menunjukkan infeksi saluran kemih (ISK). Namun, tanpa gejala klinis seperti nyeri saat buang air kecil atau demam, diagnosis ISK mungkin belum tentu benar. Bisa jadi ini hanya kolonisasi bakteri yang tidak berbahaya.

1.5.4 Kesimpulan dan Rekomendasi untuk Pengujian Lanjutan

Setelah mempertimbangkan hasil laboratorium dalam konteks gejala klinis, dokter biasanya akan menyusun kesimpulan mengenai diagnosis yang paling mungkin. Namun, dalam beberapa kasus, hasil awal mungkin belum cukup untuk memberikan kejelasan. Ini adalah saat di mana pengujian lanjutan mungkin dianjurkan.

Misalnya, pasien dengan kadar glukosa darah yang meningkat mungkin perlu menjalani tes toleransi glukosa oral untuk menentukan apakah mereka memiliki diabetes. Atau, seseorang dengan enzim hati yang meningkat mungkin memerlukan pemindaian ultrasound hati untuk melihat adanya kerusakan atau pembesaran.

Selain itu, hasil laboratorium yang tidak sesuai dengan gejala klinis mungkin memerlukan konfirmasi dengan tes berulang atau pengujian lanjutan. Kesimpulan dan rekomendasi ini akan memandu langkah selanjutnya dalam perawatan pasien, membantu dalam diagnosis, pengobatan, dan, pada akhirnya, memberikan hasil yang optimal bagi pasien.

Dalam perjalanan medis pasien, komunikasi yang efektif antara dokter, ahli laboratorium, dan pasien sendiri adalah kunci untuk memastikan bahwa semua informasi dianalisis dengan benar dan perawatan yang tepat diberikan.

1.6 Studi Kasus: Aplikasi Kimia Klinik dalam Diagnosa Penyakit

1.6.1 Anemia

Anemia adalah kondisi di mana tubuh kekurangan sel darah merah sehat untuk membawa oksigen ke jaringan tubuh. Terdapat berbagai jenis anemia, yang masing-masing memiliki penyebab dan karakteristik tertentu:

1. **Anemia Defisiensi Besi:** Terjadi ketika tubuh tidak memiliki cukup besi untuk menghasilkan hemoglobin, komponen protein dalam sel darah merah yang mengikat oksigen.
2. **Anemia Hemolitik:** Dalam kondisi ini, sel darah merah dihancurkan lebih cepat daripada yang dapat diproduksi oleh sumsum tulang.

3. Anemia Pernisiosa: Disebabkan oleh kekurangan vitamin B12, yang diperlukan untuk produksi sel darah merah.
4. Anemia *Sickle Cell* (Sel Sabit): Adalah kelainan genetik yang menyebabkan produksi hemoglobin abnormal.
5. Perubahan parameter kimia klinik pada anemia

Parameter kimia klinik yang sering terpengaruh pada penderita anemia meliputi kadar hemoglobin yang rendah, hematokrit yang menurun (persentase sel darah merah dalam volume darah total), dan ukuran sel darah merah yang bisa bervariasi (misalnya, sel darah merah yang lebih kecil pada anemia defisiensi besi). Selain itu, tingkat besi serum, ferritin (protein yang menyimpan besi), dan transferrin (protein yang mengangkut besi) mungkin menunjukkan perubahan yang mengindikasikan defisiensi besi atau gangguan metabolisme besi lainnya.

1.6.2 Diabetes Melitus

Diabetes Melitus adalah gangguan metabolisme yang ditandai dengan tingginya kadar glukosa darah (hiperglikemia) akibat ketidakmampuan pankreas menghasilkan insulin (tipe 1) atau ketidakmampuan sel-sel tubuh merespons insulin dengan benar (tipe 2).

Dalam kimia klinik, diagnosa diabetes biasanya melibatkan pengujian berikut:

- a. Tes Glukosa Darah Puasa (Fasting Blood Glucose): Tingkat glukosa darah diukur setelah puasa semalam. Tingkat yang lebih tinggi dari 126 mg/dL pada dua kesempatan berbeda menunjukkan diabetes.
- b. Tes Toleransi Glukosa Oral (Oral Glucose Tolerance Test, OGTT): Pasien akan puasa semalam dan kemudian minum larutan glukosa. Kadar glukosa darah kemudian diukur

pada interval tertentu. Kadar di atas 200 mg/dL dua jam setelah pemberian glukosa menunjukkan diabetes.

- c. Hemoglobin A1c: Tes ini mengukur rata-rata kadar glukosa darah selama dua sampai tiga bulan terakhir. Nilai 6.5% atau lebih tinggi menunjukkan diabetes.

Mengetahui dan memahami perubahan kimia dalam darah pada penyakit-penyakit ini sangat penting untuk mendiagnosis, memantau, dan mengelola kondisi tersebut secara efektif.

1.6.3 Gangguan Ginjal

Ginjal memegang peranan penting dalam menjaga homeostasis (keseimbangan) cairan dan elektrolit dalam tubuh. Gangguan ginjal mengacu pada kondisi di mana fungsi ginjal menurun atau mengalami kerusakan. Gangguan ini bisa bersifat akut atau kronis.

Diagnosis gangguan ginjal melibatkan pemeriksaan parameter seperti:

- a. Urea dan Kreatinin: Mereka adalah produk limbah yang biasanya disaring oleh ginjal. Tingkat yang tinggi dalam darah (azotemia) menunjukkan kemungkinan disfungsi ginjal.
- b. *Glomerular Filtration Rate* (GFR): Estimasi laju filtrasi glomerulus mengindikasikan seberapa baik ginjal menyaring limbah.

1.6.4 Gangguan Hati

Hati adalah organ vital yang bertanggung jawab atas detoksifikasi, produksi protein, dan produksi bahan kimia yang diperlukan untuk pencernaan. Gangguan hati menunjukkan kerusakan atau disfungsi hati.

Parameter kimia klinik dalam diagnosa gangguan hati meliputi:

- a. SGOT dan SGPT: Dikenal juga sebagai AST (Aspartate Aminotransferase) dan ALT (Alanine Aminotransferase). Enzim ini meningkat pada banyak kondisi yang mempengaruhi hati.
- b. Bilirubin: Peningkatan bilirubin dalam darah dapat menyebabkan kuning pada kulit dan mata (jaundice atau ikterus).

1.6.5 Leukemia

Leukemia adalah sejenis kanker darah yang dimulai di sumsum tulang, tempat pembuatan sel darah. Leukemia menghasilkan sejumlah besar leukosit (sel darah putih) yang abnormal.

Ada beberapa tipe leukemia, berdasarkan sel darah yang terpengaruh dan seberapa cepat perkembangannya. Beberapa tipe meliputi:

- a. Leukemia Limfositik Akut (ALL): Berkembang dengan cepat dan mempengaruhi limfosit.
- b. Leukemia Mielogenik Akut (AML): Memiliki perkembangan yang lebih cepat dan mempengaruhi sel myeloid.
- c. Leukemia Limfositik Kronis (CLL) dan Leukemia Mielogenik Kronis (CML): Keduanya berkembang lebih lambat dibandingkan dengan bentuk akut.

1.6.6 Perubahan kimia klinik pada penderita leukemia

Pada penderita leukemia, akan terjadi peningkatan jumlah leukosit dalam darah. Namun, sel-sel ini mungkin tidak berfungsi dengan baik. Selain itu, pasien mungkin memiliki tingkat hemoglobin yang rendah (anemia) dan trombosit yang rendah

(trombositopenia). Terdapat juga peningkatan laktat dehidrogenase (LDH), yang mengindikasikan kerusakan sel.

Penentuan dan pemahaman perubahan kimia dalam darah dan cairan tubuh lainnya adalah kunci untuk mendeteksi, mendiagnosis, dan mengelola gangguan ginjal, hati, dan penyakit lain seperti leukemia.

1.7 Konklusi

1.7.1 Pentingnya Kimia Klinik dalam Diagnostik Medis

Kimia Klinik adalah pilar utama dalam diagnostik medis, yang memberikan wawasan mendalam tentang status fisiologis dan patologis pasien melalui analisis sampel biologis, terutama darah. Dengan teknik dan teknologi yang ada, para ahli laboratorium mampu mendeteksi abnormalitas kimia pada tingkat molekuler, memungkinkan deteksi dini dan intervensi terhadap berbagai penyakit. Ini bukan hanya tentang mengidentifikasi penyakit tetapi juga mengukur seberapa jauh penyakit telah berkembang dan bagaimana tubuh bereaksi terhadap terapi.

1.7.2 Peran Analisis Darah dalam Pemantauan Kesehatan Pasien

Analisis darah adalah salah satu bentuk pemeriksaan diagnostik yang paling umum dan informatif. Dengan satu sampel darah, dokter dapat memperoleh gambaran umum tentang kesehatan organ vital, fungsi metabolik, dan kemungkinan keberadaan penyakit infeksi atau inflamasi. Selain itu, pemeriksaan darah rutin (hematologi) dapat memberikan informasi tentang jumlah dan kondisi sel darah, yang penting untuk mendiagnosis kondisi seperti anemia atau leukemia.

1.7.3 Prospek Masa Depan Teknologi dan Penelitian dalam Kimia Klinik Darah

Dengan kemajuan teknologi dan penelitian, kita dapat mengantisipasi revolusi dalam cara kita memahami dan mendiagnosis penyakit. Teknologi seperti analisis big data, kecerdasan buatan, dan metode molekuler canggih akan mempercepat identifikasi biomarker penyakit baru. Selanjutnya, integrasi kimia klinik dengan genetika dan genomika akan memungkinkan pendekatan yang lebih personal dalam perawatan medis, memimpin ke era kedokteran presisi. Ini berarti bahwa pengobatan dapat disesuaikan sepenuhnya berdasarkan profil kimia dan genetik individu, memastikan intervensi yang lebih efektif dan efisien.

1.7.4 Pentingnya Kimia Klinik Darah dalam Dunia Medis Modern

Di era medis modern, dengan tantangan penyakit yang kompleks dan berkembang pesat, serta pasien yang semakin berpengetahuan, kebutuhan akan informasi diagnostik yang akurat dan cepat menjadi lebih penting dari sebelumnya. Kimia Klinik Darah telah menjadi pusat gravitasi dalam pengambilan keputusan klinis. Tidak hanya itu memberikan data konkret untuk diagnosis, tetapi juga memandu terapi dan pemantauan penyakit. Selain itu, dengan adanya peran integratif kimia klinik dalam interaksi multidisipliner kedokteran, yaitu berkolaborasi dengan spesialisasi lain, ini memastikan pendekatan holistik terhadap perawatan pasien, menggabungkan ilmu dan teknologi untuk hasil yang optimal bagi pasien.

DAFTAR PUSTAKA

- Agre, P., & Parker, J. C. (2020). Red blood cell membranes: Structure, function, clinical implications (Hematology [New York N.Y.], 11). CRC Press. Boca Raton, FL.
- Basten, G. (2019). Blood Results in Clinical Practice: A Practical Guide to Interpreting Blood Test Results. M&K Update Ltd.
- Рогова, Л. Н., Поветкина, В. Н., & Замечник, Т. В. (2019). Complete blood count and its clinical significance. ЭБС Лань.
- Mckenzie, S., Landis-Piowoward, K., & Williams, L. (2020). Clinical Laboratory Hematology. Pearson.
- Hoffbrand, A. V., Vyas, P., Campo, E., Haferlach, T., & Gomez, K. (2019). Color Atlas of Clinical Hematology: Molecular and Cellular Basis of Disease. Wiley-Blackwell.
- Rodgers, G. P., & Young, N. S. (2019). The Bethesda handbook of clinical hematology. Wolters Kluwer.
- Keohane, E. M., Otto, C. N., & Walenga, J. M. (2019). Rodak's Hematology: Clinical Principles and Applications. Saunders.
- Greer, J. P., Arber, D. A., Glader, B. E., List, A. F., Means Jr., R. T., & Rodgers, G. M. (2018). Wintrobe's Clinical Hematology (14th ed.). LWW.
- Wahed, A., Quesada, A., & Dasgupta, A. (2019). Hematology and Coagulation: A Comprehensive Review for Board Preparation, Certification, and Clinical Practice. Academic Press.
- Rowe, J., Gonzalez, A., Jafri, S., Cen, P., Kanaan, Z., Amato, R., Rios, A., El Osta, H., & Mohlere, V. (2018). Hematology-Oncology Clinical Questions (1st ed., p. 608). McGraw Hill.

- Turgeon, M. L. (2018). *Clinical Hematology* (6th ed.). Jones & Bartlett Learning LLC.
- Rosenoer, V. M., Oratz, M., & Rothschild, M. A. (Eds.). (2014). *Albumin: Structure, function and uses*. Elsevier.
- Busher, J. T. (1990). Serum albumin and globulin. *Clinical methods: The history, physical, and laboratory examinations*, 3, 497-499.
- Nehring, S. M., Goyal, A., & Patel, B. C. (2017). C reactive protein.
- Pepys, M. B., & Hirschfield, G. M. (2003). C-reactive protein: a critical update. *The Journal of clinical investigation*, 111(12), 1805-1812.
- Slatko, B. E., Gardner, A. F., & Ausubel, F. M. (2018). Overview of next-generation sequencing technologies. *Current protocols in molecular biology*, 122(1), e59.
- Lander, E. S. (2016). The heroes of CRISPR. *Cell*, 164(1), 18-28.
- Pickar-Oliver, A., & Gersbach, C. A. (2019). The next generation of CRISPR-Cas technologies and applications. *Nature reviews Molecular cell biology*, 20(8), 490-507.
- Green, M. R., & Sambrook, J. (2019). Polymerase chain reaction. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2019(6), pdb-top095109.
- Erlich, H. A., Gelfand, D., & Sninsky, J. J. (1991). Recent advances in the polymerase chain reaction. *Science*, 252(5013), 1643-1651.
- Valones, M. A. A., Guimarães, R. L., Brandão, L. A. C., Souza, P. R. E. D., Carvalho, A. D. A. T., & Crovela, S. (2009). Principles and applications of polymerase chain reaction in medical diagnostic fields: a review. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40, 1-11.

- Kubista, M., Andrade, J. M., Bengtsson, M., Forootan, A., Jonák, J., Lind, K., ... & Zoric, N. (2006). The real-time polymerase chain reaction. *Molecular aspects of medicine*, 27(2-3), 95-125.
- Mardis, E. R. (2017). DNA sequencing technologies: 2006–2016. *Nature protocols*, 12(2), 213-218.
- Shendure, J., & Ji, H. (2008). Next-generation DNA sequencing. *Nature biotechnology*, 26(10), 1135-1145.
- Shendure, J., Balasubramanian, S., Church, G. M., Gilbert, W., Rogers, J., Schloss, J. A., & Waterston, R. H. (2017). DNA sequencing at 40: past, present and future. *Nature*, 550(7676), 345-353.
- Sitapati, A., Kim, H., Berkovich, B., Marmor, R., Singh, S., El-Kareh, R., ... & Ohno-Machado, L. (2017). Integrated precision medicine: the role of electronic health records in delivering personalized treatment. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine*, 9(3), e1378.
- Smith, I. (Ed.). (2013). *Chromatography*. Elsevier.
- Bier, M. (Ed.). (2013). *Electrophoresis: theory, methods, and applications*. Elsevier.
- Pathak, A., & Agrawal, A. (2019). Evolution of C-reactive protein. *Frontiers in immunology*, 10, 943.
- Forkasiewicz, A., Dorociak, M., Stach, K., Szelachowski, P., Tabola, R., & Augoff, K. (2020). The usefulness of lactate dehydrogenase measurements in current oncological practice. *Cellular & Molecular Biology Letters*, 25(1), 1-14.
- Kafle, B. P. (2019). *Chemical analysis and material characterization by spectrophotometry*. Elsevier.

- Miao, P., Sheng, S., Sun, X., Liu, J., & Huang, G. (2013). Lactate dehydrogenase A in cancer: a promising target for diagnosis and therapy. *IUBMB life*, 65(11), 904-910.
- Mohammadi, S., Hosseinikia, M., Ghaffarian-Bahraman, A., Clark, C. C., Davies, I. G., Yousefi Rad, E., & Saboori, S. (2023). Dietary inflammatory index and elevated serum C-reactive protein: A systematic review and meta-analysis. *Food Science & Nutrition*.

BAB 2

KARBOHIDRAT

Oleh Bobby Pambudi

2.1 Pendahuluan

Terdapat tiga makronutrien pada makanan, yaitu karbohidrat, protein, dan lemak. Molekul-molekul ini terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen. Karbohidrat sebenarnya merupakan terminologi yang mencakup gula, buah-buahan, sayur-sayuran, serat, dan kacang-kacangan. Karbohidrat memiliki peranan penting pada tubuh manusia. Mereka bekerja sebagai sumber energi, mengatur kadar gula darah dan metabolisme insulin, berpartisipasi dalam metabolisme kolesterol dan trigliserid, serta membantu dalam fermentasi (Holesh, 2023).

Konsumsi energi utama tubuh manusia menggunakan karbohidrat yang dipecah oleh traktus digestivus menjadi glukosa. Terutama otak dan sel darah merah, hanya menggunakan glukosa sebagai sumber energinya. Glukosa berlebih pada aliran darah akan disimpan di hepar dan jaringan otot rangka sebagai glikogen hingga energi tambahan dibutuhkan. Apabila konsumsi glukosa berlebihan maka akan digunakan oleh tubuh dan diubah menjadi lemak (Holesh, 2023); (Jørgensen, 2009)

Karbohidrat merupakan alkohol polihidroksida dengan kelompok karbonil aktif yang mungkin adalah kelompok aldehida atau keto. Karbohidrat dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu monosakarida, disakarida, oligosakarida, dan

polisakarida. Monosakarida tidak dapat dihidrolisis lebih lanjut menjadi bentuk lebih sederhana. Disakarida menghasilkan dua monosakarida ketika dihidrolisis. Polisakarida dapat berupa homopolisakarida atau heteropolisakarida (Jørgensen, 2009)

2.2 Jenis-Jenis Karbohidrat

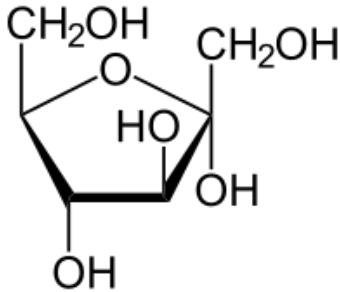
Terdapat berbagai jenis-jenis karbohidrat, yang terdiri dari: (Holesh, 2023).

2.2.1 Karbohidrat sederhana

Karbohidrat sederhana terdiri dari satu atau dua gula (monosakarida atau disakarida) yang tergabung menjadi struktur kimia sederhana. Jenis ini mudah digunakan sebagai energi, menyebabkan peningkatan gula darah dengan cepat, serta sekresi insulin dari pankreas. Contohnya adalah fruktosa, laktosa, maltose, sukrosa, glukosa, galaktosa, dan ribose. Jenis makanan yang biasanya mengandung karbohidrat sederhana adalah permen, minuman bersoda, sirup jagung, jus buah, madu, dan gula (Holesh, 2023).

1. Monosakarida

Unit paling umum dan fundamental pada karbohidrat yang tidak dapat dihidrolisis menjadi bentuk lebih sederhana. Ini merupakan gula sederhana yang tergabung dalam struktur kimia sebagai $C_6H_{12}O_6$. Monosakarida mudah dicerna oleh usus. Contohnya adalah glukosa, galaktosa, dan fruktosa (Holesh, 2023); (Jørgensen, 2009).



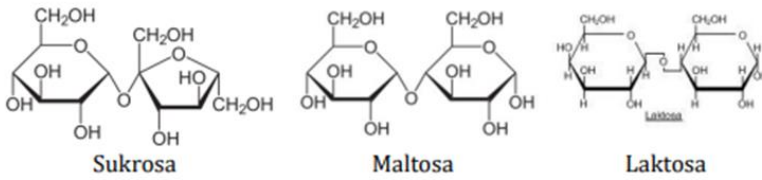
Gambar 2.1. Struktur Monosakarida
Sumber: (Awuchi CG, 2021).

Glukosa merupakan karbohidrat yang penting bagi tubuh manusia. Glukosa dibentuk dari hidrolisis karbohidrat kompleks seperti pati dan dekstrin. Glukosa dapat ditemukan di darah dan memberikan energi pada tubuh. Glukosa juga dapat dihasilkan dari pemecahan glikogen (bentuk penyimpanan glukosa di hepar dan jaringan otot rangka) (Jørgensen, 2009).

Galaktosa merupakan gula tereduksi yang membentuk kristal berbentuk batang. Fruktosa merupakan gula tereduksi dan membentuk kristal osazone. Fruktosa ditemukan di buah dan madu. Selain itu, sukrosa juga dapat dihasilkan dari pemecahan sukrosa oleh sukrase (Jørgensen, 2009).

2. Disakarida

Disakarida mengandung dua monosakarida yang terikat melalui ikatan glikosidik. Ikatan glikosidik ini dibentuk dari reaksi kondensasi dari dua unit gula dengan eliminasi molekul air yang membentuk struktur kimia sebagai $C_{12}H_{22}O_{11}$. Contohnya adalah sukrosa, maltose, dan laktosa (Holesh, 2023) (Jørgensen, 2009).



Gambar 2.2. Struktur Disakarida
 Sumber: (Awuchi CG, 2021).

Sukrosa dapat ditemukan pada tumbuhan, namun tidak pada hewan. Sukrosa dapat ditemukan di tebu, nanas, dan apricot. Sukrosa merupakan gula tidak tereduksi dan dihidrolisasi oleh sukrase menjadi glukosa dan fruktosa. Konsumsi yang berlebihan dapat menyebabkan karies dental, dimana bakteri mulut mengubah gula menjadi asam yang menyerang enamel gigi. Selain itu juga konsumsi berlebihan dikaitkan dengan diabetes melitus. Suatu penelitian pada tikus yang diberikan makanan tinggi sukrosa menghasilkan tikus yang mengidap hipertrigliseridemia, hiperglikemia, dan resistensi insulin (Jørgensen, 2009).

Maltose, disebut juga sebagai gula maltose, memiliki dua molekul glukosa yang tergabung dengan ikatan alfa. Maltosa dihidrolisasi oleh maltase di usus. Maltose adalah gula tereduksi yang membentuk kristal osazone dan merupakan produk perantara dari pencernaan pati (Jørgensen, 2009).

Laktosa, disebut juga sebagai gula susu, merupakan molekul gula besar yang dibentuk oleh dua molekul gula yang lebih kecil, yaitu glukosa dan galaktosa. Laktosa dihidrolisasi oleh laktase di usus. Pada manusia, dapat

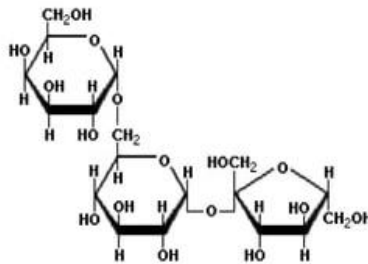
terjadi intoleransi laktosa, ketika susu sulit atau bahkan tidak dapat dicerna akibat kurangnya enzim laktase.

2.2.2 Karbohidrat kompleks

Karbohidrat kompleks terdiri dari satu atau dua gula (oligosakarida atau polisakarida) yang bergabung menjadi struktur kimia lebih kompleks. Karbohidrat ini tidak mudah diserap secara langsung dan harus diubah terlebih dahulu menjadi monosakarida (Jørgensen, 2009). Jenis ini lebih lambat dicerna sehingga memiliki efek gradual terhadap peningkatan gula darah. Contohnya adalah selobiosa, rutinulosa, amilosa, selulosa, dan dextrin. Jenis makanan yang biasanya mengandung karbohidrat sederhana adalah apel, brokoli, lentil, bayam, biji-bijian utuh yang tidak diolah, dan beras coklat (Holesh, 2023).

1. Oligosakarida

Oligosakarida merupakan polimer dengan 3 sampai 10 monosakarida. Contohnya adalah maltodekstrin dan rafinosa (Holesh, 2023).



Gambar 2.3. Struktur Rafinosa

Sumber: (Awuchi CG, 2021).

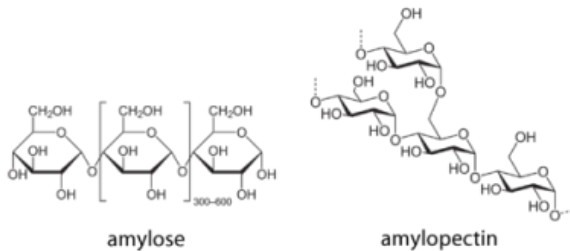
2. Polisakarida

Polisakarida merupakan polimer yang mengandung monosakarida dengan rantai panjang yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik. Polisakarida dapat mengandung

60.000 glukosa sederhana. Contohnya adalah pati, dekstrin, glikogen, amilosa, dan selulosa (Holesh, 2023).

3. Pati

Pati adalah karbohidrat kompleks yang memiliki jumlah molekul glukosa yang banyak. Polisakarida ini dihasilkan oleh tumbuhan. Pati merupakan bentuk penyimpanan glukosa di tubuh dan terbentuk dari 10-20% amilosa dan 80-90% amilopektin. Contohnya adalah kentang, chickpeas, pasta, dan gandum (Holesh, 2023).

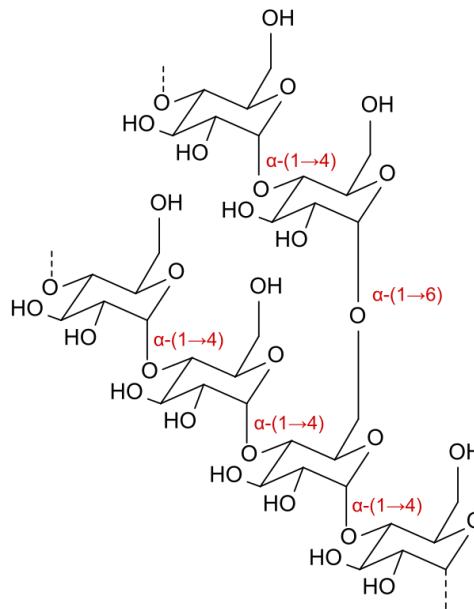


Gambar 2.4. Struktur Amilosa dan Amilopektin

Sumber: (Awuchi CG, 2021).

4. Dekstrin

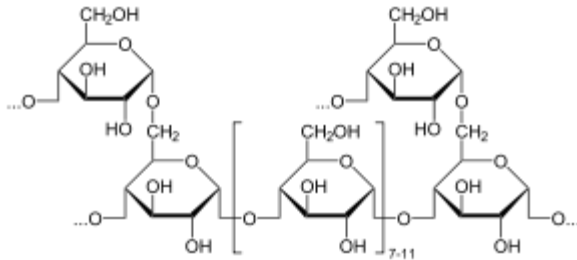
Dekstrin diproduksi dari hidrolisis glikogen atau pati dan merupakan kelompok karbohidrat berat molekul rendah. Dekstrin merupakan produk perantara dari pencernaan pati dan dibentuk dari aksi amilase dan pati. Dekstrin dapat ditemukan pada jagung, gandum, kentang, atau nasi (Jørgensen, 2009).



Gambar 2.5. Struktur Dekstrin
Sumber: (Awuchi CG, 2021).

5. Glikogen

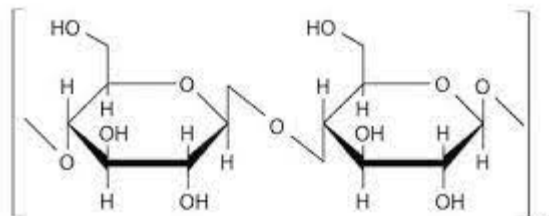
Glikogen atau pati hewani adalah bentuk penyimpanan glukosa pada tubuh, di hepar dan jaringan otot rangka. Glikogen analog dengan pati pada tumbuhan dan mirip dengan amilopektin, dengan berat molekul tinggi dan struktur berantai serta bercabang yang terdiri dari ribuan molekul glukosa. Perbedaan glikogen dan amilopektin adalah glikogen memiliki cabang lebih banyak dan lebih pendek, sehingga bentuknya lebih padar dengan solubilitas lebih besar dan viskositas lebih rendah. Energi oleh glikogen biasanya digunakan saat olahraga (Jørgensen, 2009).



Gambar 2.6. Struktur Glikogen
 Sumber: (Awuchi CG, 2021).

6. Selulosa

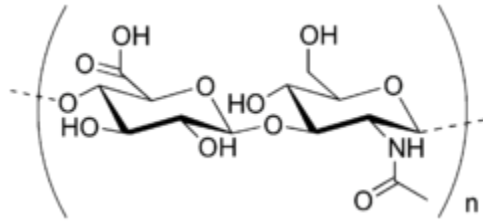
Selulosa adalah polimer alami yang terbuat dari rantai panjang berisi molekul kecil. Ikatan pada selulosa adalah bentuk gula yaitu beta-D-glukosa, terdiri dari 50% karbon. Selulosa bersifat insolubilita, kelembaman, dan kaku. Manusia tidak dapat mencerna selulosa karena tidak memiliki enzim selulose (Jørgensen, 2009).



Gambar 2.7. Struktur Selulosa
 Sumber: (Awuchi CG, 2021).

7. Glikosaminoglikan

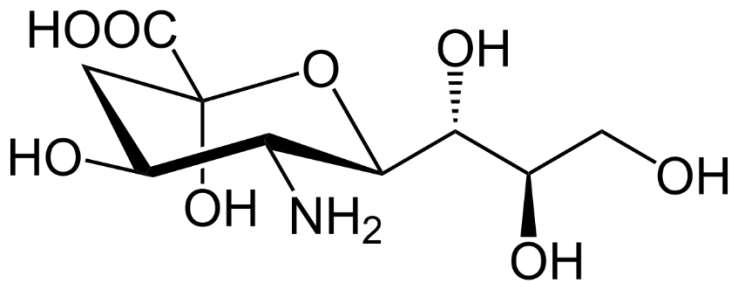
Glikosaminoglikan (GAG) merupakan karbohidrat alami pada kartilago, jaringan ikat, cairan sendi, dan kulit. GAG merupakan polisakarida tidak bercabang yang terdiri dari pengulangan unit asam uronat dan gula amino. GAG terdapat pada permukaan sel hewan dan di matriks ekstraseluler (Jørgensen, 2009).



Gambar 2.8. Struktur Glikosaminoglikan
Sumber: (Awuchi CG, 2021).

8. Asam sialat

N-acetylneuraminic acid merupakan glikonutrien esensial untuk komunikasi dan fungsi sel di tubuh manusia. Asam sialat biasanya ditemukan pada sel mamalia, dalam bentuk residu terminal dari rantai oligosakarida dari glikoprotein (Jørgensen, 2009).



Gambar 2.9. Struktur Asam Sialat
Sumber: (Awuchi CG, 2021).

9. Serat

Serat merupakan karbohidrat kompleks yang tidak dapat dicerna, namun mendukung pertumbuhan bakteri sehat di kolon dan bekerja sebagai agen penggempur yang memudahkan defekasi. Serat tidak dapat dicerna karena tidak memiliki enzim selulase. Komponen utamanya adalah selulosa, hemiselulosa, dan pektin (Holesh, 2023).

a. Tidak dapat dicerna

Tetap berada dalam pencernaan, sehingga melunakkan dan membantu feses. Keuntungannya berupa pergerakan usus regular dan menurunkan risiko divertikulosis. Contohnya adalah dedak, biji-bijian, sayuran, beras coklat, dan kulit kentang (Holesh, 2023).

b. Dapat dicerna

Jenis ini membantu menurunkan kolesterol darah dan jumlah LDL, mengurangi mencejan saat defekasi, dan tidak menaikkan jumlah glukosa darah postprandial. Contohnya adalah buah-buahan berdaging, gandum, brokoli, dan kacang-kacangan kering (Holesh, 2023).

2.3 Fungsi Karbohidrat

Karbohidrat adalah bagian penting dari nutrisi diet. Sumber yang paling sehat adalah karbohidrat kompleks karena efeknya yang tumpul terhadap glukosa darah. Pilihan ini mencakup biji-bijian, sayuran, buah-buahan, dan kacang-kacangan yang belum diolah (Holesh, 2023).

Pola makan orang dewasa yang sehat harus mencakup 45% hingga 65% karbohidrat sebagai bagian dari asupan harian, setara dengan 200 g hingga 300 g per hari. Karbohidrat mengandung sekitar 3,87 kkal/gram (17 kJ/g) energi untuk karbohidrat sederhana dan 3,57-4,12 kkal/gram untuk karbohidrat kompleks. Serat juga merupakan karbohidrat penting. Orang dewasa yang sehat harus mengonsumsi sekitar 30 g serat per hari, karena serat terbukti mengurangi risiko penyakit jantung koroner, stroke, dan masalah pencernaan (Holesh, 2023).

Indeks glikemik adalah alat yang digunakan untuk melacak karbohidrat dan pengaruhnya terhadap gula darah. Skala ini memberi peringkat karbohidrat dari 0 hingga 100 berdasarkan seberapa cepat kenaikan glukosa darah terjadi saat dikonsumsi. Makanan glikemik rendah (55 atau kurang) menghasilkan peningkatan gula darah secara bertahap. Makanan-makanan ini termasuk oatmeal, dedak gandum, muesli, ubi jalar, kacang polong, polong-polongan, sebagian besar buah-buahan, dan sayuran tidak bertepung. Makanan glikemik sedang (56 hingga 69) termasuk oat cepat saji, nasi merah, dan roti gandum. Makanan glikemik tinggi (70 hingga 100) meningkatkan risiko diabetes tipe 2, penyakit jantung, obesitas, dan infertilitas ovulasi. Makanan tersebut antara lain roti putih, serpihan jagung, kentang putih, pretzel, kue beras, dan jagung berondong (Holesh, 2023).

2.4 Metabolisme Karbohidrat

Metabolisme merupakan terminologi yang digunakan untuk menjelaskan komponen kimia di tubuh, jalur yang diambil oleh molekul individu, hubungan intermolekul, dan mekanisme yang mengatur jalur metabolit. Jalur metabolisme dibagi menjadi 3 kategori: (Rodwell V, 2018).

1. Jalur anabolik

Terlibat pada sintesis komponen lebih besar dan kompleks dari prekursor lebih kecil seperti sintesis protein dari asam amino. Sifatnya adalah endotermik.

2. Jalur katabolik

Terlibat pada pemecahan molekul besar yang melibatkan reaksi oksidatif. Sifatnya adalah eksotermik, menghasilkan ekuivalen pereduksi, dan biasanya melalui rantai pernapasan menghasilkan ATP.

3. Jalur amfibolik

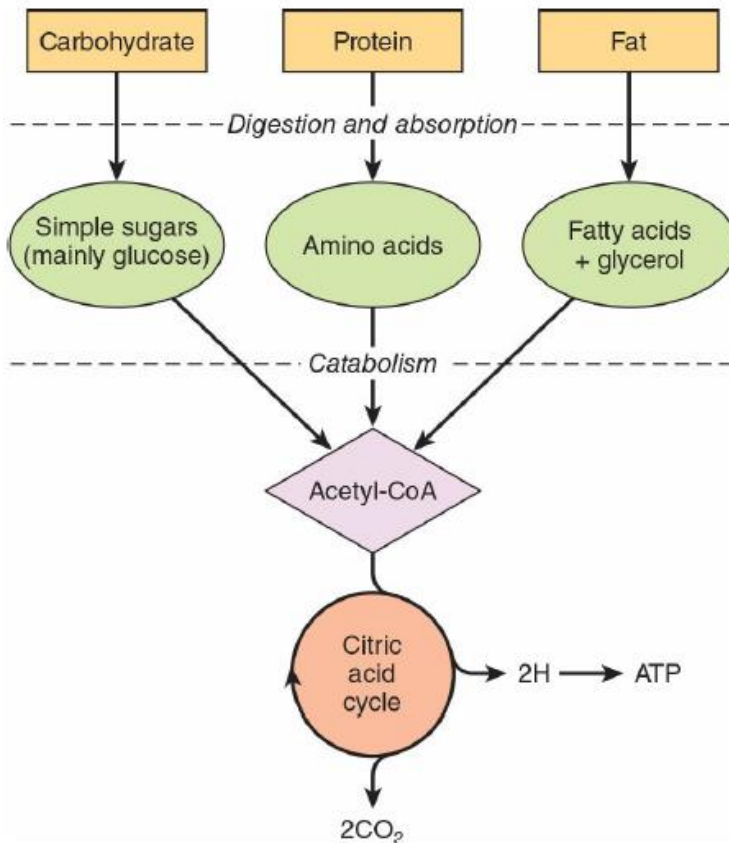
Jalur ini terjadi pada persimpangan metabolisme, bekerja sebagai penghubung antara jalur anabolik dan katabolik. Contohnya adalah siklus asam sitrat

Apabila asupan bahan bakar metabolik secara konsisten lebih besar dibandingkan energi pengeluaran, kelebihanannya disimpan, sebagian besar sebagai triasilgliserol dalam jaringan adiposa, yang mengarah pada perkembangan obesitas. Sebaliknya jika asupan bahan bakar metabolik secara konsisten lebih rendah daripada pengeluaran energi, cadangan lemak dan karbohidrat dapat diabaikan, dan asam amino yang timbul dari pergantian protein digunakan untuk metabolisme yang menghasilkan energi daripada sintesis protein pengganti, menyebabkan kekurusan dan kematian (Rodwell V, 2018).

Dalam keadaan kenyang, setelah makan, terdapat persediaan karbohidrat yang cukup, dan bahan bakar metabolisme untuk sebagian besar jaringan adalah glukosa. Dalam kondisi puasa, glukosa harus disisihkan untuk digunakan oleh sistem saraf pusat (yaitu sebagian besar bergantung pada glukosa) dan sel darah merah (yang seluruhnya bergantung pada glukosa). Oleh karena itu, jaringan itu dapat menggunakan bahan bakar selain glukosa; otot dan hati mengoksidasi asam lemak dan hati mensintesis keton dari asam lemak untuk diekspor ke otot dan jaringan lain. Setelah cadangan glikogen habis, asam amino yang timbul dari pergantian protein pun berkurang digunakan untuk gluconeogenesis (Rodwell V, 2018).

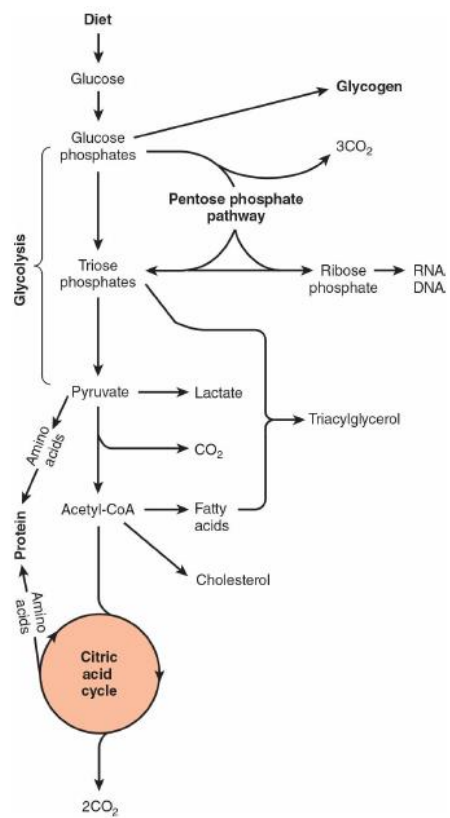
Pembentukan dan pemanfaatan cadangan triasilgliserol dan glikogen, dan sejauh mana jaringan mengambil dan mengoksidasi glukosa, adalah sebagian besar dikendalikan oleh hormon insulin dan glukagon. Pada diabetes mellitus, terjadi gangguan sintesis dan sekresi insulin (tipe I diabetes, kadang-kadang disebut

juvenile onset, atau diabetes tergantung insulin) atau gangguan sensitivitas jaringan terhadap kerja insulin (diabetes tipe II, kadang-kadang disebut diabetes yang timbul pada orang dewasa atau yang tidak bergantung pada insulin), yang menyebabkan gangguan metabolik yang parah (Rodwell V, 2018).



Gambar 2.10. Jalur Katabolisme dari Karbohidrat, Protein, dan Lemak
Sumber: (Rodwell V, 2018).

Metabolisme dari karbohidrat menghasilkan glukosa, protein menghasilkan asam amino, lemak menghasilkan asam lemak dan gliserol. Semua hasil metabolise dari makronutrien ini akan menghasilkan hal yang sama, yaitu asetil-KoA, yang kemudian dioksidasi oleh siklus asam sitrat.⁴ Glukosa sendiri di metabolisme menjadi piruvat melalui jalur glikolisis. Jaringan aerobik memetabolisme piruvat menjadi asetil-KoA, yang kemudian masuk siklus asam sitrat untuk oksidasi lengkap menjadi CO₂ dan H₂O, dan kemudian menghasilkan ATP pada proses fosforilasi. Glikosis juga dapat terjadi secara anerobik (tanpa oksigen) dan menghasilkan laktat (Rodwell V, 2018).



Gambar 2.11. Metabolisme Karbohidrat
Sumber: (Rodwell V, 2018).

2.5 Hubungan Klinis Karbohidrat pada Manusia

Dua hal yang terus-menerus mempengaruhi tubuh antara lain aktivitas fisik dan pola makan. Pola makan harus bergizi seimbang, termasuk jenis dan jumlah karbohidrat yang tepat. Peningkatan atau penurunan karbohidrat melebihi jumlah yang diinginkan dapat mempengaruhi proses fisiologis dan metabolisme. Peningkatan karbohidrat sederhana dapat menyebabkan obesitas, penyakit yang menempatkan individu pada risiko lebih besar untuk mengalami gangguan lebih lanjut seperti penyakit kardiovaskular. Asupan karbohidrat juga berkontribusi terhadap diabetes yang tidak bergantung pada insulin (diabetes tipe 2), sebuah epidemi yang berkembang. Namun, makanan yang kaya polisakarida non-pati dan makanan rendah glikemik melindungi terhadap diabetes. Peningkatan konsumsi gula juga berkontribusi terhadap perkembangan karies gigi (Holesh, 2023).

1. Malabsorpsi Karbohidrat

Malabsorpsi karbohidrat dapat muncul dengan gejala sembelit, diare, perut kembung, dan sakit perut. Hal ini dapat terjadi akibat cacat bawaan atau didapat pada metabolisme enzim atau mukosa usus. Penyakit Celiac dan Crohn adalah contoh malabsorpsi sekunder. Pertumbuhan berlebih bakteri usus kecil (SIBO) dapat terjadi akibat gangguan pengosongan lambung atau gangguan dismotilitas lambung (diabetes kronis, skleroderma), yang mengakibatkan gangguan antarmuka penyerapan dan malabsorpsi parah (Holesh, 2023).

Di sisi lain, intoleransi laktosa adalah defisiensi laktase primer. Laktase adalah enzim yang memecah laktosa, suatu disakarida, menjadi monosakarida glukosa dan galaktosa di batas sikat enterocyte. Defisiensi laktase adalah defisiensi enzim yang paling umum di dunia. Metode

yang paling sering digunakan untuk mendiagnosis malabsorpsi karbohidrat adalah tes pernafasan hidrogen. Dalam penyerapan yang tidak sempurna, karbohidrat yang tidak tercerna masuk ke usus besar, tempat bakteri penghasil gas hidrogen berada. Kadar gas hidrogen (H_2) diukur pada pernafasan pertama. Karbohidrat yang tidak dimetabolisme bertindak sebagai agen osmotik di saluran pencernaan, berkontribusi terhadap gejala diare dan perut kembung. Pengobatan sebagian besar gangguan malabsorpsi karbohidrat mencakup penghindaran mono atau disakarida yang terkait (Holesh, 2023).

2. Karies Gigi

Karbohidrat berhubungan dengan karies gigi. Mengonsumsi makanan manis dalam jumlah besar diketahui menyebabkan pembentukan plak, kerusakan gigi, dan gigi berlubang. Karbohidrat yang paling buruk menyebabkan kerusakan gigi adalah sukrosa. Di sisi lain, fruktosa berfungsi sebagai sumber energi bagi bakteri rongga mulut (Holesh, 2023).

3. Diabetes Mellitus

Banyak orang yang salah percaya bahwa pola makan tinggi karbohidrat menyebabkan berkembangnya diabetes tipe 2, padahal yang terjadi justru sebaliknya. Data menunjukkan bahwa risiko terkena diabetes tipe 2 diturunkan seiring dengan peningkatan jumlah kalori dari karbohidrat. Pola makan yang tinggi karbohidrat cenderung meningkatkan sensitivitas insulin. Oleh karena itu, saat ini, penyedia layanan kesehatan biasanya menganjurkan penderita diabetes tipe 2 untuk mengonsumsi makanan tinggi karbohidrat. Manfaat tambahan diet tinggi karbohidrat bagi penderita diabetes tipe 2 adalah menurunkan risiko penyakit jantung (Holesh, 2023).

Pada pasien diabetes tipe 1, pasien dapat menjadi hiperglikemik, sebagai akibat dari kekurangan insulin untuk menstimulasi pengambilan dan penggunaan glukosa, namun juga akibat tidak adanya insulin untuk melawan aksi glukagon. Sehingga yang terjadi adalah peningkatan gluconeogenesis dari asam amino di hepar (Rodwell V, 2018).

Penggunaan keton pada otot dan jaringan lain dapat rusak akibat kekurangan oksaloasetat. Pada diabetes tidak terkontrol, ketosis dapat sangat parah sehingga menghasilkan asidosis (ketoasidosis). Koma dapat terjadi pada kondisi ini (Rodwell V, 2018).

Pada fetus, terjadi kebutuhan yang tinggi terhadap glukosa, sehingga sintesis laktosa di laktasi dapat menyebabkan ketosis. Hal ini dapat terlihat sebagai ketosis ringan dengan hiperglikemia (Rodwell V, 2018).

4. Kadar Kolesterol dan HDL

Individu yang mengonsumsi makanan tinggi serat juga cenderung memiliki kolesterol serum yang rendah dan kadar HDL yang tinggi dibandingkan orang yang mengonsumsi makanan rendah serat; penurunan kolesterol juga menurunkan risiko penyakit jantung. Di banyak wilayah Afrika, orang yang mengonsumsi makanan tinggi serat cenderung mempunyai risiko sangat rendah terkena kanker usus. Namun jumlah pasti serat yang dikonsumsi untuk mencegah kanker usus besar masih belum diketahui. Laporan anekdot menyatakan bahwa mengonsumsi serat dapat menurunkan tekanan darah, menurunkan timbulnya batu empedu, dan menurunkan gula darah (Holesh, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Holesh JE, Aslam S MA. 2023. Physiology, Carbohydrates. [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459280/>
- Jørgensen NOG. 2009. Carbohydrates. Encycl Inl Waters.;1(February):727-42.
- Awuchi CG, Amagwula IO. 2021. Global Journal of Research in Agriculture and Life Sciences Review Article Biochemistry and Nutrition of Carbohydrates INTRODUCTION ;(June):4-12.
- Rodwell V, Bender D, Botham K, Weil P, Kennely P. 2018. HARPER'S ILLUSTRATED BIOCHEMISTRY. 31st Editi. New York: LANGE;

BAB 3

LIPID

Oleh Meti Kusmiati

3.1 Pendahuluan

Lipid adalah sekelompok senyawa non heterogen yang meliputi asam lemak dan turunannya, lemak netral (trigliserida), fosfolipid serta sterol (Ganong, 2008). Lipid merupakan kelompok besar biomolekul dengan gugus fungsional karboksil ($-\text{COOH}$) atau gugus ester ($-\text{COOR}$) yang tidak dapat larut dalam air tetapi larut dalam larutan non polar, seperti eter, aseton, bensin, karbon tetraklorida, dan lain sebagainya. Lipid akan larut dalam pelarut organik seperti aseton, alkohol, kloroform, eter dan benzena (Buku Biokimia). Lipid dikelompokkan berdasarkan struktur dan karakteristik non polarnya menjadi lemak (fat), lilin, fosfolipid, sfingolipid, glikolipid, eikosanoat, steroid, lipoprotein, dan vitamin yang larut di dalam lemak. Beberapa jenis lipid memiliki gugus polar dan non polar, sehingga lipid bersifat amfipatik akan membentuk misel di dalam air. Fungsi lipid adalah sebagai sumber energi, pelindung organ tubuh, pembentukan sel, sumber asam lemak essensial, alat pengangkut vitamin larut lemak, menghemat protein, memberi rasa kenyang dan kelezatan, sebagai pelumas, dan menjaga suhu tubuh (Guyton dan Hall, 2007).

Kolesterol, trigliserida, dan lipoprotein densitas tinggi merupakan unsur penting dari fraksi lipid tubuh manusia. Kolesterol adalah alkohol tak jenuh dari senyawa golongan steroid; ini penting untuk fungsi normal semua sel

hewan dan merupakan elemen fundamental dari membran selnya. Ini juga merupakan prekursor berbagai zat penting seperti hormon steroid adrenal dan gonad serta asam empedu. Trigliserida adalah ester asam lemak dari gliserol dan mewakili komponen lipid utama dari lemak makanan dan depot lemak hewan.

Kolesterol dan trigliserida, sebagai zat lipid nonpolar (tidak larut dalam air), perlu diangkut dalam plasma terkait dengan berbagai partikel lipoprotein. Lipoprotein plasma dipisahkan berdasarkan kepadatan terdehidrasi, mobilitas elektroforetik, ukuran dan kandungan relative kolesterol, trigliserida dan protein tersebut menjadi lima kelas utama yaitu kilomikron, lipoprotein densitas sangat rendah (VLDL), lipoprotein densitas menengah (IDL), lipoprotein densitas rendah (LDL), dan lipoprotein densitas tinggi (HDL) (Dosen Teknologi Laboratorium Medik, 2021)

3.2 Klasifikasi Lipid

Lipid dapat dibedakan menjadi 3 kelompok besar, yaitu :

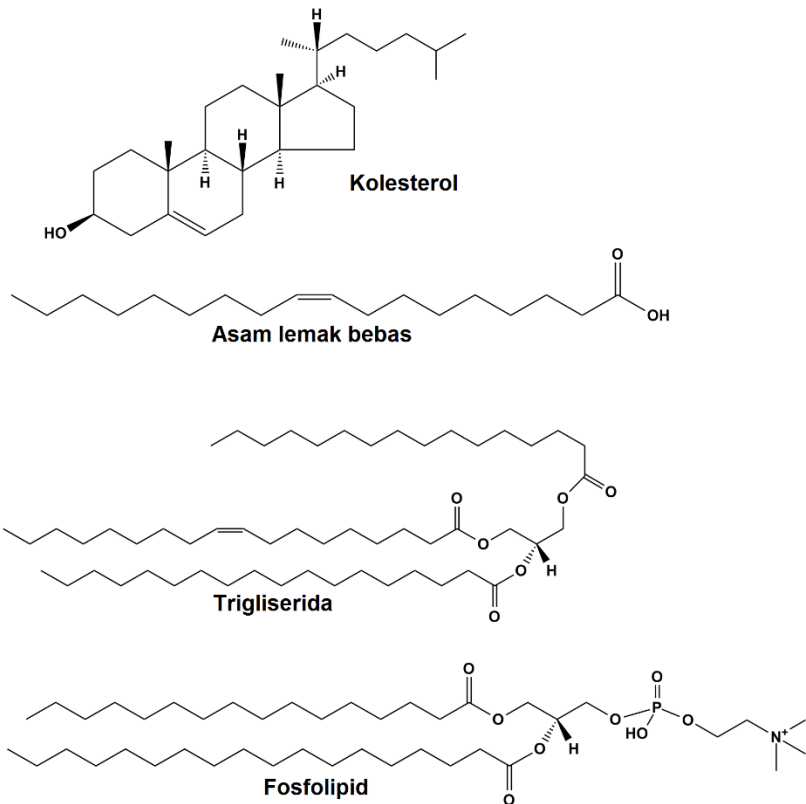
3.2.1 Lipid sederhana (*simple lipids*)

Ester yang terbentuk dari asam lemak dengan beberapa gugus alkohol.

- a) Lemak. Bentuk ester asam lemak dengan gliserol. Minyak merupakan bentuk cair dari lemak.
- b) Lilin. Bentuk ester asam lemak yang memiliki berat molekul besar dengan bentuk alkohol monohidrat

3.2.2 Lipid kompleks

- a) Fosfolipid. Lipid yang mengandung residu asam fosfat. Molekul ini mengandung basa nitrogen dan substituen lainnya, misalnya gliserofosfolipid memiliki gugus alkohol berupa gliserol dan spingofosfolipid memiliki gugus alkohol berupa spingosin.
- b) Glikolipid (glikospingolipid). Lipid yang mengandung asam lemak, spingosin dan karbohidrat.
- c) Lipid kompleks lainnya. Misalnya sulfolipid, aminolipid dan lipoprotein.



Gambar 3.1. Struktur Lipid dan Penggolongannya

3.2.3 Turunan lipid

Lipid prekursor dan derivat. Contoh lipid kategori ini adalah asam lemak, gliserol, steroid, aldehid lemak, keton bodies, lipid yang terlarut pada vitamin dan hormon (Moshinsky, 2017) (Nani, 2017)

3.3 Asam Lemak

Asam lemak adalah asam organik yang terdapat sebagai ester trigliserida atau lemak, baik yang berasal dari hewan ataupun dari tumbuhan. Asam ini merupakan asam karboksilat yang mempunyai rantai karbon panjang dengan rumus umum $R-COOH$, di mana R adalah rantai karbon yang jenuh (tidak mengandung ikatan rangkap) atau rantai karbon tidak jenuh (mengandung ikatan rangkap) dan pada umumnya asam lemak mempunyai jumlah atom karbon genap (Kurniawati and Ranowati, 2017).

1. Asam lemak jenuh

Asam lemak jenuh adalah asam lemak yang rantai hidrokarbon pembentuknya tidak memiliki ikatan rangkap. Ikatan tunggal atom karbon (C), di mana masing-masing atom C ini akan berikatan dengan atom H, contohnya seperti asam butirrat (C4), asam kaproat(C6), asam kaprotat(C8) dan asam kaprat (C10). Umumnya sampai dengan asam kaprat (C10) ini bersifat cair dan mulai asam laurat sampai asam lignoserat bersifat padat (Moshinsky, 2017). Beberapa asam lemak jenuh dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel. 3.1. Asam lemak Jenuh

Nama	Karbon Skeleton	Keterangan
Asam asetat	2:0	Hasil akhir produk mayor fermentasi karbohidrat organisme rumen dan cecum herbivora
Asam propionate	3:0	Salah satu akhir akhir produk fermentasi karbohidrat organisme rumen dan cecum herbivora
Asam butirrat	4:0	Jenis lemak pada butter. Salah satu akhir produk fermentasi karbohidrat organisme rumen dan cecum herbivora
Asam valerat	5:0	
Asam kaproat	6:0	
Asam laurat (asam n-Dodekanoat)	12:0	Asam lemak pada kayu manis, biji palem, minyak kelapa, butter
Asam miristat Asam n-tetradekanoat)	14:0	Asam lemak pada pala, biji palem, minyak kelapa, butter
Asam palmitat (asam n-heksadekanoat)	16:0	Lemak yang umum pada tanaman dan hewan
Asam stearate	18:0	

Nama	Karbon Skeleton	Keterangan
(asam n-oktadekanoat)		
Asam arachidat (asam n-eikosanoat)	20:0	Asam lemak pada minyak kacang tanah
Asam behenate (Asam n-dokosanoat)	22:0	Terdapat pada biji-bijian
Asam lignoserat (asam n-tetrakosanoat)	24:0	

Sumber : (Kurniawati and Ranowati, 2017)

2. Asam lemak tidak jenuh

Asam lemak tidak jenuh memiliki ikatan rangkap. Beberapa asam lemak jenuh dapat dilihat pada Tabel 3.2. Asam lemak tidak jenuh dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Monounsaturated. Asam lemak ini memiliki satu ikatan rangkap. Misalnya asam oleat (omega 9).
- Polyunsaturated. Asam lemak ini memiliki dua atau lebih ikatan rangkap. Contohnya adalah omega 6 (asam lenoleat, *Conjugated Linoleic Acid* (CLA), *Glucopyranocyl Lipid Adjuvant* (GLA), dan asam arachidonat) dan omega 3 (asam linolenat, *Eicosapentaenoic Acid* (EPA) dan *Docosahexaenoic Acid* (DHA)).
- Eicosanoid. Senyawa ini merupakan derivat dari asam lemak eikosa polinoat yang terdiri dari 20 karbon. Misalnya prostanoat, leukotrien (LTs) dan lipoksin

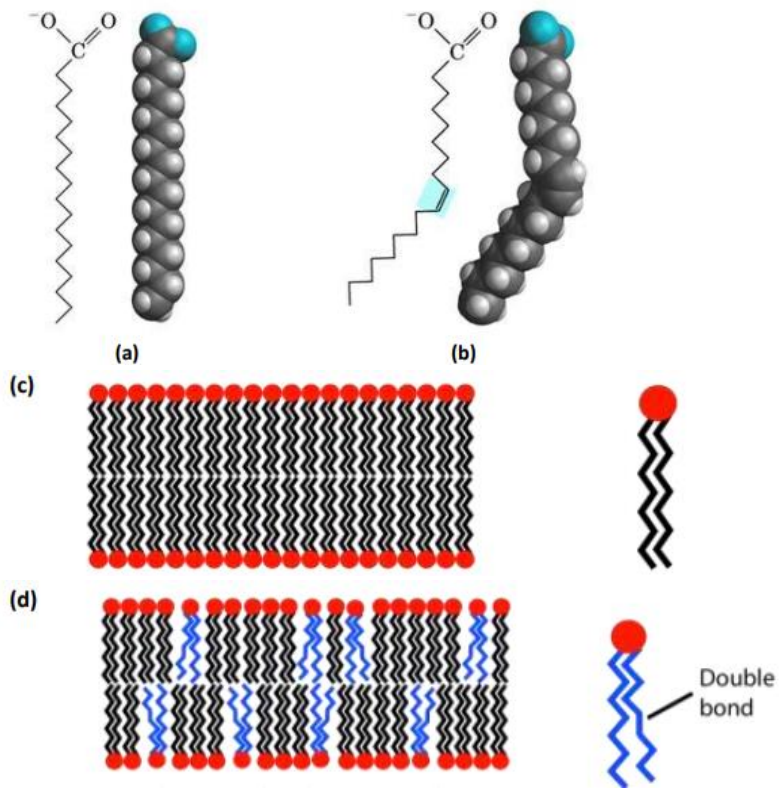
(LXs). Prostanoid meliputi prostaglandin (PGs), prostasiklin (PGIs) dan tromboksan (TXs).
(Kurniawati and Ranowati, 2017)

Tabel 3.2. Asam lemak Tidak Jenuh

Nama	Karbon Skeleton	Keterangan
Asam monoenoat (satu ikatan rangkap)		
Asam palmitat	16:1 (Δ^9)	Kandungan utama lemak
Asam oleat	18:1 (Δ^9)	Kandungan utama lemak alami
Asam elaidat	18:1 (Δ^9)	Hasil hidrogenasi dan lemak ruminansia
Asam dienolat (dua ikatan rangkap)		
Asam linoleat	18:2 ($\Delta^{9,12}$)	Jagung, kacang tanah, biji kapas, kacang hijau dan minyak nabati
Asam trienolat (tiga ikatan rangkap)		
Asam γ -linolenat	18:3 ($\Delta^{6,9,12}$)	Sebagian besar terdapat pada minyak nabati seperti evening primrose oil dan borage oil. Sebagian kecil pada minyak hewani

Nama	Karbon Skeleton	Keterangan
Asam α -linolenat	18:3 ($\Delta^{9,12,16}$)	Terdapat pada minyak biji rami
Asam tetraenolat (empat ikatan rangkap)		
Asam arachinodat	20:4 ($\Delta^{5,8,11,14}$)	Terdapat pada lemak hewani dan minyak kacang tanah serta komponen penting penyusun fosfolipid pada hewan
Asam pentaenolat (lima ikatan rangkap)		
Asam timnodoat	20:5 ($\Delta^{5,8,11,14,17}$)	Komponen penting dalam minyak ikan seperti ikan cod, makarel, menhaden dan salmon
Asam heksaenolat (enam ikatan rangkap)		
Asam servonat	20:6 ($\Delta^{4,7,10,13,16,19}$)	Terdapat pada minyak ikan dan fosfolipid pada otak.

Sumber : (Kurniawati and Ranowati, 2017)



Gambar 3.1. (a) Struktur Asam Lemak Jenuh; (b) Struktur Asam Lemak Tidak Jenuh (Monoenolat; (c) Lipid Bilayer yang Terdiri dari Asam Lemak Jenuh; (d) Lipid Bilayer yang Terdiri dari Campuran Asam Lemak Jenuh dan Tidak Jenuh

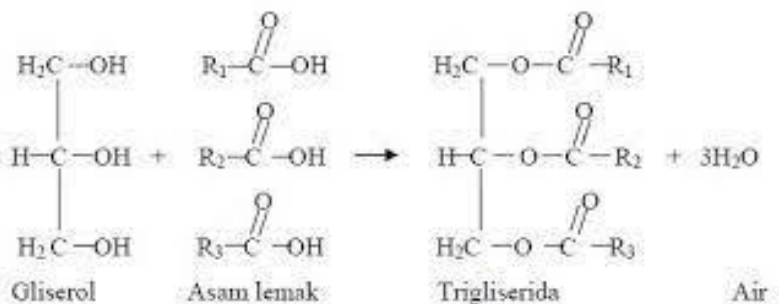
Sumber : (Kurniawati and Ranowati, 2017)

3.4 Triglisierida

Lipid sederhana yang terdiri atas asam lemak adalah triasilgliserol atau triglisierida. Triasilgliserol terdiri atas tiga asam lemak yang tersambung dengan single gliserol. Asam lemak pembentuk triglisierida dapat terdiri dari jenis yang sama atau campuran dua atau lebih asam lemak. Gugus hidroksil polar pada

gliserol dan gugus karboksil polar pada asam lemak akan membentuk ikatan ester. Trigliserida yang terbentuk bersifat nonpolar, hidrofobik dan tidak larut dalam air. Trigliserida merupakan satu diantara jenis lipid yang banyak ditemukan di dalam darah manusia (Kurniawati and Ranowati, 2017); (Dosen Teknologi Laboratorium Medik, 2021).

Trigliserida adalah suatu gliserida yaitu ester dari gliserol dan tiga asam lemak yang teresterifikasi ke molekul gliserol. Trigliserida sebagai sumber asam lemak dan membentuk lipid di jaringan adiposa. Trigliserida juga ditranspor sebagai komponen lipoprotein. Trigliserida dihidrolisis dalam jaringan adiposa dan melepaskan asam lemak bebas yang akan digunakan sebagai sumber energi (Jim, 2014). Rumus kimia trigliserida adalah $\text{RCOO-CH}_2\text{CH(-OOCR')-OOCR''}$ dimana R, R', R'' adalah rantai alkil. Struktur trigliserida dapat dilihat di gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 3.2. Gugus Trigliserida

Trigliserida merupakan lemak yang terbentuk dari makanan, trigliserida dibentuk di hati yang disimpan sebagai lemak di bawah kulit dan di organ-organ lain. Kadar trigliserida akan meningkat apabila asupan kalori yang dikonsumsi lebih tinggi daripada yang dibutuhkan. Kadar trigliserida akan meningkat jika asupan kalori yang dikonsumsi lebih tinggi

daripada yang dipergunakan. Hampir seluruh trigliserida terutama yang bersifat jenuh dapat diserap oleh tubuh, sehingga konsumsi makanan yang mengandung lemak jenuh tinggi memberikan masukan besar dalam meningkatkan kadar kolesterol dalam darah.

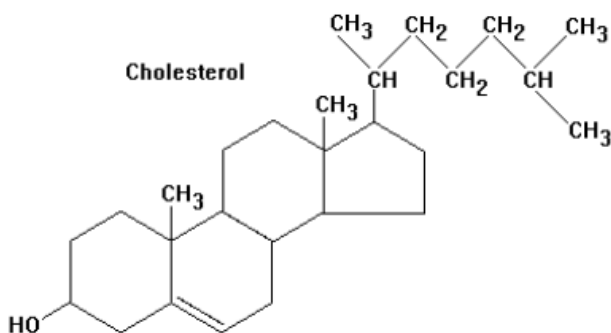
Kadar trigliserida darah yang tinggi dapat juga disebabkan oleh kurangnya olahraga. Adapun beberapa faktor yang dapat meningkatkan kadar trigliserida seperti Diabetes Mellitus, penyakit ginjal, penyakit lever, kadar hormone tiroid yang rendah (hipotiroidisme) dan kelainan genetika (*familial hypertrygliceridemia*) (Dosen Teknologi Laboratorium Medik, 2021). Selain itu, obat-obatan juga dapat mempengaruhi kadar tinggi rendahnya trigliserida dalam darah. Obat-obatan yang dapat meningkatkan kadar trigliserida antara lain esterogen, pil KB, kortikosteroid, serta diuretik tiazid (pada keadaan tertentu) (Fauziah, 2012).

Pada saat asupan trigliserida yang berasal dari makanan melebihi jumlah yang dibutuhkan oleh tubuh, maka peningkatan kadar trigliserida di dalam darah akan terjadi yang ditandai dengan plasma yang keruh atau disebut dengan lipemik. Trigliserida yang tinggi dapat memicu terjadinya penebalan pada dinding pembuluh darah (aterosklerosis) sehingga berisiko terjadi stroke dan serangan jantung.

3.5 Kolesterol

Kolesterol adalah jenis lemak yang paling dikenal oleh masyarakat. Kolesterol merupakan komponen utama pada struktur selaput sel dan merupakan komponen utama sel otak dan saraf. Selain itu, kolesterol juga ikut menyusun partikel lipoprotein (VLDL, LDL, IDL, HDL dan kilomikron) disamping sebagai prekursor bagi hormone-hormon steroid dan asam-asam

amino ((Wahjuni, 2013). Kolesterol merupakan bahan perantara untuk pembentukan sejumlah komponen penting seperti vitamin D yang berfungsi untuk membentuk dan mempertahankan tulang yang sehat, memproduksi hormon estrogen, testosterone dan kortisol serta asam empedu yang berfungsi pada proses pencernaan. Pembentukan kolesterol di dalam tubuh terutama terjadi di hati (50% total sintesis) dan sisanya di usus, kulit dan semua jaringan yang mempunyai sel berinti (Moshinsky, 2017).



Gambar 3.3. Struktur Kolesterol

Kolesterol adalah produk khas hewani, sehingga hanya bahan makanan yang berasal dari sumber hewani yang mengandung kolesterol (tumbuh-tumbuhan mengandung jenis sterol yang lain yaitu phytosterol). Bahan-bahan yang banyak mengandung kolesterol adalah kuning telur, otak, daging dan hati (Wahjuni, 2013).

Sintesis kolesterol terjadi di hati dan usus yang merupakan sumber utama kolesterol endogen. Disamping itu, kolesterol juga banyak disintesis pada korteks adrenal, testis, ovarium (organ-organ yang membentuk hormone steroid), aorta dan kulit (Murray K, 2002).

Kolesterol disintesis dari Asetil-KoA melalui serangkaian reaksi yang terjadi di sitosol melalui 3 tahapan, yaitu :

1. Tahap I : Pembentukan mevalonate
Pada tahap ini, terjadi pembentukan senyawa dengan 6 atom C dari senyawa dengan 2 atom C
2. Tahap II : Pembentukan squalene dan mevalonate
Tahap ini terjadi pembentukan suatu senyawa dengan 30 atom C dari senyawa dengan 5 atom C (unit-unit isoprenoid) yang berasal dari senyawa dengan 6 atom C yang mengalami dekarboksilasi. Mevalonate mengalami 3X fosforilasi dengan ATP membentuk mevalonate 3-Fosf 5-pirofosfat. Senyawa ini sangat labil dan segera mengalami karboksilasi dengan kehilangan 1-gugus fosfat, membentuk unit-unit isoprenoid piroptiospat dan isomernya, dimetil alil pirafofat.
3. Tahap III : Pembentukan kolesterol dari squalene
Squalen, suatu senyawa yang mempunyai 30 atom C dengan bentuk rantai terbuka dan akan membentuk kolesterol yang merupakan senyawa dengan 27 atom C dengan bentuk rantai tertutup. Untuk itu, squalene mengalami siklisasi (penutupan rantai) dan hidroksilasi, membentuk lanosterol yang selanjutnya kehilangan 3 gugus metil dan mengalami reduksi salah satu ikatan rangkapnya oleh NADH dan terjadi perpindahan ikatan rangkap ke rantai lain membentuk kolesterol.

Kolesterol yang berada di dalam hati, disamping dipergunakan untuk penyusun membran sel-sel hati, juga dapat mengalami beberapa kemungkinan :

1. Sebagai ekskresi Bersama asam empedu
2. Sebagian dikonversi menjadi asam-asam empedu

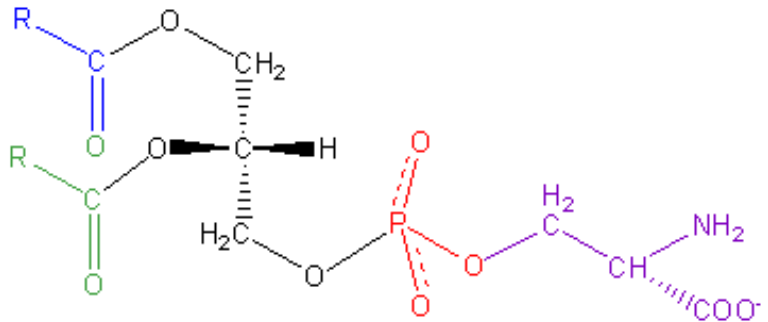
3. Sebagian lagi membentuk VLDL, Ttigliserida, Fosfolipid dan apoprotein dan dikeluarkan ke sirkulasi

Peningkatan kadar kolesterol dalam darah disebut hiperkolesterolemia. Apabila tidak segera ditangani, peningkatan kolesterol dapat menumpuk dan mempersempit pembuluh darah, sehingga berisiko terserang penyakit jantung koroner. Penyebab tingginya kadar kolesterol darah antara lain faktor genetik, jenis kelamin, pola makan dan status gizi selain itu disebabkan karena jenis makanan yang dikonsumsi, berat badan berlebih, usia dan kurang olahraga (Mulyani, Al Rahmad and Jannah, 2018).

Untuk ekskresi kolesterol, tubuh tidak dapat memecah inti steroid dan mengubahnya menjadi CO₂ dan H₂O sehingga kolesterol harus dikeluarkan dari tubuh secara utuh atau dikonversi menjadi asam-asam empedu (Murray K, 2002).

3.6 Fosfolipid

Fosfolipid merupakan komponen utama pembentuk membran yang tersusun atas double layer, termasuk golongan senyawa lipid dan bagian dari membrane sel makhluk hidup, bersama dengan protein, glikolipid dan kolesterol. Membran lipid bersifat amfipatik karena memiliki ujung yang bersifat hidrofobik dan ujung lainnya bersifat hidrofilik (Kurniawati and Ranowati, 2017).



Gambar 3.4. Struktur Kimia Fosfolipid

Fosfolipid terdiri dari satu gugus fosfat, satu molekul gliserol dan dua molekul asam lemak yang berkaitan pada rantai karbon pertama dan kedua gliserol (rantai karbon ketiga gliserol berikatan dengan fosfat melalui ikatan ester). Oleh sebab itu, sifat-sifat kimia dan fisik fosfolipid ditentukan oleh asam lemak dan fosfat yang berikatan dengan gliserol. Fosfolipid juga mempunyai ujung yang polar dan bagian lainnya yang non polar.

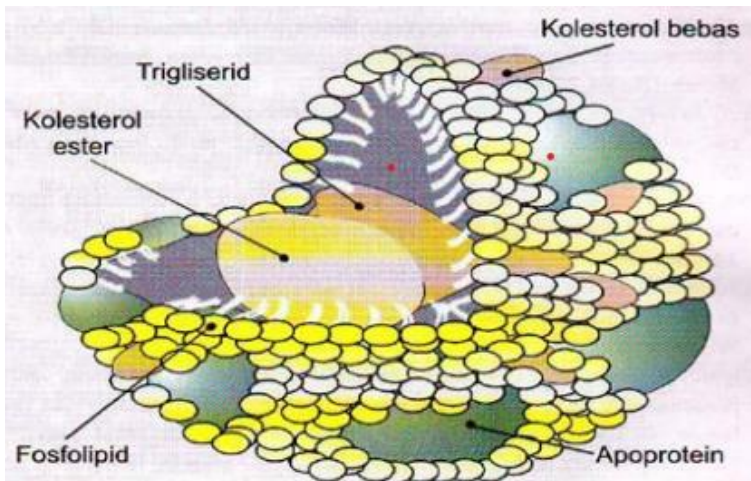
Fungsi fosfolipid yaitu sebagai berikut :

1. Fosfolipid adalah unsur penting lipoprotein di dalam darah dan penting untuk pembentukan serta fungsi sebagian besar dari lipoprotein, jika fosfolipid tidak ada, dapat terjadi gangguan transport kolesterol dan lipid lainnya
2. Tromboplastin, yang diperlukan untuk memulai proses pembekuan, tersusun terutama dari salah satu sefalin
3. Sejumlah besar sfingomielin terdapat dalam system saraf, zat ini bekerja sebagai insulator listrik dalam selubung mielin di sekeliling serabut saraf.
4. Fosfolipid merupakan donor radikal fosfat ketika radikal tersebut diperlukan untuk berbagai reaksi kimia di jaringan

5. Berperan dalam pembentukan elemen struktural (terutama membrane) di seluruh tubuh (Guyton A.C and J.E . Hall, 2007).

3.7 Lipoprotein

Lipoprotein merupakan kompleks makromolekul yang mengangkut lipid hidrofobik (khususnya trigliserida dan kolesterol) dalam cairan tubuh (plasma, cairan interstisial, dan limfa) ke dan dari jaringan. Lipoprotein berbentuk sferis dan mempunyai inti trigliserida dan kolesterol ester, dikelilingi lapisan permukaan yang dibentuk oleh fosfolipid amfipatik dan sedikit kolesterol bebas dengan apoprotein yang terdapat pada permukaan lipoprotein.



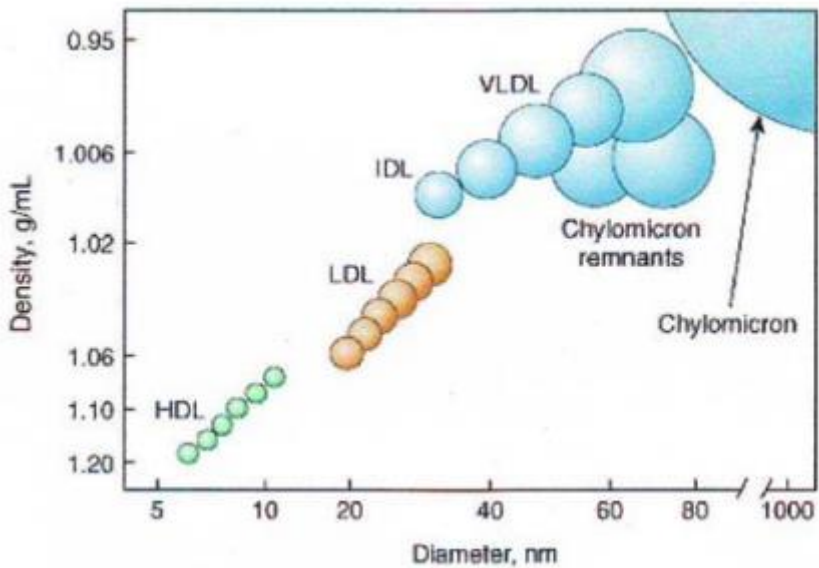
Gambar 3.5. Bentuk Molekul Lipoprotein

Sumber : Adam JM, 2010

Lipoprotein pada manusia dibedakan menjadi 6 jenis, yaitu:

1. High Density Lipoprotein (HDL atau α -lipoprotein) sebagai pengangkut kolesterol
2. Very Low Density Lipoprotein (VLDL atau pre β -lipoprotein) yang berasal dari hati untuk mengeluarkan trigliserida
3. Intermediate Density Lipoprotein (IDL) yang sebagian besar trigliseridanya sudah dikeluarkan
4. Low Density Lipoprotein (LDL atau β -lipoprotein) yang merupakan tahap akhir katabolisme VLDL dimana hampir semua trigliserida telah dikeluarkan
5. Kilomikron yang berasal dari penyerapan trigliserida di usus
6. Lipoprotein α kecil [(Lp)a].

Lipoprotein terdiri dari partikel dengan densitas, ukuran, dan komposisi protein yang berbeda-beda. Densitas lipoprotein ditentukan oleh jumlah lipid per partikel (Gambar 3.6). Kolesterol HDL merupakan lipoprotein yang paling kecil dan padat, sedangkan kilomikron dan VLDL yaitu lipoprotein yang paling besar dan kurang padat. Umumnya trigliserida plasma ditranspor dalam kilomikron atau VLDL, dan kebanyakan kolesterol plasma diangkut sebagai kolesterol teresterifikasi dalam LDL dan HDL



Gambar 3.6. Jenis Lipoprotein Berdasarkan Densitas
 Sumber : Adam JM, 2010

Apoprotein

Apoprotein mengaktifkan enzim penting dalam metabolisme lipoprotein dan berfungsi sebagai ligan untuk reseptor permukaan sel. ApoA-I adalah apoprotein utama dari HDL, dan juga terdapat di kilomikron. ApoA-I merupakan apoprotein terbanyak dalam serum dan merupakan kofaktor untuk *lecithin cholesterol acyltransferase* (LCAT). ApoA-I diproduksi di usus dan hati serta ditemukan juga pada permukaan remnan lipoprotein selama lipolisis. ApoA-II merupakan apoprotein HDL terbanyak kedua setelah Apo A-I. ApoA-IV berikatan dengan kilomikron. ApoA-V menjadi aktif di dalam hepatosit dan juga terdapat dalam HDL. ApoB merupakan protein utama dari kilomikron, VLDL, IDL dan LDL. ApoB tidak berpindah dari satu lipoprotein ke lipoprotein lain. ApoB-100 disintesis oleh hati sedangkan ApoB-48 disintesis oleh usus. ApoC

merupakan protein dengan berat molekul rendah yang merupakan kofaktor untuk enzim lipase. ApoE terdapat pada kilomikron, VLDL dan IDL serta berperan penting dalam metabolisme partikel yang banyak mengandung trigliserida (Jim, 2014).

Metabolisme Lipoprotein

Metabolisme lipoprotein dibagi menjadi 3 jalur yaitu :

1. Jalur metabolisme eksogen
2. Jalur metabolisme endogen
3. Jalur reverse kolesterol

3.7.1 Kilomikron

Kilomikron diproduksi oleh intestinum dengan kandungan triasilgliserol yang berasal dari makanan sebesar 85-90% dan kandungan kolesterol bebas dan fosfolipid sebesar 1 -2 %. Kilomikron mengandung ApoB-48, ApoA, ApoC dan ApoE. Kilomikron bertanggung jawab dalam transport lipid dari makanan ke dalam sirkulasi.

3.7.2 VLDL (*Very Low Density Lipoprotein*)

VLDL (*Very Low Density Lipoprotein*) disebut juga pre beta lipoprotein, dibentuk di dalam hati dan intestinum yang berfungsi sebagai sarana untuk transpor triasilgliserol dari hati ke jaringan ekstrahepatik untuk memenuhi kebutuhan energi dan untuk disimpan. VLDL mempunyai diameter 30 -90 nm dengan densitas 0,95 – 0,006 dan tinggi kandungan triasilgliserol. Lipoprotein pada VLDL adalah ApoB-100 dan ApoC, tetapi mempunyai juga beberapa ApoE.

Partikel yang lebih kecil dihasilkan dari interaksi antara VLDL dan lipase lipoprotein yang disebut dengan intermediate density lipoprotein (IDL). IDL mempunyai diameter 25 – 30 nm

dengan densitas 1,006 – 1,019. VLDL adalah prekursor IDL dan IDL adalah prekursor LDL.

3.7.3 LDL (*Low Density Lipoprotein*)

LDL (*Low Density Lipoprotein*) disebut juga dengan beta lipoprotein. LDL menyusun sekitar 50% dari total massa lipoprotein dalam plasma manusia. LDL merupakan senyawa lipoprotein dengan berat jenis rendah. LDL disusun oleh inti berupa 1500 molekul kolesterol yang dibungkus oleh lapisan fosfolipid dan molekul kolesterol tidak teresterifikasi. Bagian hidrofilik molekul terletak di sebelah luar, sehingga memungkinkan LDL larut dalam darah atau cairan ekstraseluler. Protein utama pembentuk LDL adalah ApoB (apolipoprotein B). kandungan lemak jenuh yang tinggi menyebabkan LDL mengambang di dalam darah. LDL juga dapat menyebabkan terjadinya penempelan kolesterol di dinding pembuluh darah (Raditya, Cokorda and I, 2019). LDL mengangkut kolesterol dan fosfolipid dari hati ke sel tepi. LDL mempunyai densitas 1,019 – 1,063 dan diameter 20 – 25 nm (Arifah, 2006).

3.7.4 HDL (*High Density Lipoprotein*)

HDL (*High Density Lipoprotein*) disebut juga alfa lipoprotein, disintesis dan dikeluarkan dari hati dan intestinum. HDL merupakan partikel paling kecil yang disintesis dalam hati dan usus, serta mengandung 50% lipid dan 50% protein, dengan apoprotein ApoA-I dan ApoA-II dimana HDL dapat dibagi berdasarkan densitasnya menjadi HDL 2 dan HDL 3, HDL 2 mempunyai diameter 10 – 20 nm dan densitas 1,062 – 1,125 sedangkan HDL 3 mempunyai diameter 7,5 – 10 nm dan densitas 1,125 – 1,210. HDL berperan dalam transpor kolesterol dari sel tubuh ke hati (Jim, 2014).

Komposisi lipoprotein adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3. Komposisi lipoprotein dalam plasma manusia

Lipoprotein	Sumber	Komposisi						
		Protein (%)	Total Lipid (%)	Persentase dari total lipid				
				Trigliserol	Fosfolipid	Kolesterol ester	Kolesterol bebas	Asam lemak bebas
Kilomikron	Intestinum	1 – 2	98-99	88	8	3	1	...
VLDL	Hati dan Intestinum	7 – 10	90-93	56	20	15	8	1
IDL	VLDL dan Kilomikron	11	89	29	26	34	9	1
LDL	VLDL	21	79	13	28	48	10	1
HDL2	Hati dan Intestinum	33	67	16	43	31	10	...
HDL3		57	43	13	46	29	6	6
Albumin-asam lemak bebas	Jaringan adiposa	99	1	0	0	0	0	100

Sumber : Arifah, 2006

DAFTAR PUSTAKA

- Arifah (2006) 'Peran Lipoprotein dalam Pengangkutan Lipid Tubuh', *Kaunia Jurnal sains dan Teknologi II* [Preprint].
- Dosen Teknologi Laboratorium Medik (2021) 'Kimia Klinik, Urinalisis & Cairan Tubuh', in G. Nugraha (ed.). Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran, EGC.
- Fauziah, Y.N. (2012) 'Perbedaan Kadar Triglisericid pada Penderita Diabetes Melitus Tipe 2 Terkontrol dengan Diabetes Melitus Tipe 2 Tidak Terkontrol The Different of Triglisericid Level in Controlled Diabetes Mellitus Tipe 2 and Uncontrolled Diabetes Mellitus Tipe 2 Patients', *Mutiara Medika Vol. 12 No. 3: 188-194, September 2012*, pp. 188–194.
- Guyton A.C and J.E . Hall (2007) *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 9. EGC Jakarta.
- Jim, E.L. (2014) 'Metabolisme Lipoprotein', *Jurnal Biomedik (Jbm)*, 5(3). Available at: <https://doi.org/10.35790/jbm.5.3.2013.4335>.
- Kurniawati, P. and Ranowati, R. (2017) 'Modul Lipid', *Metabolisme Biokimia Jilid 1*, pp. 45–56.
- Moshinsky, M. (2017) *Buku Ajar Biokimia, Nucl. Phys.*
- Mulyani, N.S., Al Rahmad, A.H. and Jannah, R. (2018) 'Faktor resiko kadar kolesterol darah pada pasien rawat jalan penderita jantung koroner di RSUD Meuraxa', *Action: Aceh Nutrition Journal*, 3(2), p. 132. Available at: <https://doi.org/10.30867/action.v3i2.113>.
- Murray K (2002) *Harper Biochemistry*. Twenty 5th. Newyork: Mc Graw Hill Companie.
- Nani, D. (2017) 'Pengambilan Spesimen Darah , Sekret Vaginal (Pap Smear), Sputum , Urin , Dan', pp. 1–10. Available at: http://fk.unsoed.ac.id/wp-content/uploads/modul_labskill/genap_II/Genap_II_-_Pengambilan_Sepesimen_darah.pdf.

- Raditya, I.G.B.A.R., Cokorda, D.W.H.S. and I, W.K. (2019) 'Gambaran Kadar Kolesterol Low Density Lipoprotein (LDL) pada Perokok Aktif', *Meditory: The Journal of Medical Laboratory*, 6(2), pp. 78–87.
- Wahjuni, S. (2013) *Metabolisme Biokimia, Journal of Chemical Information and Modeling*.

BAB 4

PROTEIN

Oleh Korry Novitriani

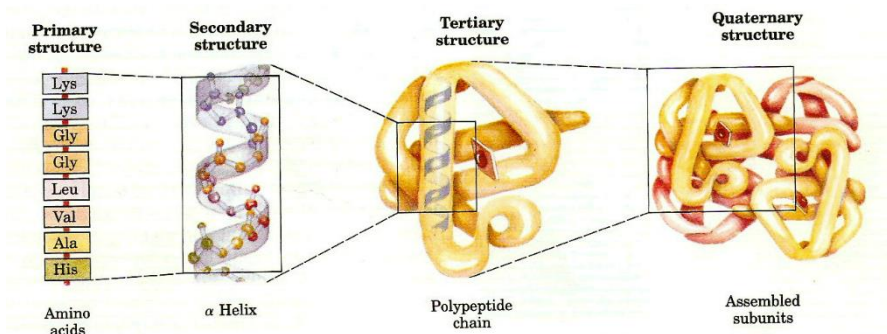
4.1 Pendahuluan

Protein merupakan molekul besar dengan berat molekul 10-200 kDa dan berupa polimer lurus yang tersusun atas 20 jenis asam amino yang berbeda dengan sandinya terkandung dalam DNA genom. (James dkk, 2008)

Fungsi protein sangat banyak dalam organisme hidup. Diantaranya adalah sebagai katalisis enzimatik, pengangkut dan penyimpan molekul-molekul kecil dan ion, penggerak yang sistematis (otot), struktur kulit dan tulang (kolagen), sistem pertahanan imun (antibodi), pengaturan melalui hormon dan pengendalian ekspresi genetik. (Katili, 2009)

Berdasarkan struktur molekulnya, protein diklasifikasi menjadi protein struktur primer, sekunder, tersier dan kuarterner. Protein dalam struktur primer merupakan urutan asam amino yang digabungkan oleh ikatan peptida. Protein dengan struktur sekunder merupakan rangkaian asam amino yang membentuk struktur melingkar, melipat dan membelit yang dikelompokkan menjadi helik- α dan lembar- β yang merupakan hasil dari ikatan hidrogen dengan amida dan oksigen karbonil dari ikatan peptida. Struktur tersier merupakan gabungan dari struktur sekunder protein yang terjadi setelah proses pelipatan (*folding*). Interaksi non kovalen antara gugus R dari asam amino dan kovalen jembatan disulfida berperan dalam menentukan struktur tersier. Struktur kuarterner merupakan struktur tiga

dimensi suatu protein yang terdiri dari subunit yang disatukan oleh interaksi elektrostatis, hidrofobik dan ikatan hidrogen. (Gambar 4.1) (Lehninger,2005)



Gambar 4.1. Klasifikasi protein berdasarkan struktur molekuler
(Sumber: Lehninger,2005)

4.2 Protein dalam Darah

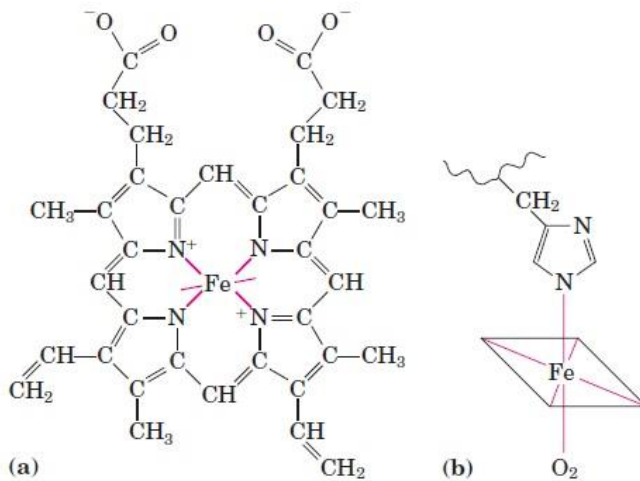
Darah terdiri dari dua komponen, yakni komponen cair yang disebut plasma dan komponen padat yaitu sel-sel darah. Sel darah terdiri atas tiga jenis yaitu eritrosit, leukosit dan trombosit. Eritrosit memiliki fungsi yang sangat penting dalam tubuh manusia. Fungsi terpenting eritrosit ialah transport Oksigen (O_2) dan Karbondioksida (CO_2) antara paru-paru dan jaringan. Suatu protein eritrosit yaitu hemoglobin (Hb) memainkan peranan penting pada kedua proses transport tersebut (Gunadi dkk, 2016).

4.2.1 Mioglobin

Mioglobin merupakan protein larut air yang menyimpan oksigen untuk metabolisme aerobik dalam otot. Protein globular pembawa oksigen yang larut air ini pada awalnya hanya ditemukan di dalam otot yang berfungsi mempermudah difusi

oksigen dari sitoplasma ke mitokondria. Saat jumlah oksigen dalam darah cukup untuk melakukan transfer elektron di mitokondria, mioglobin mengikat oksigen dengan afinitas yang tinggi, dan pada saat tekanan parsial oksigen rendah menyebabkan mioglobin melepaskan oksigen dan memfasilitasi difusi oksigen dari sarkolema menuju mitokondria (Postnikova et al., 2013).

Mioglobin merupakan salah satu protein sarkoplasmik yang tersusun dari suatu rantai polipeptida tunggal terikat disekeliling group heme yang membawa Oksigen. Group heme tersusun dari suatu atom Fe dan suatu Cincin porfirin (Soeparno, 2009).



Gambar 4.2. Kelompok Heme pada mioglobin. (a). Ikatan atom besi dengan molekul protoporfirin. (b). Interaksi pengikatan O₂ dalam mioglobin (Sumber: Lehninger, 2005)

Heme terdiri dari struktur cincin organik kompleks, protoporfirin yang terikat pada atom besi dalam bentuk besi (Fe^{2+}). Atom besi memiliki enam ikatan koordinasi, empat berikatan dengan bidang molekul porfirin datar dan dua tegak lurus terhadapnya. (Gambar 4.2a.). Dalam mioglobin dan

hemoglobin, salah satu ikatan koordinasi tegak lurus terikat pada atom nitrogen residu Histidin. Yang lainnya terbuka dan berfungsi sebagai tempat pengikatan molekul O_2 (Gambar 4.2b). (Lehninger, 2005)

4.2.2 Hemoglobin (Hb)

Hemoglobin merupakan suatu protein tetramerik eritrosit yang mengikat molekul bukan protein, yaitu senyawa porfirin besi yang disebut heme dan rantai polipeptida globin (2 rantai polipeptida alfa dan 2 rantai polipeptida beta). Hemoglobin mempunyai dua fungsi pengangkutan penting dalam tubuh manusia, yakni pengangkutan oksigen ke jaringan dan pengangkutan karbondioksida dan proton dari jaringan perifer ke organ respirasi. Jika jumlah hemoglobin dalam eritrosit rendah, maka kemampuan eritrosit membawa oksigen ke seluruh jaringan tubuh juga akan menurun dan tubuh menjadi kekurangan O_2 . Hal ini akan menyebabkan terjadinya anemia (Gunadi dkk, 2016).

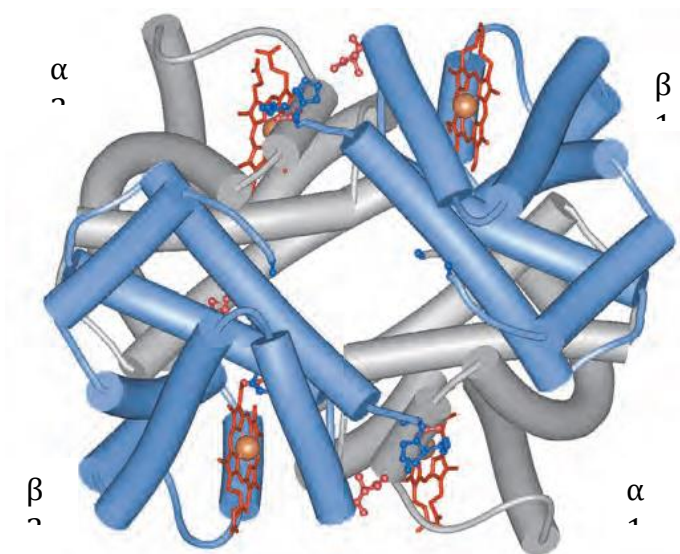
Heme merupakan gugus prostetik yang terdiri dari inti Fe, rangka *protoporphyrin* dan globin (protein yang dipecah menjadi asam amino) yang menyebabkan warna darah merah (Gambar 4.2). Hb berikatan dengan karbondioksida menjadi karboksi hemoglobin yang membuat darah warnanya merah tua. Darah arteri mengandung oksigen dan darah vena mengandung karbondioksida (Sudikno & Sandjaja, 2016).

4.2.3 Struktur Hemoglobin

Hemoglobin adalah metalo protein pengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan di seluruh tubuh dan mengambil karbondioksida dari jaringan tersebut diibawa ke paru untuk dibuang ke udara bebas. Molekul hemoglobin terdiri dari globin, apoprotein, dan empat gugus heme suatu molekul organik dengan satu atom besi. Mutasi pada gen protein hemoglobin

mengakibatkan suatu golongan penyakit menurun yang disebut hemoglobinopati, diantaranya yang paling sering ditemui adalah anemia sel sabit dan talasemia (Hasanan, 2018)

Hemoglobin tersusun dari empat molekul protein (globulin chain) yang terhubung satu sama lain. Pusat molekul hemoglobin terdapat cincin heterosiklik yang dikenal dengan porfirin yang menahan satu atom besi, melalui ikatan oksigen. Porfirin yang mengandung besi disebut heme. Gugus heme terdiri dari komponen anorganik dan pusat atom besi. Komponen organik yang disebut protoporfirin terbentuk dari empat cincin pirol yang dihubungkan oleh jembatan metena membentuk cincin tetrapirrol. Tiap subunit hemoglobin mengandung satu heme, sehingga secara keseluruhan hemoglobin memiliki kapasitas empat molekul oksigen. Struktur hemoglobin terdiri atas empat grup heme dan empat rantai polipeptida dengan total asam amino sebanyak 574 buah. Rantai polipeptidanya terdiri atas dua rantai α dan dua rantai β dengan masing-masing rantai berikatan dengan satu grup heme. Pada setiap rantai α terdapat 141 asam amino dan setiap rantai β terdapat 146 asam amino. Pada molekul heme inilah zat besi melekat dan menghantarkan oksigen serta karbondioksida melalui darah. Gugus heme yang menyebabkan darah berwarna merah. (Maretdiyani, 2013).



Gambar 4.3. Struktur Hemoglobin (kode PDB 1HGA). subunit β berwarna biru dan subunit α berwarna abu-abu. Inti Fe berbentuk bulat jingga dan rangka *protoporphyrin* berwarna merah.

(Sumber: Lehninger,2005)

4.2.4 Fungsi Hemoglobin

Menurut Sherwood (2012) dalam Maretdiyani, (2013) Hemoglobin mempunyai beberapa fungsi diantaranya:

1. Mengatur pertukaran O_2 dan CO_2 dalam jaringan tubuh. Hemoglobin merupakan suatu molekul alosterik yang terdiri atas empat subunit polipeptida dan bekerja untuk menghantarkan O_2 dan CO_2 . Hemoglobin mempunyai afinitas untuk meningkatkan O_2 ketika setiap molekul diikat, akibatnya kurva disosiasi berbelok yang memungkinkan hemoglobin menjadi jenuh dengan O_2 dalam paru dan secara efektif melepaskan O_2 ke dalam jaringan.

2. Mengambil O_2 dari paru-paru kemudian dibawa keseluruh jaringan tubuh untuk dipakai sebagai bahan bakar.
Hemoglobin adalah suatu protein yang kaya akan zat besi. Hemoglobin dapat membentuk oksihemoglobin (HbO_2) karena terdapatnya afinitas terhadap O_2 itu sendiri. Melalui fungsi ini maka O_2 dapat ditranspor dari paru-paru ke jaringan-jaringan.
3. Membawa CO_2 dari jaringan tubuh sebagai hasil metabolisme menuju ke paru-paru untuk dibuang.
Hemoglobin merupakan porfirin besi yang terikat pada protein globin. Protein terkonyugasi ini mampu berikatan secara *reversible* dengan O_2 dan bertindak sebagai transpor O_2 dalam darah. Hemoglobin juga berperan penting dalam mempertahankan bentuk sel darah merah yang bikonkaf, jika terjadi gangguan pada bentuk sel darah ini, maka keluwesan sel darah merah dalam melewati kapiler menjadi kurang maksimal.

Menurut E. C. Pearce, (1992) dalam bukunya Ferriyanto (2010) hemoglobin merupakan rangkaian protein yang terdapat didalam sel darah merah, yang berperan penting di dalam kebugaran jasmani, karena hemoglobin merupakan protein yang mengandung zat besi dan melaksanakan fungsi pengangkutan oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh. Hemoglobin yang mengandung besi ini diperlukan untuk bergabung dengan oksigen dan beredar ke seluruh tubuh, maka kekurangan oksigen seperti nafas akan menjadi pendek.

Selain itu menurut Anna Poedjiadi (2009) fungsi hemoglobin selain untuk mengikat oksigen yang akan disirkulasikan ke paru-paru adalah sebagai pertahan tubuh dan penyuplai nutrisi ke jaringan tubuh dan mengangkut zat sebagai hasil dari metabolisme. Hal ini dikarenakan sirkulasi darah yang

terus dipompa oleh jantung dapat mempertahankan tubuh dari serangan virus, bahan kimia, maupun bakteri. Darah tersebut nantinya akan disaring oleh fungsi ginjal dan dikeluarkan melalui urine sebagai hasil toksin dari tubuh.

4.2.5 Kadar Hemoglobin

Hemoglobin merupakan protein utama tubuh manusia yang berfungsi untuk mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan perifer dan mengangkut CO₂ dari jaringan perifer ke paru-paru. Sel-sel darah merah mampu mengkonsentrasikan hemoglobin dalam cairan sel sampai sekitar 34 g/dL sel. Konsentrasi ini tidak pernah mengikat lebih dari nilai batas metabolik dari mekanisme pembentukan hemoglobin sel. Pada orang normal presentase hemoglobin hampir selalu mendekati maksimum dalam tiap sel. Namun apabila dalam pembentukan hemoglobin di sumsum tulang belakang berkurang, maka presentase hemoglobin dalam darah merah juga menurun karena hemoglobin untuk mengisi sel berkurang (Halim, 2015).

Kadar hemoglobin adalah ukuran pigmen respiratorik dalam butiran-butiran darah merah. Jumlah hemoglobin dalam darah normal adalah kira-kira 15 g setiap 100 mL darah dan jumlah ini biasanya disebut “100 persen”. Batas normal nilai hemoglobin untuk seseorang sukar ditentukan karena kadar hemoglobin bervariasi diantara setiap suku bangsa. World Human Organization (WHO) telah menetapkan batas kadar hemoglobin normal berdasarkan umur dan jenis kelamin (Hasanan, 2018)

Di Indonesia batasan normal kadar hemoglobin yang digunakan sebagai ambang batas anemia untuk berbagai golongan umur dan jenis kelamin serta ibu hamil adalah sama dengan yang di rekomendasikan oleh WHO (Tabel 4.1). Pengukuran kadar hemoglobin dalam darah ini merupakan salah

satu uji laboratorium klinis yang sering dilakukan. Pengukuran kadar hemoglobin digunakan untuk melihat secara tidak langsung kapasitas darah dalam membawa oksigen ke sel-sel di dalam tubuh. Pemeriksaan kadar hemoglobin merupakan indikator yang menentukan seseorang menderita anemia atau tidak (Estridge dan Reynolds 2012).

Asupan protein yang kurang mencukupi merupakan salah satu penyebab rendahnya kadar hemoglobin dalam darah. Kebiasaan makan sangat berpengaruh pada asupan zat gizi sehari-hari. Selain itu kurangnya pengetahuan akan zat gizi dalam makanan pun dapat menyebabkan kurangnya kadar protein dalam tubuh, karena bisa jadi seseorang mengkonsumsi makanan yang cukup namun makanan yang dikonsumsi memiliki bioavailabilitas zat besi yang rendah sehingga jumlah zat besi yang diserap oleh tubuh kurang (Novitasari, 2014).

Tabel 4.1 Kadar Hemoglobin

No	Kadar Hemoglobin (g/dL)	Usia
1.	16 – 23	Bayi baru lahir
2.	10 – 14	Anak-anak
3.	13 – 17	Laki-laki dewasa
4.	12 – 16	Wanita dewasa tidak hamil
5.	11 - 13	Wanita dewasa yang hamil

Sumber:Estridge & Reynolds (2012)

Jika terjadi penurunan kadar hemoglobin maka akan menyebabkan terjadinya anemia. Anemia ini merupakan suatu keadaan dimana kadar hemoglobin menurun, yang ditandai dengan gejala kelelahan, sesak napas, pucat dan pusing. sehingga tubuh akan mengalami hipoksia sebagai akibat kemampuan kapasitas pengangkutan oksigen dari darah berkurang (Evelyn, 2009).

4.2.6 Proses Pembentukan Hemoglobin

Sel darah merah manusia dibuat dalam sumsum tulang. Proses eritropoesis atau disebut juga dengan proses pembentukan eritrosit dimulai dari sel induk multipotensial. Dari beberapa sel induk multipotensial terbentuk sel-sel induk unipotensial yang masing-masing hanya membentuk satu jenis sel misalnya eritrosit. Sel induk unipotensial akan memulai bermitosis sambil berdiferensiasi menjadi sel eritrosit bila mendapat rangsangan eritropoetin, selain merangsang proliferasi sel induk unipotensial, eritropoetin juga merangsang mitosis lebih lanjut sel promonoblas, normoblas basofilik dan normoblas polikromatofil. Sel eritrosit termuda yang tidak berinti disebut retikulosit yang kemudian berubah menjadi eritrosit. (Besuni, 2013)

Ada dua proses yang memegang peran penting dalam proses pembentukan eritrosit dari sel induk unipotensial yaitu pembentuk *deoxyribo nucleic acid* (DNA) dalam inti sel dan pembentuk hemoglobin dalam plasma eritrosit. Sintesis hemoglobin merupakan proses biokimia yang melibatkan beberapa zat gizi atau senyawa-antara. Pembentukan sitoplasma sel dan hemoglobin terjadi bersamaan dengan proses pembentukan DNA dalam inti sel. Proses sintesis ini terkait dengan sintesis heme dan protein globin. Hemoglobin disintesis pada stadium eritroblast sebanyak 65% dan pada stadium retikulosit sebanyak 35%. Globin dibentuk sekitar ribosom

134

sedangkan protoporfirin dibentuk disekitar mitokondria dan besi diperoleh dari tranferin. Sintesis hemoglobin banyak terjadi dalam mitokondria oleh sederet reaksi biokimia yang dimulai dengan kondensasi glisin dan suksinil koenzim A di bawah aksi enzim amino laevulinic acid (ALA) - sintetase. Vitamin B6 adalah koenzim untuk reaksi ini yang dirangsang oleh eritropoetin dan dihambat oleh heme. Akhirnya protoporphyrin bergabung dengan besi untuk membentuk heme yang masing-masing molekulnya bergabung dengan rantai globin. Tetramer dengan masing-masing gugus hemya sendiri terbentuk dalam kantong untuk membangun molekul hemoglobin (Adiwijayanti, 2015).

Pembentukan heme dimulai di mitokondria melalui reaksi antara Glycine dan succinyl-CoA membentuk senyawa aminolevulinic acid (ALA). Enzim ALA yang terbentuk kemudian keluar ke sitosol dan dengan perantara enzim ALA dehydratase membentuk porphobilinogen yang merupakan prazat pertama pirol. ALA dehydratase sangat sensitif terhadap inhibisi oleh timbal (Adiwijayanti, 2015).

Empat porphobilinogen berkondensasi membentuk tetrapirrol linier yaitu hidroksi metil bilana yang dikatalisis oleh enzim PBG deaminase. Hidroksi metil bilana selanjutnya mengalami siklisasi spontan membentuk uroporfirinogen I yang simetris atau diubah menjadi uroporfirinogen III yang asimetris dan membutuhkan enzim tambahan yaitu uroporfirinogen III kosintase pada kondisi normal hampir selalu terbentuk uroporfirinogen III. Uroporfirinogen III selanjutnya mengalami dekarboksilasi membentuk Corproporfirin yang dikatalisis oleh enzim uroporfirinogen dekarboksilase (Adiwijayanti, 2015).

Corproporfirin masuk ke dalam mitokondria serta mengalami dekarboksilasi dan oksidasi. Reaksi ini dikatalisis oleh Corproporfirin oksidase dan membentuk protoporphyrinogen. Protoporphyrinogen selanjutnya mengalami proses penyatuan

dengan Fe^{2+} melalui suatu reaksi yang dikatalisis oleh ferrochelatase membentuk heme. Heme bereaksi dengan globin membentuk hemoglobin (Adiwijayanti, 2015).

Gangguan yang dapat terjadi disaat pembentukan hemoglobin diantaranya adalah kurangnya kadar besi dalam darah mengakibatkan sitoplasma sel eritrosit berinti tidak dapat mengikat Fe, hal ini terjadi bila individu mengalami kurang gizi. Selain itu produksi globin dapat terganggu bila dalam gen terdapat kelainan seperti thalassemia dan penyakit Hb. Bila semua unsur seperti eritropoetin, B_{12} , asam folat dan besi terdapat dalam jumlah yang cukup, maka proses pembentukan eritrosit dari pronormoblas sampai engan normoblas polikromatofil memerlukan waktu 2-4 hari. Selanjutnya proses perubahan retikulosit menjadi eritrosit memakan waktu 2-3 hari. Dengan demikian proses pembentukan eritrosit dalam keadaan normal membutuhkan waktu 5-9 hari. Bila diberikan obat anti anemic yang cukup seorang penderita anemia defisiensi akan membutuhkan 3-6 hari dalam pembentukan eritosit. Eritrosit ini bertahan dalam bentuk aktis selama 120 hari. Enzim piruvat kinase dan glucose 6-fosfat merupakan enzim yang berperan penting dalam mempertahankan bentuk aktif eritrosit. Kekurangan kedua enzim ini akan mengakibatkan eritrosit tidak dapat bertahan selama 120 hari. Adanya kelainan gen dalam kromosom dapat mengakibatkan defisiensi kedua enzim tersebut (Haryanto, 2007).

4.2.6 Faktor-faktor yang mempengaruhi kadar Hemoglobin

Menurut Gibson (2005) dalam Zulaekah (2007) factor-faktor yang mempengaruhi kadar hemoglobin dalam darah manusia adalah:

- a. Variasi biologis individu
Kadar hemoglobin cenderung lebih rendah pada saat sore hari dibanding pagi hari, oleh karena itu variasi biologis individu mempengaruhi kadar hemoglobin.
- b. Umur dan jenis kelamin
Umur dan jenis kelamin faktor yang penting dalam menentukan kadar hemoglobin. Kadar hemoglobin anak-anak lebih tinggi dibandingkan dewasa, demikian pula dengan kadar hemoglobin laki-laki lebih tinggi dibandingkan wanita.
- c. Ras atau bangsa
Individu dari keturunan Afrika mempunyai kadar hemoglobin 5-10 g/dL lebih rendah dari keturunan Kaukasian dengan mengabaikan umur, pendapatan dan defisiensi besi. Dengan demikian ras atau bangsa mempengaruhi kadar hemoglobin.
- d. Keberadaan seseorang dari ketinggian
Individu yang tinggal di ketinggian tertentu membangkitkan respon penyesuaian diri untuk menurunkan tekanan darah parsial oksigen dan mengurangi saturasi oksigen dalam darah. Hal ini terlihat nyata pada seseorang yang tinggal diatas 1000 meter dari permukaan laut kadar hemoglobin dan hematokritnya akan semakin meningkat pada ketinggian yang semakin tinggi.
- e. Infeksi parasit
Infeksi parasit seperti *Plasmodium falciparum* menyebabkan kadar hemoglobin rendah dengan pecahnya eritrosit dan tertekannya produksi eritrosit.
- f. Terkena penyakit
Kadar hemoglobin rendah timbul pada infeksi kronik dan peradangan seperti bila seseorang terkena penyakit HIV-AIDS, hemoglobinopathies dan infeksi karena Schistosomiasis, Trichuriasis dan Ascaris.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwijayanti, B. R. 2015. *Hubungan Karakteristik Individu Terhadap Kadar Timbal Dalam Darah Dan Dampaknya Pada Kadar Hemoglobin Pekerja Percetakan Di Kawasan Mega Mall Ciputat Tahun 2015*. Repository UIN Jakarta.
- Besuni, A., Jafar, N., & Indriasari, R. 2013. *Hubungan Asupan Zat Gizi Pembentuk Sel Darah Merah Dengan Kadar Hemoglobin Pada Ibu Hamil Di Kabupaten Gowa*. Universitas Makasar
- Estridge, B. H & Reynold, A. P. 2012. *Basic Clinical Laboratory Techniques*. Cengage Learning.
- Ferriyanto. 2010. *Volume Oksigen Maksimal*. Bandung: Studio Press.
- Gunadi, V. I., Mewo, Y. M., & Tiho, M. 2016. *Gambaran Kadar Hemoglobin Pada Pekerja Bangunan*. Jurnal e-Biomedik, 4(2), pp. 2–7. doi: 10.35790/ebm.4.2.2016.14604.
- Halim, P. I. 2015. *Hubungan Antara Kadar Hemoglobin Dengan Prestasi Belajar Siswa MI Muhammadiyah Program Khusus Kecamatan Kartasura Kabupaten Sukoharjo*. Disertasi. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Haryanto, B. 2007. *Blood-Lead Monitoring Exposure Toleaded-Gasoline Among School Children In Jakarta, Indonesia 2005*. Kesmas: National Public health Journal, I(5), 214-2018
- Hasanan, F. 2018. *Hubungan Kadar Hemoglobin Dengan Daya Tahan Kardiovaskular Pada Atlet Atletik HFIK Universitas Negeri Makassar*. Jurnal Olahraga dan Kesehatan, pp. 7–8.
- James, J., Baker, C., & Swain, H. 2008. *Prinsip-prinsip Sains Untuk Keperawatan*. Jakarta: Penerbit Airlangga.

- Katili, A. S. 2009. *Struktur dan fungsi protein kolagen*. Jurnal pelangi ilmu. 2(5): 19-29.
- Lehninger. 2002. *Prinsiples of Biochemistry. 4th Ed*. W. H Freeman and Company.
- Maretdiyani, A. 2013. *Perbedaan Kadar Hemoglobin Pada Pasien Persalinan Normal dan Setelah Mendapat Perawatan Pengobatan di RSUD Banyumas*. Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Novitasari, S. 2014. *Hubungan tingkat asupan Protein, zat besi, vitamin C dan Sen dengan kadar hemoglobin pada remaja putri Di SMA Batik I Surakarta*. Disertasi. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

BAB 5

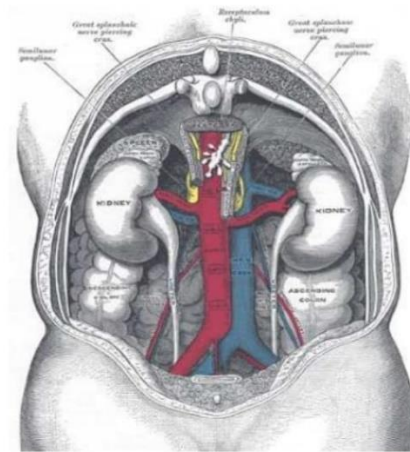
GANGGUAN FUNGSI GINJAL

Oleh Rianti Nurpalah

5.1 Anatomi Ginjal

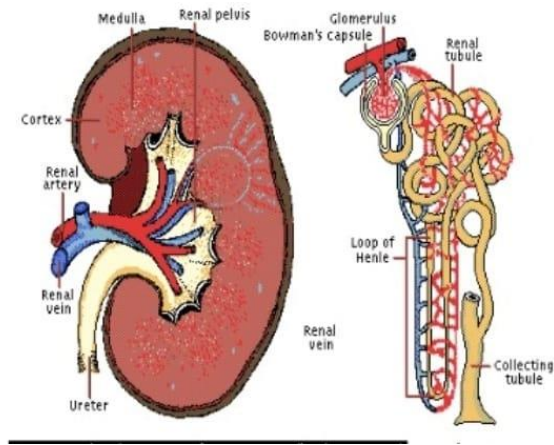
Ginjal merupakan salah satu organ atau alat ekskresi yang ada pada tubuh manusia. Alat ekskresi merupakan organ yang berfungsi untuk membuang zat sisa hasil metabolisme di dalam tubuh. Sistem ekskresi merupakan proses pengeluaran zat-zat hasil metabolisme sel yang sudah tidak digunakan oleh tubuh dan dikeluarkan bersama urine, keringat ataupun udara pernapasan (Krismayanti, 2015).

Ginjal merupakan organ kemih yang terletak di rongga peritoneal atas dan berbentuk seperti kacang yang terdiri dari dua bagian utama yaitu korteks di bagian luar dan medulla di bagian dalam. Korteks berwarna gelap dan terletak lebih superfisialis dari medulla. Korteks mengandung semua kapiler glomerulus dan sebagian segmen tubulus pendek (Irawan, 2016).



Gambar 5.1. Letak Ginjal dalam Rongga Peritoneal
Sumber : (Krismayanti, 2015)

Ginjal merupakan organ ekskresi yang berbentuk mirip kacang. Pada orang dewasa ginjal memiliki ukuran panjang sekitar 11 cm dan ketebalan 5 cm dengan berat sekitar 150 gram. Unit fungsional dasar ginjal adalah nefron berjumlah lebih dari satu juta dalam setiap ginjal normal manusia dewasa. Nefron ini berfungsi sebagai regulator air dan zat terlarut dalam tubuh dengan cara menyaring darah, kemudian mengabsorpsi cairan dan molekul yang masih diperlukan oleh tubuh (Krismayanti, 2015).



Gambar 5.2. Ginjal dan Nefron
Sumber (Noer, 2010)

Nefron terdiri dari sebuah komponen penyaring yang disebut korpuskula atau badan malphigi yang mempunyai saluran-saluran (tubulus). Setiap korpuskula mengandung gulungan kapiler darah yang disebut glomerulus yang bekerja dalam kapsula bowman, dan setiap glomerulus mendapat aliran darah dari arteri aferen. Darah dapat disaring melalui dinding epitelium tipis yang berpori dari glomerulus dan kapsula bowman karena adanya tekanan dari darah yang mendorong plasma darah, kemudian filtrat yang dihasilkan akan masuk ke dalam tubulus ginjal. Bagian selanjutnya adalah lengkung henle yang bermuara pada tubulus konvolusi distal, cairan menjadi kental di sepanjang tubulus dan saluran untuk membentuk urine, yang kemudian dibawa ke kandung kemih melalui uterer (Krismayanti, 2015)

5.2 Fungsi Ginjal

Ginjal sebagai salah satu organ atau alat ekskresi mempunyai beberapa fungsi diantaranya yaitu :

1. Pengaturan keseimbangan air dan elektrolit
2. Pengaturan konsentrasi osmolalitas cairan tubuh dan konsentrasi elektrolit
3. Pengaturan keseimbangan asam-basa, ekskresi sisa metabolisme dan bahan kimia asing
4. Pengatur tekanan arteri, sekresi hormon dan glukoneogenesis.

Nefron yang merupakan bagian terkecil dari ginjal mempunyai fungsi sebagai komponen vaskular, komponen tubular maupun komponen kombinasi vascular yaitu aparatus jungstaklomerulus yang berfungsi menghasilkan berbagai bahan yang dapat digunakan dalam kontrol fungsi ginjal (Sherwood, 2012).

Urine atau air seni adalah cairan sisa yang di ekskresikan oleh ginjal yang kemudian akan dikeluarkan dari tubuh melalui proses urinasi. Proses pembentukan urine terdiri dari filtrasi, reabsorpsi serta augmentasi dengan rincian proses sebagai berikut :

1. Penyaringan (Filtrasi)

Filtrasi terjadi pada glomerulus yang prosesnya dibantu oleh tekanan hidrolik dan permeabilitas yang tinggi pada glomerulus. Hasil penyaringan berupa filtrat glomerulus yang komposisinya serupa dengan darah tetapi tidak mengandung protein.

2. Penyerapan kembali (Reabsorpsi)

Filtrat glomerulus akan di reabsorpsi secara aktif sebanyak 99% pada tubulus kontortus proksimal dan terjadi

penambahan zat-zat sisa serta urea pada tubulus kontortus distal. Substansi yang masih berguna seperti glukosa dan asam amino dikembalikan ke darah. Pada bagian ini akan dihasilkan urine sekunder yang komposisinya berbeda dengan urine primer.

3. Augmentasi

Pada bagian ini terjadi penambahan zat sisa dan urea yang terjadi pada tubulus kontortus distal. Komposisi urin yang dikeluarkan lewat ureter adalah 96% air, 1.5% garam, 2.5% Urea dan sisanya berisi substansi lain seperti pigmen empedu yang berfungsi memberi warna dan bau pada urine (Krismayanti, 2015).

5.3 Macam-macam Gangguan Fungsi Ginjal

Gagal ginjal adalah suatu keadaan dimana kedua fungsi ginjal terganggu sehingga tidak bisa melakukan regulasi dan ekskresi untuk mempertahankan homeostasis dengan baik. Pada saat ginjal mengalami gangguan ini maka ginjal tidak dapat menjalankan fungsinya seperti mengeluarkan zat sisa metabolisme, sehingga zat tersebut akan tertimbun di dalam tubuh (Prof. Dr. dr. Anies, M.Kes., 2018).

Peningkatan kasus gagal ginjal di Indonesia mencapai 20% pada tahun 2013, Indonesia termasuk negara dengan tingkat penderita gagal ginjal cukup tinggi, hal tersebut dapat terlihat dari terus meningkatnya jumlah pasien cuci darah. Mortalitas penderita gagal ginjal masih cukup tinggi mencapai 40-50%. Pada tahun 2018 gagal ginjal menempati urutan ketiga yang menyerap anggaran besar setelah penyakit jantung dan kanker, salah satu yang menyerap biaya mahal adalah transplantasi atau cangkok ginjal (Woro and Rahajeng, 2020).

5.2.1 Gagal Ginjal Akut

Gagal ginjal akut adalah keadaan klinis dimana terjadi penurunan laju filtrasi glomerulus secara mendadak dengan atau tanpa disertai oliguri, dapat terjadi pada fungsi ginjal yang telah menurun pada kasus gagal ginjal kronik. Sebagian besar kejadian gagal ginjal akut, hampir 90% memperlihatkan anuri atau oliguri sebagai gejala utama. Prekwensi kejadian GGA cukup tinggi sekitar 25-50 kasus perjuta penduduk pertahun.

Gagal ginjal akut jika dilihat dari etiologinya dibagi menjadi 3 bentuk yaitu pre-renal, renal dan post-renal. Pada GGA Pre-renal penurunan laju filtrasi glomerulus disebabkan karena faktor-faktor ekstra renal seperti berkurangnya cairan tubuh dan kelainan kardiovaskular, dalam hal ini parenkim ginjal tidak mengalami kerusakan dan untuk jangka waktu tertentu masih bersifat reversibel. GGA renal dapat ditegakkan jika telah dapat disingkirkan penyebab pre-renal maupun post-renal. GGA renal dapat terjadi karena glomerular, tubular, interstisial maupun vaskular. Bentuk yang paling banyak adalah akibat kerusakan tubulus renalis. GGA Post renal terjadi akibat terjadinya obstruksi aliran kemih baik secara anatomis maupun fungsional, dimana terjadinya penurunan LFG pada post-renal ini dapat terjadi karena langsung oleh adanya obstruksi, terjadinya peningkatan tekanan intra tubular atau vasokonstriksi pembuluh darah ginjal (Samad and Azzahra, 2022) (Islamy and Yonata, 2019)

5.2.2 Gagal Ginjal Kronis

Gagal ginjal kronik merupakan gangguan renal yang progresif dan irreversibel dimana kemampuan tubuh gagal mempertahankan metabolisme dan keseimbangan elektrolit. Pasien gagal ginjal kronik harus menjalani hemodialisa secara terus menerus seumur hidupnya. Hemodialisa adalah suatu metode terapi dialisis yang digunakan untuk mengeluarkan

cairan dan produk limbah dari dalam tubuh ketika secara akurat atau secara progresif ginjal tidak mampu melaksanakan proses tersebut. (Pratama *et al.*, 2020).

Secara fisiologis, mulai usia 50 tahun ginjal akan mengalami penurunan fungsi cukup signifikan akibat berkurangnya jumlah nefron sekitar 20%, selain itu penyakit degeneratif merupakan faktor resiko terjadinya gagal ginjal kronik, seperti hipertensi dan *Diabetes mellitus* yang paling banyak diderita pada usia 50 tahun ke atas. Penyakit Ginjal Kronis bisa juga muncul pada usia yang lebih dini karena gaya hidup yang tidak sehat terutama yang berkaitan dengan kebiasaan konsumsi zat-zat tertentu yang bersifat nefrotoksik (Hadisaputro *et al.*, 2018).

5.2.3 Batu Ginjal

Batu Ginjal dikenal juga dengan istilah *nephrolithiasis* merupakan suatu keadaan di mana terdapat satu atau lebih batu di dalam pelvis atau calyces dari ginjal. Batu ginjal biasanya terbentuk dari kalsium, fosfat atau kombinasi asam urat yang biasanya larut dalam urine. Pembentukan batu ginjal dipengaruhi oleh beberapa faktor instrinsik dan ekstrinsik. Faktor instrinsik antara lain usia, jenis kelamin dan keturunan sedangkan faktor ekstrinsik antara lain kondisi geografis, iklim dan kebiasaan makan, zat atau bahan kimia yang terkandung di dalam air (Krisna, 2011).

Batu ginjal dapat dibedakan atas empat jenis yaitu batu kalsium merupakan kasus yang paling banyak ditemukan sekitar 75-80% yang dapat terjadi karena hiperkalsiuria, hiperoksalouria atau hiperurikosuria dan hipermagnesiuria. Ke dua batu struvit disebut juga sebagai batu infeksi karena terbentuknya batu ini dipicu oleh adanya infeksi saluran kemih. Ke tiga batu urat yang banyak dialami oleh penderita gout,

penyakit mieloproliferatif, pasien dengan obat sitostastik dan urikosurik. Ke empat batu cystin yang merupakan kasus yang paling sedikit, terbentuk pada mereka yang memiliki kelainan secara turun temurun yang menyebabkan ginjal menghasilkan asam amino tertentu dalam jumlah yang banyak (Hasanah, 2016)

Pengobatan batu ginjal yang banyak digunakan adalah dengan terapi *Extracorporeal Shockwave Lithotripsy* (ESWL) merupakan suatu prosedur terapi dengan jalan menghancurkan batu ginjal menjadi fragmen kecil dengan menggunakan gelombang kejut. Pengobatan alternatif dengan obat tradisional menggunakan tanaman herbal juga mulai dilirik masyarakat karena relatif lebih ekonomis. Salah satu contoh tanaman obat yang digunakan adalah kelor, yang pada penelitian menyebutkan bahwa ekstrak kulit akar kelor mampu menghambat pembentukan batu ginjal secara in vivo (Anas, Imron and Ningtyas, 2016).

5.2.4 Glomerulonefritis

Glomerulonefritis merupakan suatu istilah yang digunakan untuk berbagai penyakit kelainan histopatologi yang menunjukkan adanya peradangan pada glomerulus. Penyakit ini diduga melibatkan mekanisme imunologis dan dapat mengakibatkan reaksi peradangan akut yang berat serta meningkatkan terbentuknya jaringan fibrosis (Hilmanto, 2016).

Diagnosis glomerulonefritis akut perlu dicurigai pada pasien dengan gejala berupa hematuria makroskopis, sembab dan gagal ginjal akut yang timbul setelah infeksi streptokokus. Glomerulonefritis kronik juga menunjukkan gejala klinis berupa hematuria, sembab, hipertensi dan gagal ginjal (Rachmadi, 2010)

Pengobatan glomerulonefritis mempunyai dua tujuan yaitu mengatasi peradangan akut dan menghambat progresifitas pembentukan fibrosis. Penggunaan obat yang sering digunakan

pada transplantasi organ seperti mikofenolat mofetil ditujukan untuk mengatasi proses peradangan fase akut. Obat lain juga dipakai sebagai anti inflamasi seperti antisyklooksigenase (Hilmanto, 2016).

5.2.5 Infeksi Saluran Kemih

Infeksi Saluran Kemih (ISK) merupakan penyakit infeksi yang ditemukan, baik pada saluran kemih atas dan atau bawah. ISK adalah jenis infeksi nosokomial yang paling umum dimana infeksi nosokomial terjadi setelah instrumentasi terutama kateterisasi. Beberapa penelitian menunjukkan adanya faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya ISK seperti umur, jenis kelamin, berbaring lama, penggunaan obat imunosupresan dan steroid, kebiasaan menahan kemi serta kebersihan genitalia (irawan, 2018).

ISK sering ditemukan pada kehamilan, dengan prevalensi sekitar 10%, perubahan fisiologis pada saluran kemih sepanjang kehamilan dapat meningkatkan resiko ISK, begitu pula pengaruh hormon progesteron dan obstruksi oleh uterus menyebabkan dilatasi sistem pelviokalis dan ureter, serta meningkatkan refluks vesikoureter (Ocviyanti and Fernando, 2012).

Diagnosis yang ideal untuk deteksi adanya ISK adalah kultur urine, sampel yang diambil adalah urine pancar tengah yang diambil secara bersih (*midstream, clean-catch urine sample*), namun layanan ini mempunyai keterbatasan, fasilitas kultur terkadang tidak tersedia serta biaya yang cukup tinggi. ISK dapat ditegakkan dengan metode tidak langsung untuk deteksi bakteri atau hasil reaksi inflamasi, metoda yang sering dipakai adalah tes celup urine yang dapat digunakan untuk mendeteksi nitrit, esterase leukosit, protein dan darah di dalam urine (Ocviyanti and Fernando, 2012).

5.4 Pemeriksaan Laboratorium Gangguan Fungsi Ginjal

Penyakit ginjal sering disertai penyakit lain yang mendasarinya seperti diabetes melitus, hipertensi, dislipidemia dan lain-lain. Gejala gangguan ginjal stadium dini cenderung ringan, sehingga sulit didiagnosis hanya dengan pemeriksaan klinik. Pemeriksaan laboratorium dapat mengidentifikasi gangguan ginjal lebih awal. Berbagai pemeriksaan laboratorium dapat digunakan untuk mengevaluasi fungsi ginjal. Metode pemeriksaan yang dilakukan dengan mengukur zat sisa metabolisme tubuh yang diekskresikan melalui ginjal seperti ureum, asam urat, inulin, microglobulin dan kreatinin (Verdiansyah, 2016).

5.4.1 Urinalisa

Urinalisa adalah identifikasi urine secara makroskopik, mikroskopik dan kimiawi. Urinalisis merupakan salah satu pemeriksaan penunjang sederhana yang dapat memberikan informasi untuk membantu menegaskan diagnosis pada penyakit ginjal dan berbagai penyakit lainnya. Beberapa hasil pemeriksaan urine berperan penting dalam menegaskan diagnosa serta dapat digunakan untuk *follow up* suatu kelainan ginjal antara lain sindroma glomerular, *acute kidney injury*, *chronic kidney disease*, infeksi saluran kemih, hipertensi dan juga batu ginjal (Firdausa, Pranawa and Suryantoro, 2019).

Tes urine telah lama dikerjakan dan sering dilakukan karena sampel mudah didapatkan dan teknis pemeriksaan tidak begitu sulit. Tes urine rutin atau disebut juga urinalisis bertujuan untuk menunjukkan adanya zat-zat yang dalam keadaan normal tidak terdapat di dalam urine, atau menunjukkan perubahan kadar zat dalam keadaan normal terdapat dalam urine (Naid, Mangerangi and Almahdaly, 2014)

5.4.2 Pengukuran Laju Filtrasi Glomerulus

Indikator yang paling baik digunakan dalam menguji fungsi glomerular adalah laju filtrasi glomerulus (*glomerular filtrate rate*/GFR). GFR merupakan volume plasma yang secara lengkap telah difiltrasi dari zat-zat darah oleh glomerulus dalam satuan waktu. Pengukuran GFR penting untuk mengidentifikasi penyakit gagal ginjal kronis dalam rangka menentukan target terapi untuk mencegah perkembangan dan komplikasi, serta untuk memonitoring perkembangan dan memprediksi kapan waktu yang tepat untuk menggunakan terapi pengganti ginjal (Fristiohady and Ruslin, 2020)

Proses pembentukan urine berawal dari filtrasi, yaitu proses penyaringan plasma melalui dinding kapiler glomerulus, hasil ultrafiltrasi tersebut mengandung berbagai zat yang terdapat dalam plasma, termasuk elektrolit, glukosa, ureum, kreatinin dan protein tertentu dengan berat molekul rendah. Protein dengan berat molekul yang tinggi seperti albumin dan globulin, tidak terfiltrasi oleh glomerulus dalam keadaan normal (Adnani and Pardede, 2021).

GFR ditentukan dengan mengukur klirens marker atau penanda luar tubuh (eksogen) maupun dalam tubuh (endogen). Zat yang terukur merupakan zat yang stabil konsentrasinya dalam darah, bersifat inert, secara bebas difiltrasi oleh glomerulus dan tidak di sekresikan, reabsorpsi, disintesis dan dimetabolisme oleh ginjal, sehingga jumlah yang tersaring sama dengan jumlah yang disekresikan melalui urine (Fristiohady and Ruslin, 2020).

5.4.3 Pemeriksaan Kreatinin

Kreatinin merupakan salah satu prediktor yang umum digunakan dalam diagnosis kesehatan ginjal. Kreatinin secara eksklusif di ekskresi melalui ginjal, terutama melalui proses filtrasi glomerulus dan sedikit sekali melalui sekresi tubulus. Kreatinin serum sering digunakan untuk menilai laju filtrasi glomerulus. Produksi kreatinin berhubungan dengan masa otot, bila masa otot berkurang maka kreatinin serum akan menurun (Irawan, 2016).

The National Kidney Disease Education Program merekomendasikan penggunaan serum kreatinin untuk mengukur kemampuan filtrasi glomerulus, digunakan untuk memantau perjalanan penyakit ginjal. Diagnosis gagal ginjal dapat ditegakkan saat nilai kreatinin serum meningkat di atas nilai rujukan normal. Kadar kreatinin tidak hanya bergantung pada massa otot, tetapi dipengaruhi juga oleh aktivitas otot, diet dan status kesehatan. Penurunan kadar kreatinin terjadi pada keadaan glomerulonefritis, nekrosis tubuler akut, *polycystic kidney* desese akibat gangguan fungsi sekresi kreatinin (Verdiansyah, 2016)

5.4.4 Pemeriksaan Ureum

Ureum adalah produk akhir katabolisme protein dan asam amino yang diproduksi oleh hati, dan di distribusikan melalui cairan intraseluler dan ekstraseluler keluar dalam darah untuk kemudian di filtrasi oleh glomerulus. Pengukuran ureum serum dapat digunakan untuk mengevaluasi fungsi ginjal, status hidrasi, menilai keseimbangan nitrogen, menilai progresivitas penyakit ginjal dan menilai hemodialisis (Verdiansyah, 2016).

Konsentrasi urea meningkat dalam plasma pada gangguan fungsi ginjal, ketika urea yang dikeluarkan jauh lebih kecil dari nilai normalnya. Peningkatan urea merupakan salah satu

karakteristik kimiawi pertama yang teridentifikasi dalam plasma pasien gagal ginjal akut (Irawan, 2016)

Pemeriksaan urea dalam serum disebut juga pemeriksaan urea dalam darah atau *Blood Urea Nitrogen* (BUN). Pemeriksaan BUN dilakukan secara kolorimetrik enzimatik menggunakan enzim urease yang akan menghidrolisis urea dalam sampel menjadi ammonium. Metoda lain yang digunakan dalam menentukan kadar BUN yaitu dengan cara Berthelot, di mana dengan adanya ion amonium dengan hipoklorit dan salisilat menghasilkan warna hijau yang hasilnya diukur pada alat fotometer (Nugraha and Badrawi, 2021)

5.4.5 Pemeriksaan Cystatin

Cystatin C merupakan protein bermolekul rendah yang berfungsi sebagai indikator protease yang dihasilkan oleh sel nukleat, dan terukur dalam serum serta urine. Kadar Cystatin C berkorelasi baik dengan GFR di mana nilai serum cystatin yang tinggi mengindikasikan nilai GFR yang rendah dan sebaliknya. Konsentrasi cystatin C dapat dipengaruhi oleh kanker, penyakit tiroid serta merokok (Fristiody and Ruslin, 2020).

Cystatin C berfungsi sebagai pengatur aktivitas proteolitik dari protease sistein yang di sekresikan atau bocor dari lisosom sel yang mati atau sel yang rusak. Keseimbangan antara protease sistein dan inhibitorynya sangat penting dalam pengaturan aktivitas proteolitik pada kondisi fisiologis normal maupun dalam degradasi protein patologis dan penyakit keganasan. Cystatin C di reabsorpsi oleh tubulus proximal dan tidak dieksresi, tetapi mengalami katabolisme hampir lengkap oleh sel tubulus proksimal sehingga tidak ada yang kembali ke darah. Dengan demikian kadar cystatin C dalam darah menggambarkan LFG dan dapat dikatakan mendekati penanda LFG endogen yang ideal. Cystatin serum mulai meningkat bila LFG sudah turun

sampai 75 ml/menit, maka selain merupakan penanda LFG yang lebih baik dari pada kreatinin serum juga merupakan penanda yang lebih sensitif terhadap perubahan kecil LFG (Yaswir and Maiyesi, 2012)

DAFTAR PUSTAKA

- Adnani, N.B. and Pardede, S.O. (2021) 'Laju Filtrasi Glomerulus pada Anak: Metode Apa yang Digunakan?', *Majalah Kedokteran UKI*, 36(1), pp. 33–41. Available at: <https://doi.org/10.33541/mk.v36i1.2990>.
- Anas, Y., Imron, A. and Ningtyas, S.I. (2016) 'EKSTRAK DAUN KELOR (*Moringa oleifera* Lam.) SEBAGAI PELURUH KALSIUM BATU GINJAL SECARA IN VITRO Yance', *Jurnal Ilmu Farmasi & Farmasi Klinik*, 13(2), pp. 7–15.
- Firdausa, S., Pranawa and Suryantoro, S.D. (2019) 'Arti Klinis Urinalisis pada Penyakit Ginjal', *J. Ked. N. Med*, pp. 1–10.
- Fristiohady, A. and Ruslin (2020) *Pengantar Kimia klinik dan Diagnostik, Kimia Klinik*.
- Hadisaputro, S. *et al.* (2018) 'Beberapa Faktor Risiko Kejadian Penyakit Ginjal Kronik (PGK) Stadium V pada Kelompok Usia Kurang dari 50 Tahun (Studi di RSUD dr.H.Soewondo Kendal dan RSUD dr.Adhyatma, MPH Semarang)', 3(1), pp. 1–6.
- Hasanah, U. (2016) 'Mengenal Penyakit Batu Ginjal', *Jurnal Keluarga Sehat Sejahtera*, 14(28), pp. 76–85. Available at: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/jkss/article/view/4698/4129>.
- Hilmanto, D. (2016) 'Pandangan Baru Pengobatan Glomerulonefritis', *Sari Pediatri*, 9(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.14238/sp9.1.2007.1-6>.
- Irawan, erna (2018) 'Faktor-Faktor Penyebab Infeksi Saluran Kemih (ISK) (Literature Review)', *Prosiding Seminar Nasional dan Penelitian Kesehatan 2018*, 1(1), pp. 2013–2016. Available at: <https://doi.org/10.31227/osf.io/yt8nz>.
- Irawan, P.A. (2016) 'Pemeriksaan fungsi ginjal', *Journal of Diabetes*, 43(2), pp. 148–154.

- Islamy, N. and Yonata, A. (2019) 'Tatalaksana Eklampsia dengan Gagal Ginjal Akut', *JK Unila*, 3(1), pp. 191–197. Available at: <http://juke.kedokteran.unila.ac.id/index.php/JK/article/view/2226/2195>.
- Krismayanti, L. (2015) *anatomi Fsiologi manusia*. Edited by M.P.S. Bahtiar.
- Krisna, D.N.P. (2011) 'Faktor Risiko Penyakit Batu Ginjal', *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(1), pp. 51–62.
- Naid, T., Mangerangi, F. and Almahdaly, H. (2014) 'Pengaruh Penundaan Waktu Terhadap Hasil Urinalisis Sedimen Urin', *Jurnal Ilmiah As-Syifaa*, 6(2), pp. 212–219. Available at: <https://doi.org/10.33096/jifa.v6i2.51>.
- Noer (2010) 'Evaluasi fungsi ginjal secara laboratorik (Laboratoric evaluation on renal function)', *Lab-SMF Ilmu Kesehatan Anak FK Unair*.
- Nugraha, G. and Badrawi, I. (2021) 'Pedoman Teknik Pemeriksaan Laboratorium Klinik', *Trans Info Media*, p. 170.
- Ocviyanti, D. and Fernando, D. (2012) 'Tata laksana dan pencegahan infeksi saluran kemih pada kehamilan', *Journal Indonesian Medicine Association*, 62(12), p. 483.
- Pratama, A.S. *et al.* (2020) 'Mekanisme koping pada pasien gagal ginjal kronik yang menjalani hemodialisis di unit hemodialisa rsud bandung', 7(1), pp. 18–21.
- Prof. Dr. dr. Anies, M.Kes., P. (2018) *Penyakit degeneratif: buku ajar kedokteran & kesehatan*. Edited by N. Hidayah. Yogyakarta: Ar Ruzz.
- Rachmadi, D. (2010) 'DIAGNOSIS DAN PENATALAKSANAAN GLOMERULONEFRITIS AKUT', *Ilmu Kesehatan Anak FK UNPAD*, (April), pp. 24–25.
- Samad, M.Y. and Azzahra, F. (2022) 'Pelibatan Badan Intelijen Negara Dalam Penanganan Kasus Gagal Ginjal Akut Di Indonesia', *Jurnal Pertahanan & Bela Negara*, 12(3), p. 220. Available at: <https://doi.org/10.33172/jpbh.v12i3.1922>.

- Sherwood (2012) *Anatomi Fisiologi Manuasia dari Sel ke Sistem*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Verdiansyah (2016) 'Pemeriksaan Fungsi Ginjal', 43(2), pp. 148–154.
- Woro and Rahajeng, E. (2020) 'Gambaran Gangguan Fungsi Ginjal Kasus Baru Penderita Diabetes Melitus , Jantung Koroner , dan Strok pada Studi Kohor di Bogor , Indonesia', (Dm), pp. 295–304.
- Yaswir, R. and Maiyesi, A. (2012) 'Pemeriksaan Laboratorium Cystatin C Untuk Uji Fungsi Ginjal', *Jurnal Kesehatan Andalas*, 1(1), pp. 10–15. Available at: <https://doi.org/10.25077/jka.v1i1.11>.

BAB 6

PEMBENTUKAN BATU GINJAL

Oleh Riana Retno Widiastuty

6.1 Pendahuluan

Batu ginjal adalah penyebab kesakitan utama dan mempengaruhi sekitar 1-15% populasi dunia . Jenis batu ginjal antara lain kalsium oksalat, kalsium fosfat, asam urat, struvite, dan batu campuran, di antaranya batu kalsium merupakan unsur paling umum pada sekitar 70-80% batu. (Moftakhar, *et al.*, 2022)

Penyakit batu ginjal, juga dikenal sebagai nefrolitiasis atau urolitiasis, adalah kelainan yang terjadi pada saluran kemih mengendap membentuk agregat bahan kristal di dalam ruang kemih. Insiden nefrolitiasis telah meningkat, dan demografi telah berkembang. Dulu dipandang sebagai penyakit terbatas dengan eksaserbasi intermiten yang hanya ditangani oleh ahli urologi, nefrolitiasis kini dikenal sebagai kondisi kompleks yang membutuhkan evaluasi menyeluruh dan perawatan multifaset. Batu ginjal sering kali merupakan manifestasi dari kondisi medis sistemik yang mendasari seperti sindrom metabolik, kelainan genetik, atau endokrinopati. Analisis kimia urin dan batu komposisi memberikan jendela ke dalam patogenesis dan studi tambahan langsung untuk mengungkap yang mendasarinya penyakit (Shastri *et al.*, 2023).

Insiden dan prevalensi batu ginjal terus menunjukkan angka peningkatan di seluruh dunia. Mengingat suhu ketergantungan presentasi batu ginjal terhadap suhu, perubahan

iklim diproyeksikan akan semakin meningkatkan beban penyakit bagi individu dan masyarakat (Gan *et al.*, 2023). Batu ginjal mempengaruhi sekitar 10% orang dewasa di seluruh dunia (Singh *et al.*, 2022), dengan prevalensi dan kejadian yang terus meningkat secara global. Individu dengan batu ginjal berisiko tinggi terkena sindrom metabolik, penyakit kardiovaskular, penyakit ginjal kronis dan gagal ginjal (Gambaro dkk., 2017).

Semakin banyak bukti yang menunjukkan peran penting peradangan pada patogenesis batu ginjal (Wigner *et al.*, 2021). Oleh karena itu, obat atau suplemen antiinflamasi mungkin memiliki manfaat potensial dalam mencegah batu ginjal. Glukosamin, sebagai obat terapi latar belakang untuk osteoarthritis, adalah direkomendasikan oleh *European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis* (Bruyère *et al.*, 2019).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa glukosamin memiliki sifat anti-inflamasi. Dalam konteks ini, epidemiologi studi dalam beberapa tahun terakhir telah menemukan bahwa penggunaan glukosamin secara teratur dapat mengurangi risiko asam urat (Liu *et al.*, 2022) dan diabetes tipe 2, yang keduanya terkait dengan pembentukan batu ginjal. Selain itu, glukosamin adalah substrat penting untuk sintesis glikosaminoglikan. Glikosaminoglikan dapat menstabilkan keadaan fisik-kimia urin untuk mencegah pembentukan batu dengan menormalkan transmembran fluks oksalat dan mengurangi fosforilasi protein membran dalam eritrosit (Spardi *et al.*, 2023).

Nefrolitiasis menggambarkan sindrom yang ditandai dengan perkembangan kristal padat kristal padat di dalam ruang kemih ginjal. Terdapat keragaman yang signifikan dalam patogenesisnya, faktor risiko, perjalanan klinis, dan pengobatannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi individu

160

terhadap batu ginjal pembentukan batu ginjal dapat bersifat genetik, metabolik, dan lingkungan.

Nefrolitiasis sekarang dikenal sebagai penanda penyakit sistemik dan prediktor komplikasi metabolik dan kardiovaskular. Perspektif komunitas medis tentang nefrolitiasis secara bertahap telah bergeser dari memandangnya sebagai penyakit urologi utama menjadi kondisi medis kronis yang membutuhkan jangka panjang pengawasan dan manajemen. Pengelolaan nefrolitiasis didasarkan pada identifikasi kimiawi urin yang menjadi predisposisi individu terhadap pembentukan batu. Hal ini dilakukan dengan mengukur tingkat ekskresi dari beberapa urin zat terlarut serta dengan menentukan komposisi batu jika memungkinkan.

Dalam beberapa kasus, penyebab tunggal batu ginjal dapat ditentukan dan diobati. Secara lebih umum, para dokter mengidentifikasi beberapa faktor risiko dugaan faktor dan harus menyusun rencana yang menguntungkan memodifikasi faktor risiko ini melalui intervensi farmakologis atau diet.

Nefrolitiasis yang umum terjadi, dapat mempengaruhi sekitar 1 dari 11 orang di Amerika Serikat. Pada usia 70 tahun, 19,1% pria dan 9,4% wanita melaporkan pernah memiliki batu ginjal. Beban penyakit ini tampaknya terus meningkat, dengan data yang didapatkan oleh *National Health and Nutrition Examination Survey* mencatat peningkatan prevalensi batu ginjal yang dilaporkan sendiri batu ginjal, dari 3,2% pada tahun 1976-1980 menjadi 8,8% pada tahun 2014. Rasio pria dan wanita telah menurun dari 3:1 menjadi sekitar 2:1 dalam 2 dekade terakhir, yang disebabkan oleh meningkatnya prevalensi obesitas (Shastri *et al.*, 2023).

Penelitian terbaru yang dilakukan di Amerika, didapatkan informasi kasus batu ginjal terbanyak telah bergeser banyak dijumpai pada wanita. Pola makan dan gaya hidup mungkin berperan. Peningkatan faktor risiko metabolik berhubungan dengan peningkatan BMI, dan obesitas juga berhubungan dengan kekambuhan penyakit batu. Seperti halnya penyakit batu, prevalensi kelebihan berat badan dan obesitas lebih tinggi pada pria dibandingkan pada wanita. Namun dari tahun 1960 hingga 2002, kelebihan berat badan dan obesitas meningkat lebih cepat pada wanita dibandingkan pria, yang bertepatan dengan peningkatan penyakit batu pada wanita. Adalah suatu kebetulan bahwa tren ini, bersama dengan mekanisme biologis yang masuk akal, menunjukkan kemungkinan adanya hubungan antara epidemi obesitas dan peningkatan pesat penyakit batu di Amerika Serikat (Scales *et al.*, 2007)

Obesitas dan diabetes sangat terkait dengan riwayat batu ginjal dalam model multivariat, terutama untuk wanita. Perbedaan ras dan etnis juga jelas, dengan prevalensi nefrolitiasis lebih tinggi pada pasien pria kulit putih, menengah pada pasien Hispanik dan Asia, dan lebih jarang terjadi pada pasien kulit hitam. Yang tertinggi risiko pembentukan batu dilaporkan pada pria di Uni Emirat Arab dan Arab Saudi. Di Amerika Serikat, terdapat peningkatan prevalensi nefrolitiasis dari Utara ke Selatan dan dari Barat ke Timur.

Peningkatan yang berhubungan dengan panas dalam konsentrasi urin dari air nonrenal kehilangan air non-ginjal, perbedaan geografis dalam diabetes dan tingkat obesitas, dan faktor lingkungan dan faktor genetik lainnya kemungkinan menjelaskan perbedaan ini. Hubungan antara peningkatan lingkungan dan peningkatan tingkat penyakit batu telah didokumentasikan dengan baik, sehingga memprediksi

peningkatan lebih lanjut dalam kejadiannya dengan perubahan iklim.

6.2 Epidemiologi

Ada banyak perbedaan dalam jumlah batu ginjal di seluruh dunia, dengan angka antara 1 dan 5% di Asia, antara 5 dan 9% di Eropa, dan antara 7 dan 15% di Amerika Utara [3]. Meskipun di Arab Saudi hampir 20% penduduknya menderita penyakit ginjal, penyakit ini hanya menyerang 4% penduduk Tiongkok (Moftakhar, L *et al.*, 2022).

Pada tahun 2013, ditemukan sebanyak 6 per 1000 penduduk atau 1.499.400 penduduk Indonesia menderita Batu Ginjal (Riskesdas, 2013). Di Indonesia, masalah batu saluran kemih masih menjadi kasus urologi terbanyak namun belum ada data mengenai prevalensi nasional mengenai hal ini. Sekitar 1-20% kasus batu saluran kemih di beberapa negara di dunia, tersering terjadi pada pria dibandingkan wanita, yaitu 3: 1, dengan kejadian tertinggi terjadi pada usia 40 sampai 50 tahun (Rasyid, *et al.*, 2018).

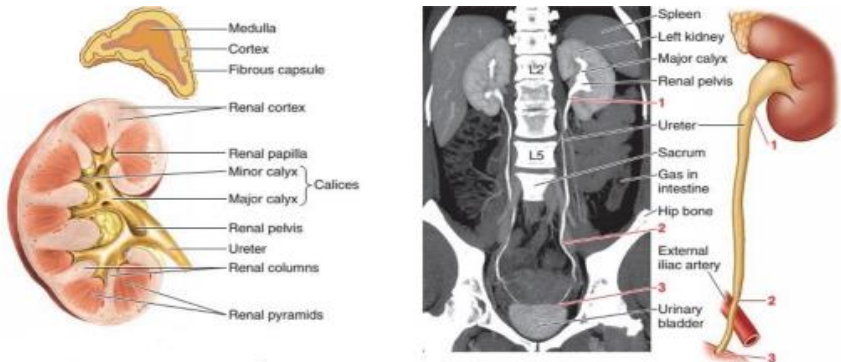
Penyakit batu ginjal atau nefrolitiasis adalah kondisi akibat terbentuknya endapan padat di dalam ginjal yang berasal dari zat kimia dalam urine. Ukuran batu ginjal bisa mulai dari sekecil butiran pasir hingga sebesar kacang polong. Batu ginjal terbentuk akibat tingginya kadar zat kimia, seperti kalsium, asam oksalat, dan fosfor dalam urine. Zat-zat ini dapat membentuk kristal dan menumpuk di ginjal. Seiring berjalannya waktu, kristal tersebut akan makin keras seperti batu (Hidayaningsih dkk., 2023).

Batu ginjal merupakan penyebab utama morbiditas dan mempengaruhi sekitar 1-15% populasi dunia. Jenis batu ginjal termasuk kalsium oksalat, kalsium fosfat, asam urat, struvite, dan

batu campuran, di antaranya batu kalsium adalah yang paling umum dan mencakup sekitar 70 hingga 80% batu. Terdapat banyak perbedaan dalam tingkat prevalensi batu ginjal di seluruh dunia, sehingga angka ini dilaporkan sebesar 1-5% di Asia, 5-9% di Eropa, dan 7-15% di Amerika Utara . Meskipun di Arab Saudi, hampir 20% orang menderita batu ginjal, hal ini hanya terjadi pada 4% populasi di Tiongkok. Iran merupakan salah satu negara yang terletak di sabuk batu ginjal. Menurut hasil penelitian, prevalensi batu ginjal di Iran dilaporkan 4,2 per seribu, dan prevalensi tertinggi di Iran dilaporkan di provinsi barat dan barat daya. Data global menunjukkan bahwa prevalensi batu ginjal meningkat pada laki-laki dan perempuan pada kuartal terakhir abad ke-20, hal ini mungkin disebabkan oleh faktor lingkungan seperti pola makan dan gaya hidup Moftakhar *et al.*, 2022).

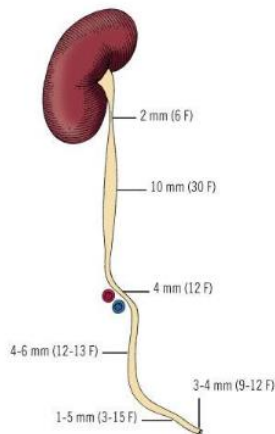
6.3 Anatomi ginjal dan ureter

Ginjal adalah organ vital dalam tubuh yang berfungsi sebagai ekskresi dalam tubuh yang berbentuk mirip kacang dan terletak dibelakang perut atau abdomen. Ureter adalah saluran yang menghubungkan dari organ ginjal ke kandung kemih (vesica urinaria), merupakan saluran yang tersusun atas muscular (Moore, 2010).



Gambar 6.1 Anatomi struktur internal ginjal dan perjalanan ureter (Moore, 2010)

Kedua ureter memasuki kandung kemih (vesica urinaria). Ketika kandung kemih terisi penuh, maka muara dari kedua ureter ini berjarak sama sekitar 5 cm, saat keadaan kosong muara dari kedua ureter berjarak sekitar 2,5 cm. Diameter lumen ureter pada junctura ureteropelvicum adalah 2 mm, di bagian tengah diameter 10 mm, sedangkan diameter saat menyilang arteri iliaca externa sekitar 4 mm, dan di junctura ureterovesicalis diameter 3-4 mm (Moore, 2010).



Gambar 6.2 . Diameter ureter dengan area penyempitan (Moore, 2010)

6.4 Definisi

Urolitiasis adalah suatu kondisi atau penyakit di mana terbentuk batu berupa kristal di saluran kemih. Batu yang ditemukan di ginjal disebut nefrolitiasis dan merupakan kasus yang paling umum. Jika ditemukan batu di ureter dan kandung kemih, biasanya berasal dari ginjal (6,7) Berdasarkan lokasi, batu saluran kemih dibagi menjadi batu ginjal sebesar 27,1% , batu ureter sebesar 51,8% , batu buli sebanyak 18,1% dan batu urethra 3% (Ardita dkk., 2021).

Aliran urin mengalir dari tempat produksi di ginjal , keluar melalui ureter kemudian tertampung di kandung kemih. Bahan eksresi yang diproduksi oleh ginjal mengandung berbagai macam substansi selain air. Pada kondisi patologis terbentuknya kristal hingga batu di ginjal maka posisi batu dapat masih stagnan di organ ginjal atau mengikuti aliran urin menuju kandung kemih hingga urethra. Keluhan klinis muncul ketika batu tersangkut pada posisi yang menyebabkan kontraksi saluran terutama di daerah ureter yang memiliki area sempit pada sepanjang ureter.

6.5 Etiologi

Batu Saluran Kemih (BSK) adalah batu yang terbentuk di saluran kemih, antara lain batu ginjal, ureter, kandung kemih, dan uretra. Pembentukan batu dapat diklasifikasikan berdasarkan etiologi, meliputi penyakit menular, tidak menular, penyakit genetik, dan terapi obat (Rasyid, et al., 2018).

Tabel 6.1 Batu saluran kemih berdasarkan etiologi

Batu akibat dari Infeksi	Magnesium amonium fosfat
	Karbonat
	Amonium urat
Batu akibat non infeksi	Kalsium Oksalat
	Kalsium Fosfat
	Asam urat
Kelainan genetik	Sistein
	Xantin
Obat	

Sumber : (Rasyid, et al., 2018)

6.6 Faktor Risiko

Faktor resiko yang memberikan kontribusi besar terjadinya batu saluran kemih adalah munculnya batu saluran kemih di usia muda, faktor keturunan, batu asam urat, batu akibat infeksi, hiperparatiroidisme, dan sindrom metabolik, serta obat-obatan. Dalam proses pembentukan batu ginjal/ saluran kemih akan senantiasa terjadi kekambuhan minimal 1 kali dalam 1 tahun ditandai dengan nyeri yang hebat di daerah tempat batu berjalan (Rasyid, et al., 2018)

Tabel 6.2 Faktor risiko tinggi pembentukan batu

Faktor umum

- Terjadinya batu saluran kemih di usia muda (khususnya anak-anak dan remaja) kasus tertinggi 20-50 tahun
- Jenis kelamin (laki-laki mengekskresi sedikit sitrat dan banyak kalsium dibandingkan perempuan)
- Hormon: kadar testosterone memberi kemungkinan lebih besar terbentuknya batu oxalate, pada wanita karena kadar sitrat urin yang tinggi
- Etnis: (Etnis Amerika, Afrika atau Israel memiliki risiko tinggi)
- Faktor keturunan dengan riwayat batu saluran kemih
- Lingkungan: beriklim tropis, pegunungan atau padang pasir
- Obat-obatan: ephedrin, guifenesin, thiazid, indinavir dan allopurinol dapat menyebabkan terjadinya urolitiasis
- Batu mengandung *brushite* ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Asam urat dan batu mengandung asam urat
- Batu akibat infeksi
- Ginjal tunggal

Penyakit yang berhubungan dengan pembentukan batu

- Hiperparatiroidisme
- Sindrom metabolik
- Nefrokalsinosis
- Penyakit ginjal polikistik
- Penyakit gastrointestinal (seperti reseksi intestinal, penyakit Crohn, malabsorpsi)
- Kelainan medula spinalis, seperti *neurogenic bladder*

Kelainan genetik yang berhubungan dengan pembentukan batu

- Risiko tinggi pada populasi Caucasian dan Asian
- Riwayat keluarga penderita batu ginjal

- Hiperuricaemia (gout, myeloproliferative disorder)
- Sistinuria
- Hiperoksaluria primer
- Asidosis tubuler ginjal tipe I
- Xantinuria

Abnormalitas anatomis yang berhubungan dengan pembentukan batu

- *Ureteropelvic Junction (UPJ) Obstruction*
- Divertikulum kaliks
- Striktur uretra
- Refluks vesiko-uretero-renal
- Ginjal tapal kuda
- Ureterocele

Infeksi saluran kemih

- Urease hydrolyses urea to ammonium raising urine PH

Medikasi

- Anti epilepsi: topiramate
- Loop diuretic and steroid (calcium stone), chemotherapy (hyperuricaemia)

(Ellis, 2020) (Rasyid, et al., 2018)

6.7 Komponen batu ginjal

Komposisi batu ginjal menjadi dasar diagnostik dan terapi. Batu ginjal dibentuk dari substansi campuran.

Tabel 6.3 Komposisi batu ginjal

	Percentage of stones	Characteristics
Crystal		
Calcium oxalate-monohydrate	40–60%	Radio-opaque Well circumscribed
Calcium oxalate-dehydrate	40–60%	
Calcium phosphate (apatite; $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{OH}]_2$)	20–60%	
Calcium phosphate (brushite; $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	2–4%	
Uric acid	5–10%	Radiolucent
Rarely staghorn		
Struvite (magnesium ammonium phosphate)	5–15%	Can be staghorn
Cystine	1.0–2.5%	Mildly opaque
Can be staghorn		
Ammonium urate	0.5–1.0%	
Mixed stones		
Mixed calcium oxalate-phosphate	35–40%	
Mixed uric acid-calcium oxalate	5%	

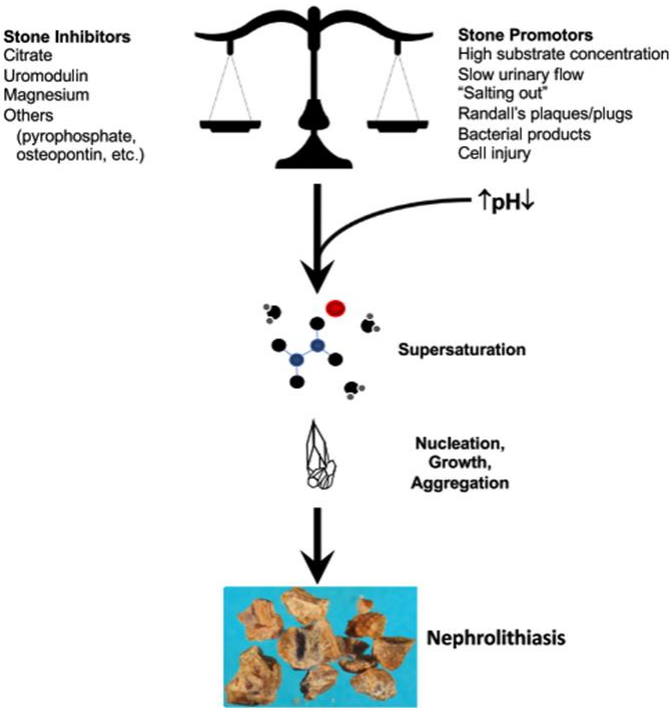
(Orson W Moe, 2016)

6.8 Patofisiologi batu ginjal

Batu ginjal dibentuk dari proses biologi yang kompleks. Kondisi tingkat kejenuhan (supersaturasi) urin mempengaruhi formasi dari batu ginjal yang terbentuk. Supersaturasi dapat diukur sebagai rasio produk konsentrasi zat terlarut dalam urin terhadap produk kelarutannya. Rasio > 1 menunjukkan bahwa urin terlalu jenuh dan zat terlarut akan secara spontan

mengendap ketika urin tergenang. (Ellis, 2020) (Shastri *et al.*, 2023).

Pengaturan supersaturasi adalah keseimbangan kristalisasi inhibitor dan promotor, volume urin, dan pH urin. Inhibitor yang diketahui adalah sitrat, pirofosfat, magnesium, dan protein seperti uromodulin, glikosaminoglikan, osteopontin, dan calgranulin. Urine sitrat menghambat pembentukan batu (kapur) yang mengandung kalsium dengan menyerap kalsium dan dengan demikian membatasi kristalisasi kalsium oksalat atau kalsium fosfat. Output urin yang rendah meningkatkan konsentrasi zat terlarut litrogenik, sehingga meningkatkan kristalisasi (Moore, 2010) (Shastri *et al.*, 2023).



Gambar 6.3 Gambaran umum patofisiologi terbentuknya batu ginjal (Shastri *et al.*, 2023)

Mekanisme pembentukan batu ginjal berdasarkan pada etiologi yang mendasari. Berdasarkan survey epidemiologi, diketahui beberapa mekanisme patofisiologi yang menyebabkan terjadinya batu ginjal, diantaranya :

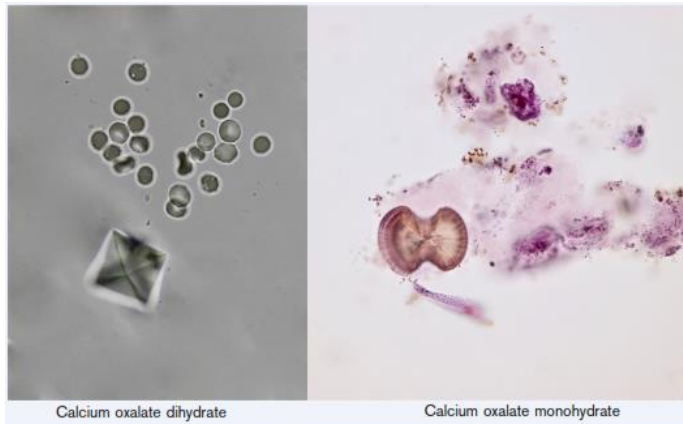
1. Volume urin

Pada kondisi intake minum yang kurang, kebutuhan yang meningkat akibat misalkan saat olah raga atau oleh karena kehilangan cairan yang berlebihan seperti pada kondisi dehidrasi misalkan akibat diare yang menyebabkan produksi urin berkurang. Keadaan tersebut menyebabkan konsentrasi cairan urin meningkat sehingga lebih pekat, akibatnya pergerakan cairan melambat dan partikel-partikel kristal lebih mudah berkumpul menjadi satu kesatuan yang pada akhirnya menjadi formasi batu (Ellis, 2020) (Orson W Moe, 2016).

2. Batu ginjal calsium

Batu calsium oksalat lebih sering ditemukan dibanding calsium fosfat. Faktor patofisiologi terpenting pada nefrolitiasis kalsium adalah hiperkalsiuria. Kalsium meningkatkan aktivitas ionik dan saturasi kristalisasi garam kalsium (oksalat dan fosfat) dan mengikat inhibitor batu seperti sitrat dan glikosaminoglikan. hiperkalsiuria diklasifikasikan sebagai kelainan pada salah satu atau gabungan tiga organ yaitu ginjal (kebocoran), tulang (resorptif), usus (absorptif)). Ketiga kelainan organ ini dapat muncul bersamaan atau tersendiri Kerusakan primer pada satu organ dapat menyebabkan kerusakan sekunder pada organ lainnya. Digambarkan bahwa munculnya batu secara mikroskopis, dimulai dari plak yang berasal dari membran basal lengkung Henle yang tipis, kemudian menyebar melalui interstitium terkadang menutupi tubulus dan vasa recta, pada akhirnya menonjol ke dalam urothelium papilla ginjal. Pada

pasien dengan hiperoksaluria enterik, lesi timbul dari lumen tubular saluran pengumpul. Plak Randall tersusun dari kalsium fosfat dan diperkirakan membentuk platform untuk pembentukan kristal kalsium oksalat melalui nukleasi heterogen dan tumbuh menjadi nefrolit.

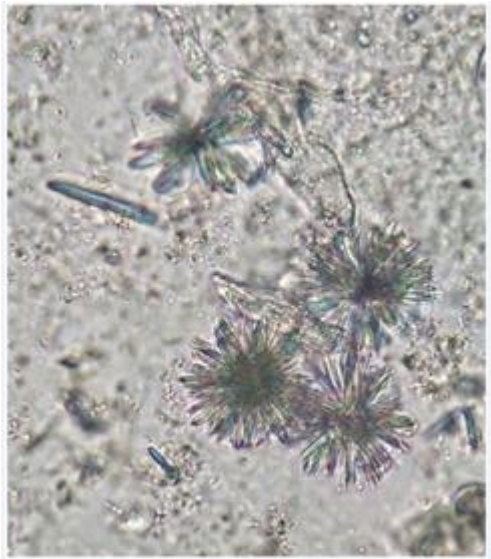


Gambar 6.4 calcium oxalat dihidrat dan monohidrat
(Shastri *et al.*, 2023)

Faktor predisposisi :

- a. Volume urin yang rendah
 - ❖ Intake yang tidak adekuat
 - ❖ Kehilangan cairan extrarenal (dehidrasi, hiperhidrosis)
- b. Hipocitrauria
 - ❖ Asidosis metabolik
 - ❖ Depleksi potassium
 - ❖ Kelebihan protein hewan
- c. Hiperkalsiuria
 - ❖ Idiopatik hiperkalsiuria
 - ❖ Diit tinggi sodium
 - ❖ Hiperparatiroid primer
 - ❖ Diit tinggi vitamin D
 - ❖ Kondisi osteolitik

- ❖ Asidosis metabolime
 - ❖ Diit tinggi glukosa
 - ❖ Diit tinggi protein hewan
 - ❖ Penyakit Dent's
 - ❖ Defek extremitas atas (sindroma Bartter, hipomagnesemia Familial dengan hiperkalsiuria)
 - ❖ Keracunan cadmium
- d. Hiperoksalaturia
- ❖ Malabsorpsi lemak
 - ❖ Diit yang berlebihan
 - ❖ Hiperoksaluria primer
 - ❖ *Reduced colonic Oxaobacter*
 - ❖ Diit tinggi vitamin C
 - ❖ Diit tinggi glisine
- e. Medulary sponge kidney
- f. Penyakit ginjal polikistik



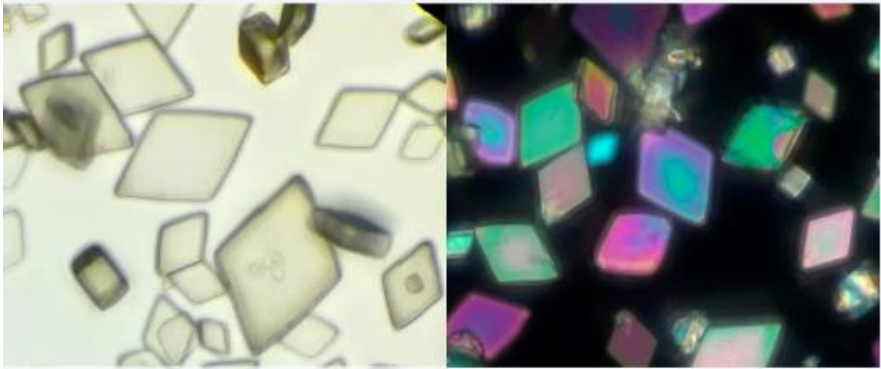
Gambar 6.5 calcium phospat

Faktor predisposisi :

- a. PH urin yang tinggi
 - ❖ Defek sekresi distal RTA (genetik dan didapat : sindroma Sjögren's)
 - ❖ Incomplete RTA
 - ❖ Inhibitor karbonik anhidrase (acetazolamide, tomiramide, zonisamide)
- b. Volume urin yang rendah
- c. Hipocitraturia
- d. Hiperkalciuria
- e. Medullary sponge kidney.

3. Batu asam urat

Keseimbangan asam urat dengan urat dengan nilai pK 5,5. Ketika pH turun di bawah 5,5, konsentrasi asam urat yang tidak terdisosiasi jauh melebihi konsentrasi asam urat. Batu asam urat bisa disebabkan oleh asam urat yang tinggi, pH urin yang asam, atau keduanya. Akhirnya asam urat menumpuk, namun penyebabnya sangat beragam. Asam urat idiopatik, yang ditandai dengan hiperurisemia, monoarthritis berulang, dan hiperurisemia, memiliki kontribusi yang tumpang tindih dari hiperurisemia dan pH urin yang terlalu asam. Tanpa adanya hiperurisemia, pH urin yang rendah saja dapat mengubah asam urat menjadi asam urat yang sukar larut. Sebagian besar penyebab batu asam urat adalah PH urin yang rendah. Penyebab sekunder dari pH rendah dapat mencakup paparan asam dan hilangnya basa, seperti yang terjadi pada diare.



Gambar 6.6. Batu asam urat

Faktor predisposisi :

- a. PH urin yang asam
 - ❖ Sindroma metabolik
 - ❖ Diit tinggi protein hewani
 - ❖ Asidosis metabolik
 - ❖ Kelebihan potassium
- b. Volume urin yang rendah
- c. Penyakit ginjal polikistik
- d. Hiperuricosuria
- e. Lesch-Nyhan disease/partial HGPRT deficiensy
- f. Diit tinggi purine
- g. Gangguan penyimpanan glikogen

4. Batu akibat infeksi

Batu ginjal yang terbentuk oleh karena proliferasi mikroba di intraluminal yang secara signifikan mengubah kimia saluran kemih. Komponen utama pembentuk adalah magnesium amonium fosfat ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dikenal juga sebagai Struvite dan menyerupai topi Kofi klasik . penyebab utama adalah infeksi saluran kemih berulang yang kronis, dapat berhubungan juga dengan kondisi anatomi yang

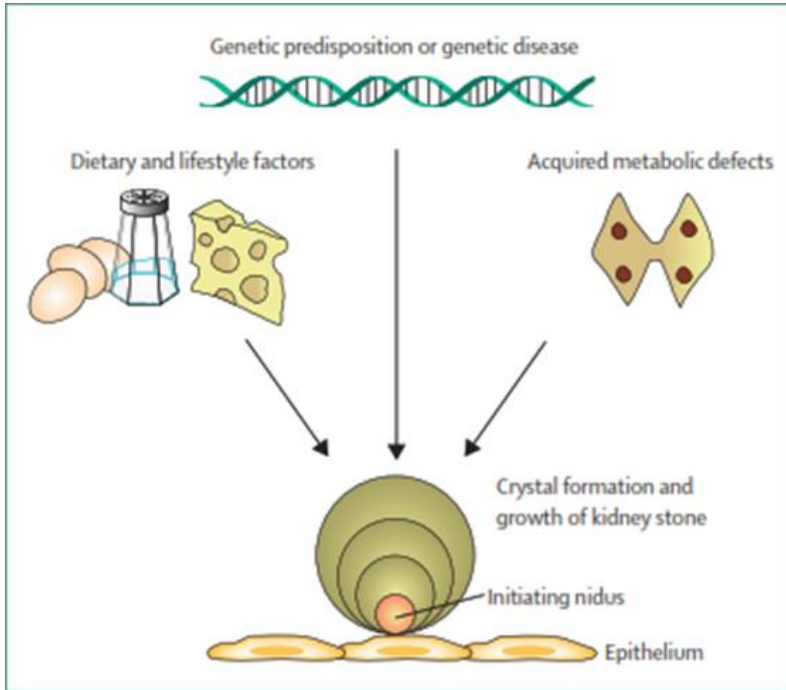
mendasarinya. Beberapa mikroorganisme positif urease seperti :

- ◆ *Proteus* sp.
- ◆ *Klebsiella* sp.
- ◆ *Pseudomonas* sp.
- ◆ *Staphylococcus saprophyticus*,
- ◆ *Ureaplasma urealyticum*

Mikroorganisme ini menghasilkan dua amonium dan satu bikarbonat untuk masing-masing urea mengubah fosfat divalen dalam urin menjadi bentuk trivalen. Konsentrasi bikarbonat yang tinggi dalam urin juga meningkatkan kadar karbonat, yang menyebabkan pembentukan batu karbonat apatit.

5. Batu Cystine

Terjadi batu cystine sebagai akibat kecacatan pada ginjal yang dibawa secara menurun dari keluarga oleh karena gangguan metabolisme enzim



Gambar 6.7. Patofisiologi batu ginjal akibat gangguan genetik
(Osron, 2006)

6. Genetik (Singh *et al.*, 2022)

a. Hipercalciuria

Pada setengah kasus hipercalciuria idiopatik disebabkan oleh factor genetic, dimana terdapat factor keturunan dari salah satu atau kedua orangtua yang menderita hipercalciuria sehingga menjadi batu ginjal

b. Hiperoksaluria

Terjadi mutasi pada alanine-glyoxylate aminotransferase yang dapat menonaktifkan enzim melalui proses percepatan degradasi agregasi dalam peroksisom, atau salah penargetan enzim normal ke mitokondria di mana enzim tersebut dipisahkan dari substrat glioksilatnya

c. Hiperuricosuria

Adanya mutasi yang tidak aktif pada gen yang mengkode URAT1, SLC22A12, menyebabkan hiperurisemia hiperurisurik idiopatik, atau kebocoran asam urat ginjal.

d. Cystein

Terjadinya mutase pada gen SLC3A1 (mempunyai tugas pengkodean pada protein rBAT tipe 1 cystinuria resesif komplit)

Tabel 6.4. Patofisiologi nefrolitiasis oleh karena kondisi abnormal

	Cause	Pathophysiology	Stone composition	Clinical clues
All stones				
Low urine volume (raises production of solutes)	Reduced intake or increased loss of water	Renal water conservation	All stones	Urine volume <1 L per day Osmolarity >600 mOsm/kg
Calcium stones				
Hypercalcaemia (raises saturation of calcium salts)	Absorptive hypercalcaemia	Increased absorption in gut	Calcium oxalate or phosphate	Urine calcium concentrations >6 mmol/L (240 mg) per day
	Hyperparathyroidism	Increased absorption in gut and bone release		High concentrations of parathyroid hormone
	Immobilisation	Bone resorption		High concentrations of vitamin D
	Excess of sodium in diet	Sodium-induced physiological renal calcium leak. Possible component of gut hyperabsorption		Urine sodium concentrations >200 mmol/L per day
	Excess of protein or acid in diet	Protein-induced bone loss and renal leak.		Urine ammonium ion concentrations high Urine sulphate concentrations high Urine pH low Urine citrate concentrations <1.7 mmol/L per day
Range of monogenic disorders		Bone loss, gut hyperabsorption, and renal leak in various combinations		
		Renal defence of acid-base balance		
Hypocitraturia (raises levels of ionised calcium and reduces inhibitor activity against calcium salts)	Renal tubular acidosis (distal type)		Calcium phosphate	Urine citrate concentrations <1.7 mmol/L per day Urine pH high
Hyperoxaluria (raises saturation of calcium oxalate)	High acid load (absence of detectable acidemia)	Physiological hypocitraturia	Calcium oxalate or phosphate	Urine citrate concentrations <1.7 mmol/L per day Urine pH low
	Excess of oxalate in diet	Increased delivery of luminal oxalate	Calcium oxalate	Urine oxalate concentrations >70.7 mmol/L per day
Hyperuricosuria (sodium urate precipitation causes crystallisation of calcium salts)	Bowel pathology	Reduced formation of luminal calcium and calcium-oxalate complex	Calcium oxalate	
	Increased production of endogenous oxalate	Primary hyperoxaluria (type 1 and type 2)		
	High purine intake	Raised production and urinary excretion of sodium and urate		Urine uric acid concentrations >600 mg per day Hyperuricaemia
	Myeloproliferative diseases			
	Enzymatic defects			Urine uric acid concentrations >600 mg per day Hypouricaemia
	Uricosuric drugs			
	Genetic primary renal leak	Increased excretion of uric acid		
Uric acid stones				
Low urine pH or hyperuricosuria	High acid load Metabolic syndrome	Titrate urate to poorly soluble uric acid	Uric acid	Urine pH <5.5
Cystine stones				
Cystinuria	Congenital mutations of dibasic amino acid transporter subunits rBAT and b0 +AT	Renal leak of basic amino acids	Cystine	Urine concentrations of cystine high (>150 µmol/mmol creatinine)
Infection stones				
Urinary tract infection	Urea-splitting organisms	Production of ammonium and bicarbonate from urea	Magnesium ammonium phosphate Carbonate apatite	Urine pH high Pyuria Positive culture for urease and organism

Table 2: Pathophysiology of nephrolithiasis by primary abnormality

(Orson W Moe, 2016).

6.9 Gejala klinis

- Nyeri di daerah pinggang dengan berbagai derajat nyeri dan dapat berpindah tergantung lokasi obstruksi batu (Shastri *et al.*, 2023)
- Nyeri bersifat mendadak, paroksismal, dapat bertambah parah atau berkurang derajatnya
- Disertai hematuria
- Disuria
- Urgency
- Nausea
- Vomitus (Shastri *et al.*, 2023)

6.10 Diagnosis

Keluhan pasien mengenai batu saluran kemih berkisar dari tidak ada keluhan, nyeri punggung ringan hingga berat (kolik), gangguan fungsi saluran kemih, hematuria, retensi urin, dan anuria. Gejala tersebut mungkin disertai komplikasi seperti demam dan tanda gagal ginjal. Oleh karena itu dalam penegakan diagnosis batu ginjal perlu dilakukan tahapan diantaranya:

1. Anamnesis

Menyangkut pertanyaan mengenai keluhan umum dan keluhan yang sedang berjalan saat ini (riwayat penyakit sekarang), riwayat penyakit dahulu terkait dengan penyakit urolitiasis seperti obesitas, hiperparatiroidisme primer, malabsorpsi gastrointestinal, penyakit usus atau penyakit pankreas. Riwayat nutrisi pasien, termasuk asupan kalsium, dehidrasi, kandungan garam yang tinggi, dan defisiensi, Jumlah dan jenis asupan buah dan sayur serta makanan mengandung purin berlebihan, asupan minuman sebanyak jenis, dan asupan protein batu sebanyak . Riwayat penggunaan obat dan

suplemen, seperti probenesid, protease inhibitor, lipase inhibitor, kemoterapi, vitamin C, vitamin D, kalsium, dan inhibitor karbonat anhidrase (Rasyid, et al., 2018).

2. Pemeriksaan fisik

Umum : demam, anemia, syok, riwayat Hipertensi
(Rasyid, et al., 2018)Urologi:

- ◆ Sudut kostovertebra : Nyeri tekan, nyeri ketok, dan pembesaran ginjal
- ◆ Supra simfisis : Nyeri tekan, teraba batu, buli kesan penuh
- ◆ Genitalia eksterna : Teraba batu di uretra
- ◆ Colok dubur : Teraba batu di buli-buli (palpasi bimanual)

3. Pemeriksaan penunjang

a. Laboratorium

- Darah lengkap: Hb, angka eritrosit, angka lekosit, angka trombosit, LED dsb
- Fungsi ginjal: ureum, creatinin
- Fungsi koagulasi: INR, APTT, PT (jika diperlukan tindakan intervensi)
- Serum elektrolit: natrium, kalium, kalsium
- Urinalisis : melalui pemeriksaan urin tampung 24 jam Nilai pH urin bersifat asam Yaitu 5,5 – 6,5. Jika pH relatif basa, dapat terjadi infeksi bakteri pendegradasi urea. Sebaliknya, jika pH terlalu asam, dapat terjadi asidosis atau batu asam urat di tubulus ginjal
- Pemeriksaan lanjutan: hormon PTH, vit D (jika curiga hiperparatiroidism primer).

b. Pencitraan/ radiologi

- Foto polos abdomen

Tujuan pengambilan foto polos abdomen adalah untuk mendeteksi kemungkinan adanya batu radiopak pada saluran kemih. Batu kalsium oksalat dan batu kalsium fosfat bersifat radiopak dan paling umum di antara jenis batu lainnya (Ardita dkk., 2021)

- (kidney-ureter-bladder/KUB radiography).

- USG ginjal

Prinsip pengujian USG adalah mendeteksi gelombang USG yang dipantulkan oleh organ (jaringan) dengan kepadatan berbeda. Tes ini bersifat non-invasif dan tidak menimbulkan efek radiasi apa pun. (sensitivitas 45% dan spesifisitas 94% : batu ureter, sensitivitas 45% dan spesifisitas 88%:batu ginjal), disarankan untuk ibu hamil dan anak-anak (Rasyid, et al., 2018)

CT- Scan non kontras (standar diagnostik pada nyeri pinggang akut (Rasyid, et al., 2018)

urografi intravena (IVP): alternatif jika CT Scan non kontras tidak memungkinkan. Urografi adalah foto yang dapat menunjukkan kondisi sistem saluran kemih menggunakan zat kontras radiopak. Tes pencitraan ini dapat menunjukkan kelainan anatomi atau kelainan pada fungsi ginjal (Armed Forces Health Surveillance Center, 2011)

- MRI 1.5T menjadi pilihan pada kasus kecurigaan batu ginjal pada wanita hamil selain dengan USG ginjal

- CT-Scan kontras diperlukan pada kasus yang membutuhkan intervensi bedah dan penilaian anatomi ginjal

Tabel 6.5. Pemeriksaan urin tampung 24 jam untuk prediksi batu ginjal

Box 5. Interpreting 24-Hour Urine Studies to Address Risk for Recurrent Stones

Creatinine

- Allows an assessment of the completeness of 24-hour collection.
- Expect 15-20 mg/kg/d for females and 20-25 mg/kg/d for males.

Total Volume

- A goal of 2.5 L/d, sometimes more, is typical for reducing recurrence risk.

Calcium

- Though > 4 mg/kg is clearly excessive, a graded increase in stone risk is noted with levels > 150 mg/d.
- Correlate with urine sodium to determine if hypercalciuria is driven by excessive sodium intake.

Sodium

- A goal of <100 mg/d is sought if hypercalciuria is present.

Oxalate

- Values > 40 mg/d are excessive, though lower excretion rates may also increase risk.
- For values > 80 mg/d, consider primary hyperoxaluria.

Citrate

- Values > 400 mg/d may limit risk for calcareous stones, with even higher levels sometimes needed.

pH

- Values < 6.0 may increase the risk of uric acid stones.
- Values > 6.0 with metabolic acidosis suggests renal tubular acidosis and a risk for calcium phosphate stones.
- Values > 7.0 may indicate urine infection by bacteria with urease and a risk for struvite stones.

Uric Acid

- Consider xanthine oxidase inhibitor or reduced purine intake if >750-800 mg/d and other measures for calcium oxalate stones or uric acid stones fail.

Ammonium

- Values of >45 mmol/d suggest excess acid production from diet, chronic diarrhea, or other cause.

Sulfate

- Values of >30 mmol/d suggest excessive dietary animal protein.

Cystine

- Normal individuals typically excrete < 30 mg/d.
- Patients with cystinuria generally excrete > 400 mg/d.
- For cystinuria patients, target a concentration < 250 mg/L to limit stone risk.

Supersaturation

- Though the relationship between stone risk and supersaturation is continuous and imperfect, general supersaturation targets for reducing risk are < 4 for calcium oxalate stones and < 1 for calcium phosphate and uric acid stones.

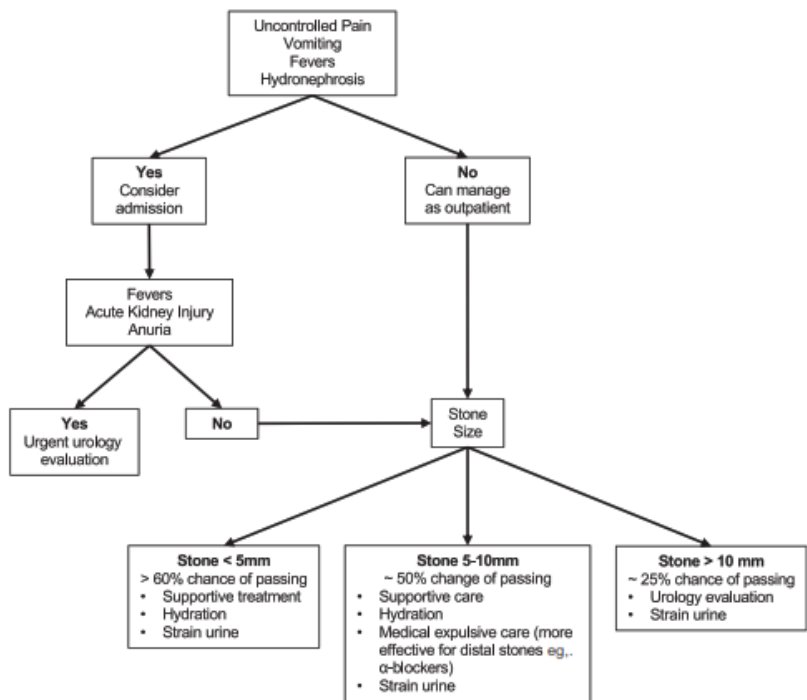
(Shastri *et al.*, 2023).

6.11 Terapi

Tata laksana Batu ginjal meliputi

- Konservatif
- Farmakologis

- Operasi (pengangkatan batu ginjal)
- Terapi diet dan terapi medis (Rasyid, et al., 2018)



Gambar 6.8 Tatalaksana batu nefrolitiasis akut (Saragih, 2022)

Tabel 6.6. Terapi diet dan terapi medis untuk pencegahan rekurensi dan pertumbuhan batu ginjal

Abnormalitas	Terapi Diet (Terapi lini pertama, 3 bulan pertama)	Terapi Medis (bila setelah terapi diet selama 3 bulan tidak membaik)
Tata laksana umum	1. Cairan (<i>urine output</i> >2.5L/hari) 2. Pembatasan asupan sodium (<2.300 mg atau <100 meq per hari atau sebesar 1 sendok teh)	

Abnormalitas	Terapi Diet (Terapi lini pertama, 3 bulan pertama)	Terapi Medis (bila setelah terapi diet selama 3 bulan tidak membaik)
	3. Tingkatkan konsumsi sitrat 4. Hindari minuman seperti <i>black tea, dark soda</i> 5. Diet protein secukupnya (ikan atau daging lainnya. Proporsi sebesar kepalan tangan atau protein 0.8-1 g/kgBB/hari atau 6-8 oz/hari atau <150 gr/hari)	
Hiperkalsiuria	1. Pembatasan asupan sodium 2. Asupan kalsium secukupnya (1.000-1.200 mg/hari) 3. <i>Fish oil</i> (Omega 3, 1.200mg/hari)	Thiazid (Hidroklorotiazid 2x25 mg atau 1x50 mg)
Hipositraturia	1. Meningkatkan asupan sitrat (lemon, lime, melon, jeruk) 2. Diet protein secukupnya 3. Meningkatkan asupan buah dan Sayuran	Potasium sitrat (20 mEq/hari yang dibagi menjadi 2 atau 3 dosis per hari)
Hiperurikosuria	1. Diet protein secukupnya 2. Menjaga IMT tubuh	Allopurinol (200-300 mg per hari)
Hipernatriuria	Batasi asupan sodium	
Hiperoksaluria	1. Pembatasan makanan tinggi oksalat (bayam, kacang, <i>berries</i> , dll)	Piridoksin/Vitamin B6 (mulai dosis dari 50 mg/hari dan bisa

Abnormalitas		Terapi Diet (Terapi lini pertama, 3 bulan pertama)	Terapi Medis (bila setelah terapi diet selama 3 bulan tidak membaik)
		2. Asupan kalsium yang cukup	dititrasi sampai 200 mg/hari)
pH urine rendah		1. Asupan protein yang cukup 2. Menaikkan asupan buah dan sayuran	Potasium sitrat (20 mEq/hari yang dibagi menjadi 2 atau 3 dosis per hari)
Batu asam urat		1. Kontrol diabetes 2. Perbaiki gaya hidup 3. Kontrol IMT 4. Bila terdapat hiperurikosuria maka batasi asupan protein dan purin	1. Potasium sitrat, dengan target pH urine >6.0-7.0 2. Bila hiperurikosuria tidak terkoreksi dengan diet rendah purin atau terdapat kelainan sintesis asam urat (gout), kelainan mieloproliferatif, tumor lisis pasca kemo/ radioterapi, maka dapat diberikan kombinasi potasium sitrat dan allopurinol
Batu sistin		1. Hiperdiuresis (target <i>urine output</i> >3L/hari, edukasi minum >4L/hari, target sistin urin <200 mg sistin/L, edukasi untuk bangun pada malam hari minimal 1 kali untuk BAK	Potasium sitrat, bila tidak respons --> acetazolamid --> <i>thiol binding agents</i>

Abnormalitas	Terapi Diet (Terapi lini pertama, 3 bulan pertama)	Terapi Medis (bila setelah terapi diet selama 3 bulan tidak membaik)
	dan minum air) 2. Pembatasan asupan sodium 3. Asupan protein yang cukup	
Batu struvit	1. Terapi utama adalah operasi 2. Tidak ada peran dari terapi diet	Bila operasi tidak memperbaiki, maka dapat diberikan obat AHA 3x250 mg per hari dan awasi efek samping seperti flebitis dan hiperkoagulabilitas
(Rasyid, et al., 2018) (Saragih, 2022)		

DAFTAR PUSTAKA

- Ardita, A., Permatasari, D., & Sholihin, R. M. (2021). *DIAGNOSTIK UROLITHIASIS*. 10(1), 35–46.
- Arifa, S. I. , A. M. , & H. O. W. K. (2017). Faktor yang berhubungan dengan kejadian penyakit ginjal kronik pada penderita hipertensi di Indonesia. *Jurnal Mkm*, 13(4), 319–328.
- Armed Forces Health Surveillance Center. (2011). *Urinary Stones, Active Component* (Vol. 17). *Medical Surveillance Monthly Report (MSMR)*.
- Bruy`ere, O. , H. G. , V. N. , et al. (2019). An updated algorithm recommendation for the management of knee osteoarthritis from the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO). *Semin. Arthritis Rheum*, 49(3), 337–350.
- Ellis, R. (2020). *UROLOGY FOR MEDICAL STUDENTS AND JUNIOR DOCTORS Written by Specialist Registrar in Urology*.
- Gambaro, G. , C. E. , B. D. , et a. (2017). The risk of chronic kidney disease associated with urolithiasis and its urological treatments: a review. *J. Urol*, 198(2), 268–273.
- Gan, X., Zhou, C., He, P., Ye, Z., Liu, M., Yang, S., & Qin, X. (2023). Inverse association of glucosamine use and risk of new-onset kidney stones in UK adults with less sedentary time. *Preventive Medicine*, 107738.
- Hidayangsih, P. S., Tjandrarini, D. H., Sukoco, N. E. W., Sitorus, N., Dharmayanti, I., & Ahmadi, F. (2023). Chronic kidney disease in Indonesia: evidence from a national health survey. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 14(1), 23.

- Liu, M., Ye, Z., Zhang, Y., Yang, S., Wu, Q., Zhou, C., & Qin, X. (2022). Associations of habitual glucosamine supplementation with incident gout: a large population based cohort study. *Biology of sex Differences*, 13(1), 1-8.
- Moftakhar, L., Jafari, F., Ghoddusi Johari, M., Rezaeianzadeh, R., Hosseini, S. V., & Rezaianzadeh, A. (2022). Prevalence and risk factors of kidney stone disease in population aged 40–70 years old in Kharameh cohort study: a cross-sectional population-based study in southern Iran. *BMC urology*, 22(1), 1-9.
- Moore, K. L. , A. F. D. and A. M. R. A. (2010). *Clinically Oriented Anatomy*. Lippincott Williams & Wilkins.
- National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. (2018). *Kidney stones in adults*. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/urologicdiseases/kidney-stones/definition-facts> .Accessed
- Nyoman, I., & Wardana, G. (2017). *UROLITHIASIS*.
- Orson W Moe. (2006). Kidney stones: pathophysiology and medical management. *Lancet*, 367, 333–345. www.thelancet.com
- Putri, S. I., Dewi, T. K., & Ludiana, L. (2023). Penerapan Slow Deep Breathing Terhadap Kelelahan (Fatigue) Pada Pasien Gagal Ginjal Kronik Di Ruang Hd Rsud Jendral Ahmad Yani Metro Tahun 2022. *Jurnal Cendikia Muda*, 3(2), 291-299.
- Rasyid, N., Wirya, G., Duarsa, K., Atmoko, W., Bambang, P., Noegroho, S., Daryanto, B., Soebhali, B., Dharma, D., Doddy, K., Soebadi, M., Hamiseno, D. W., Myh, E., Paksi, I., Ponco, S., Richard, B., Sawkar, A. M., Pramod, V., Mirsa, S., & Tarmono, W. (2018). *PANDUAN PENATALAKSANAN KLINIS BATU SALURAN KEMIH Editor*.

- Saragih, Y. S. A. (2022). *Studi Kasus Penatalaksanaan Diet Batu Ginjal Terhadap Asupan Protein Dan Natrium Pada Pasien Batu Ginjal Di Rumah Sakit Permata Cirebon (Doctoral dissertation)*.
- Saragih, Y. S. A. (2022). *Studi Kasus Penatalaksanaan Diet Batu Ginjal Terhadap Asupan Protein Dan Natrium Pada Pasien Batu Ginjal Di Rumah Sakit Permata Cirebon (Doctoral dissertation, POLITEKNIK KESEHATAN TASIKMALAYA)*.
- Scales, C. D., Curtis, L. H., Norris, R. D., Springhart, W. P., Sur, R. L., Schulman, K. A., & Preminger, G. M. (2007). Changing Gender Prevalence of Stone Disease. *Journal of Urology*, 177(3), 979–982.
<https://doi.org/10.1016/j.juro.2006.10.069>
- Shastri, S., Patel, J., Sambandam, K. K., & Lederer, E. D. (2023). Kidney Stone Pathophysiology, Evaluation and Management: Core Curriculum 2023. In *American Journal of Kidney Diseases*. W.B. Saunders.
<https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2023.03.017>
- Singh, P., Harris, P.C., Sas, D.J., et al., 2022. The genetics of kidney stone disease and nephrocalcinosis. *Nat. Rev. Nephrol.* 18 (4), 224–240. Apr.
- Spiardi, R., Goldfarb, D. S., & Tasian, G. E. (2023). Role of Climate Change in Urologic Health: Kidney Stone Disease. *European Urology Focus*.
- Wigner, P., Grębowski, R., Bijak, M., et al., 2021. The molecular aspect of nephrolithiasis development. *Cells*. 10 (8), 1926.

BAB 7

GAGAL JANTUNG

Oleh Grace P I Lumentut

7.1 Pendahuluan Gagal Jantung

Gangguan fungsi jantung dapat disebabkan oleh beragam kondisi, seperti adanya penyakit pembuluh darah jantung, penyakit bawaan sejak lahir, penyakit gangguan irama, penyakit kelainan katup jantung, dan gagal jantung. Pada kondisi gagal jantung, jantung tidak dapat menjalankan fungsi pompanya dengan optimal, darah yang dipompakan ke seluruh tubuh akan berkurang kecepatannya. Sebagai akibatnya, pendistribusian oksigen dan nutrisi ke jaringan akan mengalami keterlambatan sehingga tidak akan memenuhi kebutuhan tubuh seseorang. Kondisi yang mempengaruhi fungsi pompa jantung yang telah terbukti dapat menyebabkan kegagalan jantung antara lain kebiasaan hidup yang tidak sehat, stres, merokok, minum alkohol, darah tinggi, kencing manis dan kadar kolesterol yang tinggi (McDonagh et al, 2021).

Istilah gagal jantung seperti menunjukkan bahwa kondisi jantung tidak lagi berfungsi sama sekali, namun yang dimaksudkan adalah keadaan dimana jantung tidak memompa darah sebagaimana mestinya. Gagal jantung kongestif adalah bentuk gagal jantung yang memerlukan penanganan medis yang komprehensif dan tepat waktu. Gagal jantung dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari gejala dan tanda klinis yang diakibatkan oleh gangguan struktur dan fungsi jantung, baik fase pengisian maupun pompa darah ke seluruh tubuh (Yancy et al, 2013). Orang

dengan gangguan fungsi jantung dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa tingkatan, yakni:

1. Tahap A → Kelompok dengan risiko gagal jantung.
2. Tahap B → Kelompok pre-gagal jantung.
3. Tahap C → Kelompok gagal jantung dengan gejala klinis

Pada fase A atau kelompok dengan risiko gagal jantung, orang belum memiliki tanda dan gejala spesifik akibat gangguan fungsi jantung, maupun pada pemeriksaan penanda / *biomarker* belum terlihat nilai yang abnormal. Namun, orang dalam kelompok ini memiliki penyakit seperti tekanan darah tinggi / hipertensi, penyakit pembuluh darah otak, kencing manis / diabetes melitus dan obesitas. Selain itu, orang yang sering terpapar agen kardiotoxik maupun memiliki faktor keturunan terhadap penyakit jantung kardiomiopati, juga termasuk dalam kelompok pada tahap A (Caraballo et al, 2019).

Tatalaksana pada masing-masing tahap gagal jantung memiliki tujuan yang berbeda (Yancy et al, 2013). Pada tahap A, intervensi terapeutik bertujuan memodifikasi faktor risiko yang dimiliki oleh orang dengan risiko gagal jantung. Pada tahap B, intervensi dilakukan untuk menangani risiko dan gangguan struktur jantung untuk mencegah terjadinya gagal jantung. Sedangkan untuk tahap C, penanganan diberikan untuk mengurangi gejala, morbiditas dan mortalitas pasien.

Keseluruhan sistem dalam tubuh manusia sangat bergantung pada pompa jantung, yang berfungsi mengantarkan darah dengan kandungan oksigen yang cukup dan asupan nutrisi yang baik ke semua sel tubuh. Dengan adanya gangguan fungsi jantung, jantung tidak dapat mengalirkan darah ke sel dan jaringan yang ada. Kondisi seperti ini yang berlangsung dalam kurun waktu tertentu akan menyebabkan orang bergejala, seperti kelelahan dan sesak napas. Aktivitas sehari-hari seperti berjalan

kaki, menaiki tangga, membawa barang bisa menjadi sangat sulit. Untuk menilai ringan hingga beratnya gejala yang didapat akibat gangguan fungsi jantung, dapat menggunakan klasifikasi *New York Heart Association* (NYHA).

Klasifikasi kelas NYHA dapat digunakan untuk mengkarakterisasi gejala dan kemampuan fungsional orang yang mengalami gagal jantung, penilaian ini dilakukan oleh dokter secara subjektif dan dapat berubah kelas seiring waktu (Tabel 7.1). Walaupun validitas klasifikasi NYHA ini masih terbatas, namun merupakan prediktor independen terhadap mortalitas dan dapat digunakan dalam praktek klinis dalam penentuan strategi manajemen penyakit gagal jantung (Selvaraj et al, 2019).

Tabel 7.1 Klasifikasi *New York Heart Association* (NYHA)

NYHA	Keterangan
I	Tidak bergejala saat melakukan aktivitas normal. Status fungsional: normal.
II	Bergejala ringan saat melakukan aktivitas normal, merasa nyaman saat istirahat. Status fungsional: pembatasan ringan.
III	Bergejalan sedang saat melakukan aktivitas ringan, merasa nyaman hanya bila saat beristirahat. Status fungsional: pembatasan sedang.
IV	Bergejala berat baik saat aktivitas maupun istirahat. Status fungsional: pembatasan berat.

Sumber: Selvaraj et al, 2019.

7.2 Epidemiologi dan Prevalensi Gagal Jantung

Di negara maju, kejadian gagal jantung pada usia dewasa muda cenderung menurun seiring dengan pengelolaan penyakit kardiovaskular yang baik. Namun, pertambahan usia yang terjadi dalam suatu populasi akan meningkatkan risiko gagal jantung secara keseluruhan (Van Riet EE et al, 2014). Insiden kasus gagal jantung di Eropa adalah sekitar 3/1000 orang pertahun untuk semua kategori umur, atau sekitar 5/1000 orang per tahun untuk usia dewasa. Prevalensi kejadian gagal jantung terjadi pada 1.2% populasi orang dewasa (Van Riet EE et al, 2016). Pertumbuhan populasi, penuaan dan meningkatnya prevalensi penyakit penyerta sebagai predisposisi terjadinya gagal jantung, diperkirakan akan menyebabkan peningkatan sebanyak 50% dalam 25 tahun ke depan pada jumlah absolut pasien gagal jantung yang di rawat di rumah sakit (Koh AS et al, 2017).

Gagal jantung bukan merupakan suatu keadaan patologis tunggal, namun suatu kumpulan gejala yang meliputi gejala primer seperti sulit bernapas, bengkak pada tungkai, kelelahan, dan dapat ditemukan bersamaan dengan tanda medis yang spesifik seperti tekanan vena jugular meningkat, terdengar ronkhi di paru-paru, dan edema perifer. Hal ini diakibatkan oleh gangguan struktur dan/atau fungsi jantung yang mempengaruhi tekanan di dalam jantung dan menurunkan tekanan darah. Identifikasi penyebab dasar terjadinya disfungsi jantung merupakan keharusan dalam mendiagnosis gagal jantung. Patologi spesifiknya akan membantu klinisi dalam menyusun strategi pengobatan selanjutnya. Paling umum gagal jantung terjadi akibat disfungsi dari miokard, yang meliputi fase sistolik, fase diastolik, maupun keduanya. Namun, kondisi lainnya seperti gangguan pada klep jantung, lapisan perikardium maupun endokardium, gangguan irama dan sistem konduksi jantung juga

dapat mempengaruhi penurunan fungsi jantung secara keseluruhan (European Society of Cardiology, 2021).

Gagal jantung merupakan kondisi gangguan fungsi jantung yang bukan hanya dapat terjadi pada orang usia lanjut, namun dapat juga ditemukan pada anak-anak. Gagal jantung pada anak paling sering disebabkan oleh kelainan jantung kongenital, yaitu defek yang dialami sejak lahir. Terkadang kelainan medis tertentu dapat menyebabkan anak mengalami kelainan jantung, atau dapat merusak jantung anak sehingga menyebabkan gagal jantung. Beberapa kelainan jantung bawaan yang dapat menyebabkan gagal jantung antara lain lubang antara ruang kanan atau kiri atas atau bawah, ruang jantung yang tidak terbentuk dengan benar, arteri utama yang rusak, katup jantung bocor atau menyempit (Savarese G et al, 2017).

Beberapa kondisi medis dapat menyebabkan jantung anak tidak berkembang dengan baik atau rusak. Hal ini menyebabkan jantung memompa secara tidak efektif, yang disebut kegagalan pompa (American Heart Association, 2023). Kegagalan pompa dapat disebabkan antara lain oleh infeksi virus atau bakteri yang merusak otot jantung normal, obat-obatan tertentu untuk mengobati kondisi medis lain seperti kanker, detak jantung tidak teratur, yang terjadi ketika sistem kelistrikan jantung tidak normal sejak lahir atau rusak karena infeksi, sehingga menyebabkan jantung berdetak terlalu lambat atau terlalu cepat. Cacat katup jantung di mana katup tidak membuka atau menutup dengan benar, menyebabkan tekanan berlebih di dalam bilik jantung. Anak-anak dengan kondisi kesehatan seperti distrofi otot, penyakit Kawasaki, atau kelainan genetik tertentu pada akhirnya juga dapat mengalami masalah pada otot jantung.

Tabel 7.2 Gejala dan tanda gagal jantung

Gejala		Tanda	
Tipikal		Lebih Spesifik	
Sesak napas, sesak malam hari, sesak bila aktivitas, penurunan toleransi aktivitas fisik, kelelahan, penambahan waktu istirahat sesudah latihan fisik, tungkai bengkak		Peningkatan tekanan vena jugular, refluks hepatojugular, suara jantung 3 / irama galop, impuls apeks yang bergeser ke arah lateral	
Kurang Tipikal		Kurang Spesifik	
Batuk malam hari, <i>wheezing</i> , rasa penuh, nafsu makan menurun, depresi, kebingungan, palpitasi, pusing, pingsan, sesak apabila posisi membungkuk		Penambahan berat badan (>2kg/minggu), penurunan berat badan apabila gagal jantung sudah kronis, kaheksia, bising jantung, edema perifer, efusi pleura, hepatomegali, asites, akral dingin, oliguria, takikardia, pernapasan Cheyne-Stokes	

Sumber: European Society of Cardiology, 2021.

Pada bayi, tanda dan gejala gagal jantung antara lain masalah pernapasan, pemberian makan yang buruk, pertumbuhan yang buruk, keringat berlebihan, pembengkakan pada kaki, pergelangan kaki, tungkai bawah, perut, wajah atau leher. Bayi dengan gagal jantung akan butuh waktu lebih lama untuk menyusu atau menjadi tidak tertarik untuk menyusu dalam waktu singkat. Hal yang lain juga dapat berupa detak jantung cepat yang dapat dirasakan melalui dinding dada saat bayi sedang tidur atau istirahat, pernapasan yang cepat atau

sesak napas (American Heart Association, 2023). Pada anak dan remaja dengan gagal jantung dapat dikeluhkan gejala seperti cepat lelah, apalagi jika infeksi virus yang dialami telah menyebabkan kerusakan otot jantung. Buang air kecil lebih sering pada malam hari, kehilangan nafsu makan, batuk, detak jantung yang tidak teratur, pembengkakan di kaki, pergelangan kaki dan perut, berat badan bertambah akibat volume cairan berlebih, maupun sesak napas (Savarese G et al, 2017).

7.3 Diagnosis dan Penanganan Gagal Jantung

Diagnosis gagal jantung kongestif membutuhkan gejala dan/atau tanda-tanda penyakit gagal jantung yang disertai pemeriksaan fisik sebagai bukti objektif adanya gangguan jantung (Gambar 10.1). Gejala khasnya meliputi sesak napas, kelelahan, dan pembengkakan pergelangan kaki (Tabel 10.2). Diagnosis lebih mungkin ditegakkan pada pasien yang memiliki penyakit dahulu berupa infark miokard, penyakit jantung koroner, hipertensi, diabetes melitus, konsumsi alkohol berlebihan, gangguan ginjal kronis, kemoterapi kardiotosik, serta pasien dengan faktor risiko keluarga yang pernah mengalami gangguan irama jantung bahkan kematian mendadak (Kapoor et al, 2016). Pemeriksaan penunjang berikut dapat direkomendasikan saat akan melakukan penilaian pada pasien yang diduga gagal jantung:

7.3.1 Elektrokardiogram (EKG)

Berdasarkan algoritma diagnosis gagal jantung, pemeriksaan EKG yang normal membuat diagnosis gagal jantung tidak mungkin ditegakkan. Hasil ekspertise EKG dapat menunjukkan kelainan seperti Atrial Fibrilasi, gelombang Q patologis, hipertrofi ventrikel kiri / *left ventricular hypertension*

(LVH), dan kompleks QRS yang melebar yang meningkatkan kemungkinan diagnosis gagal jantung dan sebagai panduan untuk terapi pasien.

7.3.2 Pemeriksaan NT-proBNP atau BNP

Pengukuran NT-proBNP maupun BNP direkomendasikan apabila tersedia. Apabila konsentrasi plasma peptida natriuretik tipe B (BNP) <35 pg/mL, atau Peptida natriuretik tipe pro-B terminal-N (NT-proBNP) <125 pg/mL, atau peptida natriuretik pro-atrial menengah (MR-proANP) <40 pmol/L, akan mengesampingkan diagnosis gagal jantung pada seseorang.

Tabel 7.3 Penyebab peningkatan konsentrasi natriuretik peptides

Penyebab	Penyakit / Keadaan tertentu
Jantung	• Gagal jantung • Sindrom koroner akut • Emboli paru • Miokarditis • Hipertrofi ventrikel kiri • Penyakit katup jantung • Penyakit kongenital jantung • Gangguan irama atrial dan ventrikel • Kardioversi • Hipertensi pulmonal • Pembedahan jantung
Non-jantung	• Usia lanjut • Stroke iskemia • Perdarahan sub-arachnoid • Gangguan ginjal • Gangguan hati

Penyebab	Penyakit / Keadaan tertentu
	• Penyakit paru obstruksi kronis • Anemia • Luka bakar berat • Gangguan metabolik dan hormonal •

Sumber: European Society of Cardiology, 2021.

7.3.3 Pemeriksaan laboratorium

Pemeriksaan penunjang dasar seperti ureum dan elektrolit serum, kreatinin, hitung darah lengkap, tes fungsi hati dan tiroid juga direkomendasikan pada pasien dengan kecurigaan gagal jantung. Hal ini untuk menyingkirkan diagnosis banding atau untuk membedakan gagal jantung dari kondisi lain. Disamping itu, berguna juga untuk memberikan nilai prognosis dan memandu terapi yang akan diberikan.

7.3.4 Ekokardiografi

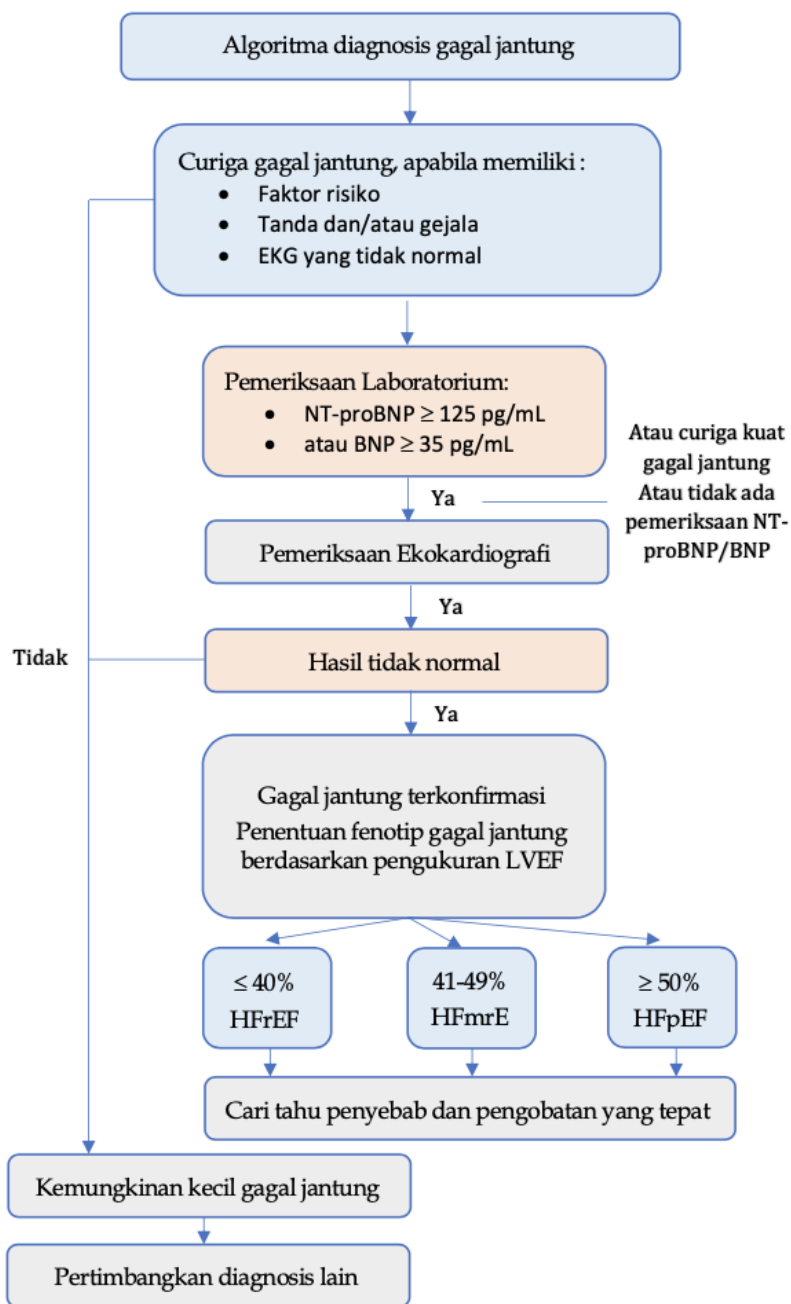
Pemeriksaan ekokardiografi direkomendasikan sebagai pemeriksaan kunci untuk penilaian fungsi jantung. Pada pemeriksaan ini juga dapat menentukan nilai fraksi ejeksi dari ventrikel kiri atau left ventricular ejection fraction (LVEF), yang dapat dibedakan menjadi 3 kategori. LVEF yang menurun apabila $\leq 40\%$, menurun ringan apabila $41-49\%$, dan normal namun terlalu kaku untuk terisi dengan baik apabila $\geq 50\%$. Pada pemeriksaan ekokardiografi juga akan memberikan informasi tentang parameter lain seperti ukuran dimensi ruang jantung, LVH eksentrik atau konsentrik, kelainan gerakan dinding regional jantung, penanda disfungsi diastolik ventrikel kiri, fungsi

ventrikel kanan, ada tidaknya kemungkinan hipertensi pulmonal, dan fungsi katup atau klep jantung.

7.3.5 Rontgen dada

Pemeriksaan foto thoraks dianjurkan untuk mengetahui penyebab potensial lainnya. Etiologi dari sesak napas diluar jantung perlu dievaluasi, misalnya penyakit paru. Namun, rontgen dada ini juga dapat memberikan dukungan atau sebagai bukti positif terhadap gagal jantung apabila ditemukan adanya kongesti paru atau kesan kardiomegali (European Society of Cardiology, 2021).

Pengobatan gagal jantung pada seseorang dilakukan berdasarkan penyebab yang mendasarinya. Perawatan dilakukan dengan perubahan gaya hidup yang bersamaan dengan pemberian medikamentosa. Pada kondisi kesehatan lain yang menyebabkan gagal jantung, pengobatan terhadap penyakit tersebut akan mengembalikan fungsi pompa jantungnya. Dengan pengobatan yang komprehensif, gejala gagal jantung dapat dikontrol dengan baik.



Gambar 7.1 Algoritma Diagnosis Gagal Jantung

(Sumber : European Society of Cardiology, 2021)

Namun pada kondisi lanjut, pasien gagal jantung memerlukan tindakan seperti pembedahan jantung, pemasangan ring maupun penggunaan alat pacu untuk membantu kerja jantung.

Kombinasi obat-obatan dapat digunakan untuk mengobati gagal jantung. Obat-obatan spesifik yang digunakan bergantung pada penyebab gagal jantung dan gejalanya. Obat-obatan untuk mengatasi gagal jantung antara lain (Yanci CW et al, 2013):

- Penghambat enzim pengubah angiotensin / *Angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitors*. Obat ini mengendurkan pembuluh darah untuk menurunkan tekanan darah, meningkatkan aliran darah dan mengurangi ketegangan pada jantung. Contohnya termasuk Captopril, Lisinopril, dan Ramipril.
- Penghambat reseptor angiotensin II / *Angiotensin II receptor blockers (ARB)*. Obat-obatan ini memiliki banyak manfaat yang sama dengan *ACE inhibitor*. Obat ini mungkin merupakan pilihan bagi orang yang tidak dapat mentoleransi *ACE inhibitor*. Contoh obat ini antara lain Telmisartan, Valsartan, Irbesartan dan Candesartan.
- Reseptor angiotensin dan penghambat neprilysin / *Angiotensin receptor plus neprilysin inhibitors (ARNI)*. Obat ini menggunakan dua obat tekanan darah untuk mengobati gagal jantung. Obat kombinasinya adalah sacubitril-valsartan. Ini digunakan untuk mengobati kelompok gagal jantung dengan penurunan fraksi ejeksi, dan dapat membantu mencegah atau menurunkan perlunya rawat inap di rumah sakit.
- Pemblokir beta / *beta blockers*. Obat-obatan ini memperlambat detak jantung dan menurunkan tekanan darah, juga bertujuan untuk mengurangi gejala gagal jantung dan membantu jantung bekerja lebih baik.

Contohnya termasuk Carvedilol, Metoprolol, Nebivolol dan Bisoprolol.

- Diuretik. Obat ini akan membuat pasien lebih sering buang air kecil. Bertujuan untuk mencegah penumpukan cairan di tubuh Anda. Diuretik, seperti furosemide akan menurunkan cairan di paru-paru, sehingga lebih mudah bernapas. Beberapa obat diuretik membuat tubuh kehilangan potasium dan magnesium. Sehingga tes darah rutin untuk memeriksa kadar kalium dan magnesium direkomendasikan selama penggunaan obat ini.
- Diuretik hemat kalium, juga disebut antagonis aldosteron. Contohnya Spironolactone dan Eplerenone, obat ini memberikan manfaat dan dapat membantu penderita gagal jantung parah dengan fraksi ejeksi yang <40%. Tidak seperti diuretik lainnya, obat-obatan ini dapat menahan kadar kalium dalam darah sehingga memungkinkan terjadinya penumpukan kadar kalium apabila dikonsumsi oleh penderita gangguan fungsi ginjal.
- Inhibitor natrium-glukosa cotransporter-2 / *Sodium-glucose cotransporter-2* (SGLT2). Obat-obatan ini membantu menurunkan gula darah, tetapi ini juga merupakan salah satu pengobatan utama untuk gagal jantung. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa obat ini menurunkan risiko rawat inap dan kematian pada pasien dengan jenis gagal jantung tertentu, walaupun tidak menderita penyakit kencing manis. Obat-obatan ini antara lain Canagliflozin, Dapagliflozin dan Empagliflozin.

Pada fase akut atau saat gejala memberat, pasien akan dirawat di rumah sakit untuk menerima kombinasi obat-obatan yang bertujuan meringankan gejala dan pemberian oksigen tambahan sesuai kebutuhan. Pada tahap lanjutan, intervensi

khusus seperti operasi *bypass* jantung, operasi perbaikan atau penggantian katup jantung, penggunaan *implantable cardioverter-defibrillator* (ICD), *cardiac resynchronization therapy* (CRT) maupun transplantasi jantung direkomendasikan untuk meningkatkan angka harapan hidup pasien (Savarese et al, 2017). Pada akhirnya, semua hal ini membutuhkan kolaborasi antara pasien dan keluarga, klinisi, penyedia fasilitas kesehatan dan jaminan kesehatan dalam manajemen pasien dengan gagal jantung.

DAFTAR PUSTAKA

- American Heart Association. Heart Failure in Children and Adolescents. *Heart Attack and Stroke Symptoms*. Jun 12, 2023. Retrieved from <https://www.heart.org/en/health-topics/heart-failure/what-is-heart-failure/heart-failure-in-children-and-adolescents>
- Caraballo C, Desai NR, Mulder H, et al. Clinical implications of the New York Heart Association classification. *J Am Heart Assoc*. 2019;8:e014240.
- European Society of Cardiology. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *European Heart Journal* (2021) 42, 3599-3726 doi:10.1093/eurheartj/ehab368
- Kapoor JR, Kapoor R, Ju C, Heidenreich PA, Eapen ZJ, Hernandez AF, Butler J, Yancy CW, Fonarow GC. Precipitating clinical factors, heart failure characterization, and outcomes in patients hospitalized with heart failure with reduced, borderline, and preserved ejection fraction. *JACC Heart Fail* 2016;4:464-472.
- Koh AS, Tay WT, Teng THK, Vedin O, Benson L, Dahlstrom U, Savarese G, Lam CSP, Lund LH. A comprehensive population-based characterization of heart failure with mid-range ejection fraction. *Eur J Heart Fail* 2017;19:1624-1634.
- McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Böhm M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 2021;42:3599–726. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>

- Savarese G, Lund LH. Global public health burden of heart failure. *Card Fail Rev* 2017;3:711.
- Selvaraj S, Claggett B, Pozzi A, et al. Prognostic implications of congestion on physical examination among contemporary patients with heart failure and reduced ejection fraction: PARADIGM-HF. *Circulation*. 2019;140:1369–1379.
- Van Riet EE, Hoes AW, Limburg A, Landman MA, van der Hoeven H, Rutten FH. Prevalence of unrecognized heart failure in older persons with shortness of breath on exertion. *Eur J Heart Fail* 2014;16:772777.
- Van Riet EE, Hoes AW, Wagenaar KP, Limburg A, Landman MA, Rutten FH. Epidemiology of heart failure: the prevalence of heart failure and ventricular dysfunction in older adults over time. A systematic review. *Eur J Heart Fail* 2016;18:242252
- Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, et al. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*. 2013;128:e240–e327.

BAB 8

ELEKTROLIT

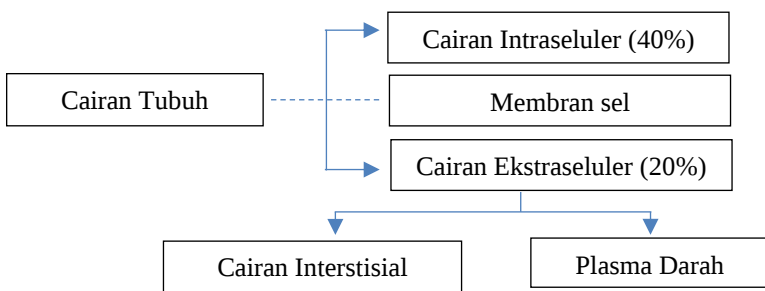
Oleh Arshy Prodyanatasari

8.1 Pendahuluan

Pada tubuh makhluk hidup memiliki kandungan larutan garam yang mampu terionisasi dan berfungsi sebagai elektrolit dengan membawa ion-ion bermuatan listrik (Towe, 2009). Elektrolit merupakan senyawa terdapat di dalam larutan dan mengalami disosiasi menjadi partikel yang bermuatan (ion), baik ion positif maupun ion negatif. Ion positif disebut sebagai kation dan ion negatif disebut sebagai anion. Kation yang bisa terkandung di dalam cairan tubuh, diantaranya: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} sedangkan anion yang terdapat dalam cairan tubuh antara lain: Cl^- , HCO_3^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , dan laktat (Mubarak, 2022). Elektrolit yang utama terkandung dalam tubuh adalah Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , dan HPO_4^{2-} (Hardjoeno, 2003). Pada keadaan normal, kadar kation dan anion sama besar. Keseimbangan kation dan anion disebut dengan elektronetralitas (Sacher, 2002). Elektronetralitas akan menyebabkan potensial listrik serum akan bersifat netral. Keseimbangan jumlah elektrolit di dalam tubuh berperan penting bagi proses metabolisme dan fungsi tubuh yang normal. Ada empat ion utama yang memegang peranan vital bagi tubuh, yaitu Na^+ , Cl^- , K^+ , dan HCO_3^- . Keempat ion tersebut memegang peranan dalam memelihara dan mempertahankan tekanan osmotik dan distribusi pada beberapa kompartemen cairan di tubuh manusia (Scott, 2006).

8.2 Komposisi dan Regulasi Cairan dan Elektrolit Tubuh

Di dalam tubuh terdapat cairan tubuh yang terdiri dari air, elektrolit, dan non elektrolit. Ketiganya berfungsi sebagai pelarut. Cairan membentuk hampir 60% dari total masa tubuh pada rata-rata orang dewasa. Akan tetapi hal ini dapat bervariasi bergantung pada usia, jenis kelamin, dan komposisi tubuh (Sirait, 2019). Cairan tubuh memiliki komposisi sebagai berikut: (1) cairan intraseluler, (2) cairan ekstraseluler, dan (3) plasma darah (Anthara, 2011).

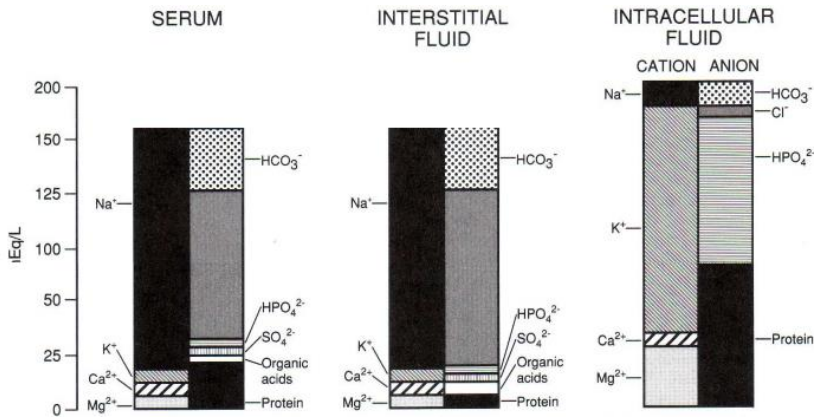


Gambar 8.1. Komposisi Cairan Tubuh (sumber: Anthara, 2011)

Secara umum, komposisi ionik pada plasma darah dan cairan instertisial hampir sama. Keduanya hanya dipisahkan oleh membran kapiler yang sangat permeabel. Pada plasma darah dan cairan interestial memiliki perbedaan utama yaitu pada konsentrasi protein yang lebih tinggi di dalam plasma darah. Hal ini dikarenakan kapiler memiliki permeabilitas yang lebih rendah terhadap protein (Asli, 2019). Proses distribusi antar kompartemen satu dengan yang lain ditentukan oleh permeabilitas membran dan osmolal gradien (Kushartono, 2006). Keseimbangan cairan di dalam tubuh dapat diketahui dengan penerapan Hukum Iso-Osmolaritas, Neutralitas Elektron, dan Keseimbangan Asam dan Basa (Kushartono, 2006).

Osmolaritas antar kompartemen akan tetap dipertahankan keseimbangannya, meskipun terdapat perubahan kadar at terlarut didalamnya. Jumlah cairan intraseluler dipengaruhi oleh kadar larutan ekstraseluler. Cairan intraseluler ini dipertahankan pada kondisi konstan oleh tekanan osmosis di luar sel yang dibatasi oleh membran yang permeabel terhadap air. Apabila terdapat peningkatan osmolalitas cairan ekstraseluler, maka akan mengakibatkan pengurangan air di intrasel dan sebaliknya. Phospat anorganik dan protein merupakan 90% anion intraseluler yang tidak bebas melewati membran sel. Hal ini mengakibatkan kedua at tersebut berfungsi untuk mempertahankan osmolalitas intraseluler. Kation utama intraseluler adalah kalium dan magnesium, dimana keduanya dapat dengan bebas keluar masuk sel. Sesuai dengan Hukum Netralitas Elektron, maka apabila terjadi kehilangan kation intraseluler, maka akan digantikan oleh kation ekstraseluler.

Pada cairan intraseluler dan ekstraseluler mengandung oksigen yang berasal dari paru-paru, nutrien terlarut dari saluran pencernaan, produk sisa metabolisme (seperti karbondioksida), dan partikel ion (Tamsuri, 2009). Komposisi ionik antara plasma dan cairan interstisial hampir sama banyak. Keduanya hanya dipisahkan oleh membran kapiler yang bersifat sangat permeabel. Perbedaan utama pada kedua komponen ini yaitu konsentrasu protein di dalam plasma yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena kapiler memiliki permeabilitas yang lebih rendah terhadap protein. Komposisi elektrolit di dalam berbagai kompartemen tidak sama. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.2.



Gambar 8.2. Distribusi elektrolit pada masing-masing kompartemen (sumber: Kushartono, 2006)

Komposisi atau kandungan elektrolit, dan nonelektrolit di dalam tubuh dapat digambarkan sesuai pada tabel 8.1:

Tabel 8.1. Komposisi Cairan dan Elektrolit Tubuh

No.	at	Plasma (mOsm/l)	Interstisial (mOsm/l)	Intraseluler (mOsm/l)
1	Na ⁺	142	139	14
2	K ⁺	4,2	4,0	140
3	Ca ²⁺	1,3	1,2	0
4	Mg ²⁺	0,8	0,7	20
5	Cl ⁻	108	108	4
6	HCO ³⁻	24	28,3	1,0
7	HPO ⁴⁻ , H ₂ PO ₄	2	2	11
8	SO ₄ ²⁻	0,5	0,5	1
9	Fosfokreatinin	-	-	45

No.	at	Plasma (mOsm/l)	Interstisial (mOsm/l)	Intraseluler (mOsm/l)
10	Kamosin	-	-	14
11	Asam amino	2	2	8
12	Kreatin	0,2	0,2	9
13	Laktat	1,2	1,2	1,5
14	Adenosin trifosfat	-	-	5
15	Heksosa monofosfat	-	-	3,7
16	Glukosa	5,6	5,6	-
17	Protein	1,2	1,2	4
18	Ureum	4	4	4
19	Lain-lain	4,8	3,9	10
	Total mOsm/l	301,8	300,8	301,2
	Aktivitas osmolar terkoreksi	282	281	281
	Tekanan osmosis total	5443	5423	5423

(Sumber: Tamsuri, 2009)

Di dalam plasma darah, terdapat zat-zat non elektrolit, dimana komposisi zat non elektrolit di dalam plasma darah dapat dilihat pada Tabel 8.2.

Tabel 8.2. Komposisi at non elektrolit di dalam plasma darah

Zat	Volume (mg/dl)
Fosfolipid	280
Kolesterol	150
Lemak netral	125
Glukosa	100
Urea	15
Asam laktat	10
Asam urat	3
Kreatinin	1,5
Bilirubim	0,5

Sumber: Tamsuri, 2009

8.3 Prinsip Perpindahan Cairan dan Elektrolit Tubuh

Cairan dan elektrolit di dalam tubuh mengalami regulasi (perpindahan). Regulasi cairan dan elektrolit di dalam tubuh, meliputi:

1. **Difusi** merupakan gerakan pasif elektrolit atau molekul dan partikel lain melintasi membran semipermeabel berdasarkan gradien konsentrasi (dari kompartemen tinggi menuju kompartemen rendah) yang berlangsung melalui pori-pori tipis membran kapiler (Potter, 2019). Difusi dipengaruhi oleh ukuran molekul, konsentrasi larutan, dan suhu larutan (Pariury, 2013).

2. **Filtrasi** merupakan perpindahan cairan dan substansi yang terlarut (solut) yang melintasi membran secara bersama-sama dari kompartemen bertekanan tinggi ke rendah, seperti: pergerakan nutrisi dan cairan dari kapiler menuju cairan interstitial yang ada di sekitar sel (Pariury, 2013).
3. **Osmosis** adalah pergerakan solven murni (pelarut air) melalui membran sel dalam larutan berkonsentrasi rendah menuju ke konsentrasi tinggi (Pariury, 2013)
4. **Transpor Aktif** bertujuan untuk mempertahankan keseimbangan Natrium dan Kalsium diantara intraseluler dan ekstraseluler, dimana konsentrasi Natrium lebih tinggi daripada cairan intraseluler. Pada proses terjadinya transpor aktif memerlukan energi metabolisme (Pariury, 2013).

Dalam proses regulasi cairan dan elektrolit di dalam tubuh, terdapat hambatan yang diterima oleh cairan dan elektrolit tersebut. Hal ini akan menyebabkan volume dan komposisi pada masing-masing kompartemen fluida di dalamnya. Beberapa faktor yang dapat menjadi penghalang yang memisahkan dari kompartemen satu dengan yang lain, yaitu: (1) Membran sel, (2) Protein Pembawa, (3) Saluran terlarut, (4) Endositosis dan eksositosis, (5) Endotelium vaskular, (6) Struktur kapiler, dan (8) Fungsi kapiler (Sirait, 2019). Dalam regulasi cairan dan elektrolit di dalam tubuh, volume Total Body Water (TBW) dikendalikan oleh sensor, kontrol pusat, dan efektor. Efektor yang berfungsi mengendalikan TWB, yaitu (Sirait, 2019):

1. **Osmoreseptor hipotalamus**, dimana berfungsi untuk merespon adanya perubahan tonisitas ECF
2. **Baroreseptor tekanan rendah** yang berada di dalam vena besar dan atrium kanan. Baroreseptor tekanan rendah ini dapat merasakan tekanan vena sentral (CVP)

3. **Baroreseptor tekanan tinggi** yang berada di dalam sinus karotis dan lengkung aorta. Baroreseptor ini mampu merasakan mean arterial pressure.

8.4 Kebutuhan Cairan dan Elektrolit Tubuh

Kebutuhan elektrolit setiap hari didasarkan pada kebutuhan metabolisme tubuh atau kebutuhan cairan per hari. Berdasarkan dari banyaknya ion-ion tubuh, hanya ion yang tergolong *mayor physiological ion* dan *trace ions esensial* yang sudah diketahui fungsi dan manfaatnya bagi metabolisme tubuh meskipun belum diketahui secara keseluruhan dan sempurna, akan tetapi peneliti melakukan generalisasi dalam penerapan di semua ion esensial (Ions, 2003). Pada proses metabolisme tubuh, ion-ion esensial mempunyai fungsi metabolik satu atau lebih. Adapun ion-ion esensial yang diperlukan oleh tubuh dalam proses metabolisme tubuh, besar kebutuhan tubuh, sumber ion, fungsi, dan manifestasi klinis jika kekurangan atau kelebihan ion di dalam tubuh terdapat pada Tabel 8.3.

Tabel 8.3. Ion-ion yang dibutuhkan, jumlah kebutuhan, sumber ion, dan kebutuhan yang dianjurkan bagi tubuh (Ions, 2003)

No	Ion dan Kebutuhan Tubuh	Jumlah total dalam tubuh	Sumber	Kebutuhan per hari yang dianjurkan
1	Natrium (Na ⁺)	1,8 gr/kg	Garam dapur, makanan bergaram, daging, susu, baking powder, beberapa jenis sayuran	3-5 gr
2	Kalium (K ⁺)	2,6 gr/kg	Sayuran, buah-buahan, susu, daging, padi-padian, kacang-	1,5-4,5 gr

No	Ion dan Kebutuhan Tubuh	Jumlah total dalam tubuh	Sumber	Kebutuhan per hari yang dianjurkan
			kacangan (jenis kacang polong)	
3	Kalsium (Ca^{2+})	22 gr/kg	Susu, produk susu, tulang ikan	0,8 gr
4	Fosfor (PO_4^{3+})	22 gr/kg	Susu, produk susu, kuning telur, daging, padi-padian, kacang-kacangan	0,8 gr
5	Magnesium (Mg^{2+})	0,05 gr/kg	Khlorofil, kacang-kacangan, padi-padian, kacang tanah	350 gr
6	Ferrum (Fe^{2+})	75 mgr/kg	Hati, daging, kuning telur, sayuran berdaun hijau, padi-padian, roti, tepung, makanan bayi dengan tambahan at besi	10-16 mg
7	Iodium (I^-)	-	Garam beryodium, sea food	100-140 mikrogram
8	Zinkum (Zn^{2+})	28 mgr/kg	Hati, pankreas, sisik ikan, jaringan hewan dan tumbuhan	10-15 mgr
9	Cuprum (Cu^{2+})	2 mgr/kg	Hati, ginjal, kuning telur, padi-padian	2-3 mgr
10	Cobalt (Co^{2+})	-	Hati, pancreas, jamur	1-2 mgr
11	Mangan (Mn^{2+})	20 mgr	Hati, ginjal, benih gandum, kenari, kacang polong	trace
12	Molybdenum (Mo^{2+})	-	Hati, ginjal. Padi-padian, kacang polong	trace

No	Ion dan Kebutuhan Tubuh	Jumlah total dalam tubuh	Sumber	Kebutuhan per hari yang dianjurkan
13	Salenium (Se)	-	Hati, ginjal, jantung	Trace
14	Khlor (Cl ⁻)	50 mEq/kg	Garam dapur, daging hewan	5-10 gr
15	Fluor (F ⁻)	-	Seafood, beberapa jenis minuman	1 mg atau 1 ppm dalam air minum
16	Sulfur (SO ₄ ²⁻)	-	Protein hewan dan tumbuh-tumbuhan sebagai cysteine dan methionine	2-3 gr

8.5 Peran Cairan dan Elektrolit bagi Tubuh serta Manifestasi Klinis Bagi Tubuh

Cairan dan elektrolit di dalam tubuh memiliki peran penting dalam proses metabolisme tubuh. Tiap ion memiliki fungsi metabolik yang berbeda. Akan tetapi kelebihan atau kekurangan ion dapat mengakibatkan manifestasi klinis bagi tubuh. Berikut fungsi metabolik dan manifestasi klinis elektrolit tubuh terdapat pada Tabel 8.4:

Tabel 8.4. Fungsi Metabolik dan Manifestasi Klinis Elektrolit

No	Ion dan Kebutuhan Tubuh	Fungsi Metabolik	Manifestasi Klinis Akibat Efisiensi
1	Natrium (Na ⁺)	Konstituen buffer, kesetimbangan air, tekanan osmotik, transportasi CO ₂ , permeabilitas dinding sel, daya rangsangan otot	Dehidrasi asidosis, atropi jaringan, kelebihan oedema, hipertensi

No	Ion dan Kebutuhan Tubuh	Fungsi Metabolik	Manifestasi Klinis Akibat Efisiensi
2	Kalium (K^+)	Konstituen buffer kesetimbangan asam-asam, kesetimbangan air, transportasi CO_2 , transportasi melalui selaput, daya rangsang otot/syaraf	Asidosis, kerusakan ginjal
3	Kalsium (Ca^{2+})	Pembentukan tulang dan gigi, pembekuan darah, permeabilitas dinding sel, daya rangsang otot/syaraf	Penyakit rickets pada anak, pertumbuhan yang kurang optimal, osteoporosis pada dewasa, hipereksitabilitas
4	Fosfor (PO_4^{3+})	Konstituen tulang dan gigi, konstituen ATP/NAD/FAD, konstituen hasil metabolisme, nucleoprotein, fosfolipida, fosfoprotein	Osteomalasia (jarang), renal rickets, aritmia jantung
5	Magnesium (Mg^{2+})	Kofaktor untuk PO_4 transfer enzim, konstituen tulang dan gigi, mengurangi daya rangsang otot/syaraf	Tremor otot gerak korea, kebingungan, vasodilatasi, hiperirritabilitas
6	Ferrum (Fe^{2+})	Konstituen hemoglobin, myoglobin, katalase, sitokrom, electron kofaktor enzim	Anemia hipokronik pada ibu hamil, hemokromatosis (kelebihan zat besi atau Fe)
7	Iodium (I^-)	Konstituen thyroksin, triiodothyronine, regulator dari oksidasi sel	Endemic goiter (hypothyroidism), kreatinisme
8	Zinkum (Zn^{2+})	Konstituen dari insulin, karbonik anhidrase, karboksipeptidase,	Anemia, pertumbuhan kerdil, hypogonadism pada laki-laki

No	Ion dan Kebutuhan Tubuh	Fungsi Metabolik	Manifestasi Klinis Akibat Efisiensi
		dehydrogenase, alkohol, alkali, fosfatase	
9	Cuprum (Cu^{2+})	Pembentukan hemoglobin, konstituen enzim-enzim oksidase (tyrosinase, oksidasi cytochrome, oksidasi asam askorbat)	Anemia hipokromik banyak terdapat di hati pada penyakit wilson
10	Cobalt (Co^{2+})	Konstituen dari vitamin B12	Defisiensi vitamin B12, anemia perniosa, polisitemia (kelebihan Co^{2+})
11	Mangan (Mn^{2+})	Kofaktor dari enzim arginase karboksilat, kinase, dll	Pada manusia belum diketahui, pada hewan mengurangi toleransi glukosa, ataksia
12	Molybdenum (Mo^{2+})	Konstituen dari oksidase, aldehid oksidase	Belum diketahui
13	Selenium (Se)	Konstituen faktor 3, bekerjasama dengan vitamin E mencegah nekrosis hati dan distrofi otot pada hewan, menghalangi peroksida lemak	Belum diketahui
14	Klor (Cl^-)	Elektrolit, keseimbangan osmotik, HCl lambung, keseimbangan asam basa	Hypochloremic alkalosis
15	Fluor (F^-)	Konstituen enamel gigi	Karies gigi, osteoporosis, mottled teeth (kelebihan Fluor)

No	Ion dan Kebutuhan Tubuh	Fungsi Metabolik	Manifestasi Klinis Akibat Efisiensi
16	Sulfur (SO ₄ ²⁻)	Konstituen dari protein, mukopolisakarida, heparin, thiamine, biotin, asam lipoat, detoksikasi	Cystinuria, cystine renal calculi

8.6 Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kebutuhan Cairan dan Elektrolit

Kebutuhan cairan dan elektrolit setiap individu berbeda-beda. Kebutuhan cairan dan elektrolit tubuh dapat berkurang, apabila seseorang berada pada kondisi-kondisi tertentu, diantaranya:

Humidifikasi	x 75
Dilumpuhkan	x 0,7
ADH Tinggi (missal: IPPV, koma)	x 0,7
Hipotermia	-12% per ^o C, dengan suhu rektal 37 ^o C
Kelembaban lingkungan tinggi	x 0,7
Gagal ginjal	x 0,3 (+produksi urin)

Peningkatan kebutuhan cairan dan elektrolit tubuh terjadi apabila seseorang berada pada kondisi-kondisi tertentu, diantaranya:

Aktivitas penuh dan diet oral	x 1,5 / minuman bebas
Demam	+ 12% per °C suhu rektal >37°C
Suhu ruang >31°C	+ 30% per °C
Hiperventilasi	x 1,2
Neonatus preterm (<1,5 kg)	x 1,2
Radiant heater	x 1,5
Phototherapy	x 1,5
Luka bakar hari ke-1	+ 4% per 1% luas luka bakar
Luka bakar hari ≥ 2 hari	+ 2% per 1% luka bakar

Selain itu, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan cairan dan elektrolit tubuh, yaitu.

1. Usia

Kebutuhan cairan setiap individu berbeda bergantung pada banyak faktor, salah satunya adalah usia. Hal ini dikarenakan usia mempengaruhi proporsi tubuh, luas permukaan tubuh, kebutuhan metabolisme tubuh, dan berat badan. Pada bayi dan anak-anak yang berada di masa pertumbuhan memerlukan cairan dan elektrolit yang lebih besar dibandingkan orang dewasa, dikarenakan laju metabolik yang lebih tinggi (Tamsuri, 2009). Banyaknya cairan yang dibutuhkan tubuh akan sebanding dengan cairan yang hilang

Tabel 8.5. Komposisi cairan berdasarkan usia

Jenis		Bayi baru lahir	Usia 3 bulan	Dewasa	Lansia
Cairan intra-seluler		40%	40%	40%	27%
Cairan ekstra-seluler	Plasma	5%	5%	5%	5%
	Cairan instertisial	35%	25%	15%	18%
Total cairan		80%	70%	60%	52%

Sumber: Tamsuri, 2009

Tabel 8.6. Perkiraan kebutuhan cairan tubuh berdasarkan usia

Usia	Berat Badan (kg)	Kebutuhan Cairan (ml)/24 jam
3 hari	3,0	250-300
1 tahun	9,5	1150-1300
2 tahun	11,8	1350-1500
6 tahun	20,0	1800-2000
10 tahun	18,7	2000-2500
14 tahun	45,0	2200-2700
18 tahun (dewasa)	54,0	2200-2700

Sumber: Tamsuri, 2009

2. **Aktivitas Fisik**

Aktivitas fisik yang dilakukan oleh setiap individu akan berpengaruh terhadap jumlah asupan cairan dan elektrolit yang diperlukan oleh tubuh untuk menghidrasi. Semakin tinggi aktivitas tubuh, akan meningkatkan kebutuhan cairan dan elektrolit yang dibutuhkan. Pada kondisi normal kebutuhan dan pengeluaran cairan dan elektrolit tubuh dapat diketahui sebagai berikut:

Tabel 8.7. Total Kebutuhan dan Pengeluaran Cairan dan Elektrolit pada keadaan normal dan beraktivitas

I & O	Normal	Aktivitas
Asupan (I)		
Cairan dari makanan	2100	?
Cairan dari metabolisme	200	200
Total	2300	?
Luaran (O)		
Insensible water loss kulit	350	350
Insensible water loss paru	350	650
Keringat	100	5000
Feses	100	100
Urine	1400	500
Total	2300	6600

Sumber: Tamsuri, 2009

3. Iklim dan cuaca

Iklim yang dimiliki suatu wilayah berpengaruh terhadap kebutuhan cairan dan elektrolit tubuh. Pada orang yang tinggal di wilayah yang beriklim panas atau tingkat kelembaban rendah cenderung lebih besar mengalami kehilangan cairan dan elektrolit tubuh. Kondisi ini akan meningkatkan asupan cairan dan elektrolit agar tubuh tetap terhidrasi. Kebutuhan dan pengeluaran cairan dan elektrolit tubuh dalam kondisi normal yang dipengaruhi oleh iklim adalah sebagai berikut:

Tabel 8.8. Besar Insensible water loss (IWL) Berdasarkan Usia

Usia	Besar IWL (mg/kg BB/hari)
Bati Baru Lahir (BBL)	20
Bayi	50 – 60
Anak-anak	40
Remaja	30
Dewasa	20

Sumber: Tamsuri, 2009

4. Diet

Seseorang yang sedang menjalani diet, memiliki kemungkinan besar mengalami ketidakseimbangan cairan dan elektrolit di dalam tubuh disebabkan asupan makanan yang tidak seimbang. Hal ini dikarenakan selama diet, tubuh berusaha memecah cadangan makanan berupa glikogen dan lemak yang ada di dalam tubuh, kemudian baru memecah cadangan protein. Kondisi ini akan menurunkan kadar albumin yang berfungsi mempertahankan tekanan onkotik plasma. Dampak apabila tekanan onkotik rendah menyebabkan perpindahan cairan dari intravaskuler ke interstisial, sehingga menimbulkan adanya edema di interstisial.

5. **Stres**

Seseorang yang mengalami kondisi tidak stabil, seperti stress, akan mengakibatkan peningkatan metabolisme seluler, konsentrasi glukosa darah, dan glikolisis otot. Kondisi tersebut akan mengakibatkan tubuh mengalami retensi cairan dan Natrium, serta peningkatan produksi hormon antidiuretik yang berdampak pengurangan produksi urin.

6. **Penyakit**

Kehilangan cairan dan elektrolit tubuh dapat disebabkan adanya trauma jaringan (seperti luka robek, luka bakar, dll), diare, adanya gangguan jantung dan ginjal, dan sebagainya. Pada kondisi normal, untuk menyeimbangkan cairan dan elektrolit serta kadar asam dan basa, tubuh akan menghasilkan urine pada kondisi normal sebagai berikut:

Tabel 8.9. Standar Volume Urin Normal

Usia	Volume Urin (ml.kg BB/hari)
Bayi Baru Lahir (BBL)	10-90
Bayi	80-90
Anak-Anak	50
Remaja	40
Dewasa	30

(Sumber: Tamsuri, 2009)

Pada saat tubuh mengalami demam, tubuh akan cenderung mengeluarkan kelebihan cairan melalui keringan. Hal ini bertujuan untuk membantu menurunkan suhu permukaan kulit akibat demam. Tubuh juga akan mengalami

kehilangan cairan dan elektrolit melalui paru-paru, seperti pada proses respirasi, flu, dan sebagainya. Besarnya nilai normal kehilangan cairan dan elektrolit melalui kulit dan paru sebagai berikut:

Tabel 8.10. Kehilangan Cairan dan Elektrolit melalui Kulit dan Paru-Paru

Cairan dan Elektrolit	Normal	Demam (38°C)	Keringat Berlebih
Air (ml)	600-1000	1000-1500	1500-2000
Natrium (mEq/L)	Sedikit	25-50	25-50
Klorida (mEq/L)	Sedikit	15-35	15-35

(Sumber: Tamsuri, 2009)

Pengobatan. Penggunaan beberapa jenis obat, seperti diuretik dan laksatif dalam jangka panjang atau dosis berlebihan dapat mempercepat dan meningkatkan kehilangan cairan tubuh, sehingga tubuh menjadi defisit cairan. Selain itu penggunaan obat jenis diuretik mengakibatkan kehilangan ion Natrium dan meningkatkan kadar Kalium di dalam tubuh. Penggunaan obat golongan kortikosteroid dapat mengakibatkan terjadinya retensi natrium dan cairan tubuh (Tamsuri, 2009).

Adanya tindakan medis, seperti pembedahan. Pasien yang menjalani operasi pembedahan memiliki resiko yang lebih tinggi terhadap ketidakseimbangan cairan dan elektrolit di dalam tubuh. Tetapi kondisi ini tidak menutup kemungkinan pasien selama proses operasi pembedahan ada yang mengalami kelebihan asupan cairan melalui intravena atau sekresi hormon ADH akibat stress terhadap obat-obatan anestesi.

8.7 Gangguan dan Dampak dari Kekurangan Cairan dan Elektrolit

Setiap individu membutuhkan asupan cairan dan elektrolit. Apabila kebutuhan cairan dan elektrolit tubuh tidak terpenuhi dengan baik dalam jangka panjang dapat berdampak bagi kesehatan. Selain itu pemenuhan cairan dan elektrolit tubuh yang berlebihan juga tidak baik. Beberapa gangguan yang dapat timbul akibat cairan dan elektrolit, yaitu:

1. Hipovolumi atau dehidrasi, yaitu kondisi dimana tubuh mengalami kekurangan cairan eksternal akibat terjadinya penurunan asupan cairan dan kelebihan pengeluaran cairan. Hipovolumi dibedakan menjadi tiga, yaitu (Leksana, 2015):
2. Dehidrasi isotonik, yaitu kondisi dimana tubuh kehilangan sejumlah cairan dan elektrolitnya dengan jumlah yang seimbang (sama besar).
3. Dehidrasi hipertonik, yaitu kondisi dimana tubuh kehilangan sejumlah air yang lebih banyak daripada elektrolitnya.
4. Dehidrasi hipotonik, yaitu kondisi dimana tubuh lebih banyak kehilangan elektrolit daripada air.
5. Hipervolumi atau overdehidrasi, yaitu kondisi dimana tubuh kehilangan cairan eksternal secara berlebihan. Kondisi hipervolumi dibedakan menjadi dua, yaitu (Leksana, 2015):
6. Hypervolume, yaitu kondisi dimana terdapat peningkatan volume darah yang dapat menyebabkan pitting edema (edema yang berada di daerah perifer).
7. Edema, yaitu kondisi dimana cairan yang terdapat di interstisial pada non pitting edema, sehingga mengakibatkan pembekuan cairan di permukaan jaringan dan menimbulkan edema anasarca.

Dampak Ketidakseimbangan Cairan dan Elektrolit Tubuh
(Cairan, 2006)

1. Hyponatremia, yaitu kondisi dimana natrium serum <135 mEq/L, denyut nadi meningkat dengan cepat tetapi lemah, hipotensi, pusing, mual, muntah, diare, kulit lembab dan dingin, bahkan koma (Laksono, 2014).
2. Hipernatremia, yaitu kondisi dimana natrium serum >145 mEq/L, tubuh akan mengalami demam tingkat rendah, lidah dan membran mukosa kering, terjadi konvulsi, merasa gelisah, mengalami oliguria, merasa haus, kulit kering dan kemerahan (Laksono, 2014).
3. Hipokalemia, yaitu kondisi dimana kadar kalium serum $<3,5$ mEq/L, denyut nadi lemah dan tidak beraturan, hipotensi, dan kelemahan (Nathania, 2019).
4. Hiperkalemia, yaitu kondisi dimana kadar kalium serum $>5,3$ mEq/L, nadi tidak teratur dan lambat, hipotensi, dan mengalami gangguan kecemasan (anxiety) (Teo, 2021).
5. Hipokalsemia, yaitu kondisi dimana kadar kalium serum $<4,2$ mEq/L, bagian tubuh di area jari-jari terasa baal dan kesemutan, tetani, dan mengalami kram otot (Darwis, 2016).
6. Hipermagnesimia, yaitu kondisi dimana magnesium serum $>2,5$ mEq/L, RR dan denyut jantung dangkal dan lambat, tekanan darah rendah (hipotensi), dan kulit kemerahan (Prianggoro, 2022).
7. Hypomagnesemia, yaitu kondisi dimana magnesium serum $<1,5$ mEq/L, badan mengalami tremor otot, mengalami kebingungan, disorientasi, dan takikardi (Prianggoro, 2022).

Untuk tetap menjaga keseimbangan cairan dan elektrolit tubuh diperlukan penggantian. Penggantian cairan tubuh dan elektrolit akibat pengeluaran yang berlebihan sehingga menyebabkan ketidakseimbangan cairan dan elektrolit tubuh dapat dilakukan dengan cara: (1) secara Enteral : oral dan

melalui selang/infus dan (2) secara parental: nutrisi parental total (NTP), terapi cairan & elektrolit intravena, penggantian darah.

Pada kegiatan perawatan dan menjaga keseimbangan elektrolit tubuh, perlu dilakukan pemantauan kadar elektrolit secara cermat dan teratur, serta penggantian cairan elektrolit melalui vena. Tes elektrolit dapat dilakukan pada pasien yang mengalami gangguan elektrolit, seperti mengalami dehidrasi yang disebabkan karena muntah, diare, pemberian cairan parental, pemberian diet ketat yang menyebabkan asupan terbatas (Hardjoeno, 2003). Untuk mengetahui dan menentukan kadar elektrolit di dalam darah dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, diantaranya: (1) potensiometer dengan ion-selective electrodes (ISE), Flame Emission Spectrophotometry, dan (3) Spektrofotometer Kinetik (Mubarak, 2022). Pengujian kadar elektrolit di dalam tubuh diantaranya bertujuan untuk: (1) melakukan diagnosis penyebab gangguan elektrolit, (2) diagnosis pemberian terapi yang tepat, (3) monitoring hasil terapi, dan (4) mencegah terjadinya komplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthara, I.M.S. and Suartha, I.N., 2011. Homeostasis Cairan Tubuh pada Anjing dan Kucing. Buletin Veteriner Udayana Vol, 3(1), pp.23-37.
- Asli, K., McCalley, E.H. and Wotton, K., 2019. Cairan, Elektrolit, dan Keseimbangan Asam Basa. Fundamentals of Nursing Vol 2-9th Indonesian edition, 848.
- Cairan, S.P.G.K., 2006. Elektrolit. Dalam: Buku Ajar Ilmu Penyakit Dalam. Edisi, 4, pp.529-37.
- Darwis, D., 2016. Kegawatan demam berdarah dengue pada anak. Sari Pediatri, 4(4), pp.156-62.
- Hardjoeno. 2003. Implementasi Hasil Tes Laboratorium Diagnostik. Makasar: Lephass.
- IONS, M.P.D.T., 2003. Ion-Ion Anorganik Yang Berhubungan Dengan Metabolisme Tubuh.
- Kushartono, H., 2006. Terapi Cairan dan Elektrolit Pada Anak.
- Laksono, B.H., Oetoro, B.J., Rahardjo, S. and Saleh, S.C., 2014. Gangguan natrium pada pasien bedah saraf. JNl, 3(1), pp.48-57.
- Leksana, E., 2015. Strategi terapi cairan pada dehidrasi. Cermin dunia kedokteran, 42(1), pp.70-73.
- Marino, P.L. 1998. Magnesium in The Intensive Care. 2nd ed. William, Walkins, editors. USA.
- Mubarak, M., Sauria, N., Kartini, K., Rosanty, A., Romantika, I.W., Nasruddin, N.I., Patawari, A., Jasmin, M., Asriati, A., Firman, F. and Rahim, E., 2022. Anatomi Fisiologi Tubuh Manusia.
- Nathania, M., 2019. Hipokalemia–Diagnosis dan Tatalaksana. Cermin Dunia Kedokteran, 46(2), pp.103-108.

- Pariury, I., 2013. Gambaran Kadar Elektrolit (Na⁺, K⁺) Pada Penderita Gagal Ginjal Kronik (GGK) (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Potter, P.A., Perry, A.G.G., Stockert, P.A. and Hall, A., 2019. Fundamentals of Nursing Vol 2-9th Indonesian edition. Elsevier Health Sciences.
- Prianggoro, H.R., 2022. Tingkat pengetahuan fungsi magnesium bagi tubuh. Jurnal Edukasimu, 2(2).
- Sacher, R.A. and Mcpherson, R.A., 2002. Pengaturan Asam-Basa dan Elektrolit'pada: Tinjauan Klinis Hasil Pemeriksaan Laboratorium, edisi kedua. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta, pp.320-340.
- Scott, M.G., LeGrys, V.A. and Klutts, J., 2006. Electrochemistry and Chemical Sensors and Electrolytes and Blood Gases. Tiet Text Book of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics,, 1, pp.93-1014.
- Sirait, R.H., 2019. Bahan Kuliah Fisiologi Cairan Tubuh dan Elektrolit.
- Tamsuri, A., 2009. Klien gangguan keseimbangan cairan dan elektrolit. Egc.
- Teo, G., 2021. Diagnosis dan Tatalaksana Kegawatdaruratan Hiperkalemia. Cermin Dunia Kedokteran, 48(8), pp.305-310.
- Towe, B.C., 2009. Bioelectricity and its measurement. Biomedical Engineering and Design Handbook, 2nd ed; Kut, M., Ed, pp.481-527.

BAB 9

ANALISA GAS DARAH

Oleh Marsino O. R. O. Rondo

9.1 Pendahuluan

Ketidakseimbangan asam-basa merupakan masalah yang sering ditemukan pada kegawat daruratan anak. Adanya gangguan pada keseimbangan asam basa dapat mengganggu fungsi dari organ vital. (Abramowitz, 2014). Mortalitas pasien akan meningkat bila terjadi gangguan asam basa yang berat. Nilai normal keasaman (pH) darah berada pada pH 7,35 hingga 7,45. Keseimbangan asam dan basa perlu dipertahankan sehingga proses metabolisme tubuh dan fungsi organ dapat berjalan dengan baik. Paru dan ginjal merupakan organ yang mengatur keseimbangan asam basa. (Preston, 2000)

Analisis gas darah arteri (AGD) merupakan cara untuk menilai status oksigenasi dan keseimbangan asam-basa pasien. Interpretasinya bergantung dari hasil pemeriksaan yang didapatkan. (Pramod, 2010)

9.2 Keseimbangan Asam Basa

Gangguan asam basa adalah gangguan pada konsentrasi ion hydrogen dimana terjadi ketidakseimbangan antara yang terbentuk dan yang dikeluarkan oleh sel. Tubuh manusia menghasilkan asam dari hasil metabolisme sel dalam bentuk asam volatile (asam karbonat) dan non-volatil (metabolic acids,

laktat, keton, sulfat, fosfat, dan lain-lain). Untuk menjaga keseimbangan asam-basa, paru akan mengeluarkan asam karbonat yang berlebih berupa karbondioksida, dan kelebihan asam non-volatil akan dinetralkan oleh sistem buffer. (Abramowitz, 2014).

Tingkat keasaman (pH) darah manusia berkisar 7,35 hingga 7,45 atau kadar ion hidrogen (H^+) berkisar 40 nmol/L. Tubuh manusia mengatur keseimbangan asam basa melalui paru-paru dan ginjal sehingga keseimbangan asam-basa dan proses metabolisme berjalan dengan optimal. Paru-paru berperan dalam ekskresi karbondioksida (CO_2), dimana pengaturannya dilakukan sangat cepat lewat dengan mengatur kadar $PaCO_2$. Ginjal berperan dalam pelepasan asam, dimana pengaturannya lebih lambat. Kelebihan asam-basa pada ginjal diatur lewat sekresi atau reabsorpsi klor dalam bentuk ammonium klorida, melalui bantuan ion NH_4^+ . Mekanisme homeostasis yang tidak berjalan baik dapat menyebabkan gangguan keseimbangan asam-basa. (Seifter, 2014)

9.3 Analisa Gas Darah

Analisa gas darah digunakan untuk menentukan talaksana dari status oksigenasi dan keseimbangan asam basa. Berikut yang perlu dinilai dari hasil analisa gas darah (Fischbach, 2004) :

- pH Darah

Kadar pH normal berkisar 7,35-7,45. Dengan memakai rumus Henderson-Hasselbach, kadar HCO_3^- dan pCO_2 berperan dalam perhitungan pH

- pH < 7,35 disebut asidosis
- pH > 7,45 disebut alkalosis

- Tekanan Parsial Karbon Dioksida (PCO₂)

Nilai normal pCO₂ adalah 35 – 45 mmHg, dan merupakan komponen respiratorik.

 - pCO₂ < 35 mmHg disebut alkalosis respiratorik
 - pCO₂ > 45 mmHg disebut asidosis respiratorik.
- Bikarbonat (HCO₃)

Nilai normal HCO₃⁻ adalah 22 – 28 mmol/l. Bila terjadi gangguan, menginterpretasikan adanya gangguan proses metabolik.

 - Kadar HCO₃⁻ < 22 mmol/l disebut asidosis metabolik
 - Kadar HCO₃⁻ > 28 mmol/l disebut alkalosis metabolik.
- Base Excess (BE)

Penilaian BE bertujuan agar pH kembali ke kadar normal. Nilai BE dapat positif atau negatif. Nilai normal berkisar -2 sampai +2.

 - Kadar BE < -2 disebut asidosis metabolik
 - Kadar BE > +2 disebut alkalosis metabolik.
- Tekanan Oksigen (PO₂)

Kadar normal pO₂ adalah 80-100 mmHg. Bila kadarnya rendah menunjukkan adanya hipoksemia sehingga pernapasan tidak adekuat. Kadar PO₂ < 60 mmHg menunjukkan perlunya pemberian oksigen tambahan.
- Kandungan Oksigen (O₂)

Kadar ukuran relative suatu oksigen yang terlarut. Kadar oksigen normal dalam darah adalah > 90%.
- Saturasi Oksigen (SO₂)

Menilai seberapa banyak oksigen yang berikatan dengan hemoglobin. Nilai normal saturasi oksigen adalah > 95%.

9.4 Interpretasi Analisa Gas Darah

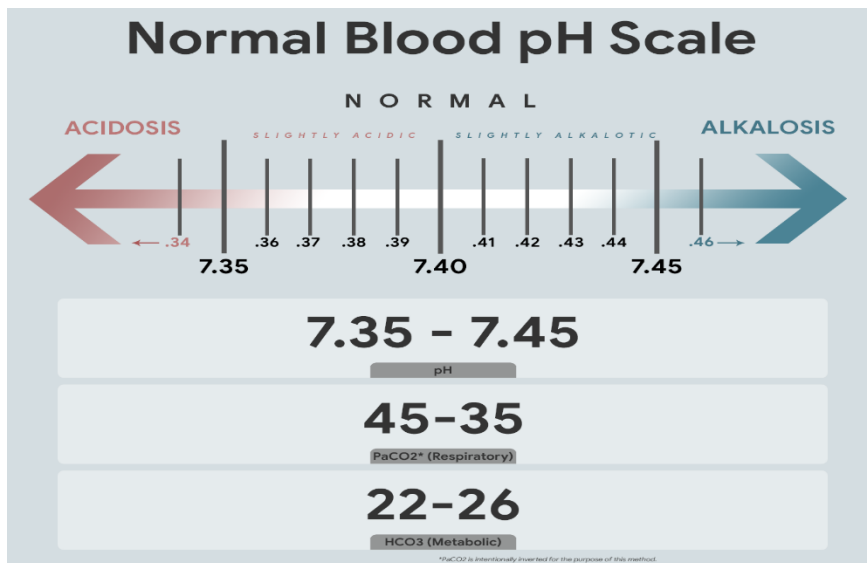
Langkah-langkah untuk menginterpretasi Analisa Gas Darah (AGD) (Sood, 2010) :

- 1. Menilai pH. Kadar pH <7,35 menunjukkan asidosis atau pH > 7,45 menunjukkan alkalosis
- 2. Menilai PaCO₂. Menilai perubahan pada PaCO₂ apakah sesuai dengan nilai pH.
- 3. Menilai SBE (komponen metabolik). Bila nilai SBE sesuai pH, maka sesuai metabolik. Namun bila terjadi perubahan SBE akibat mekanisme kompensasi, bisa dicurigai ada faktor respiratorik
- 4. Menilai berat ringannya gangguan asam-basa dengan melihat kadar PaCO₂ dan SBE
- 5. Menilai kompensasi

Tabel 9.1 Interpretasi Analisa Gas Darah

	pH	PaCO ₂	PO ₂
Asidosis Respiratori	↓	↑	Normal
Alkalosis Respiratori	↑	↓	Normal
Asidosis Metabolik	↓	Normal	↓
Alkalosis Metabolik	↑	Normal	↑

Sumber : Halstead SB, 2020



Gambar 9.1. Diagram Interpretasi Analisa Gas Darah
 Sumber: Matt Vera Bsn, R.N. 2023. Arterial Blood Gas Analysis Made Easy With Tic-Tac-Toe Method. Nurseslab.

9.5 Klasifikasi Gangguan Asam Basa

a. Asidosis Respiratorik

Penyebab asidosis respiratorik (Nitu, 2011) :

- Depresi napas dan gangguan SSP : Obat-obatan (sedatif, opiat, anestetik), trauma SPP, perdarahan, infark, tumor, hipoventilasi
- Kelainan saraf dan otot
- Gangguan pada paru / dinding dada : Trauma dada, flail chest, hemothorax, pneumothorax, edema paru
- Obstruksi jalan napas.

Gejala dan tanda asidosis respiratorik (Nitu, 2011) :

Susunan Saraf Pusat	Sistem Respirasi	Sistem Kardiovaskular
Hiperkapnia ringan – sedang • Peningkatan tekanan intrakranial • Nyeri kepala • Bingung • Psikosis transien • Tremor	• Gagal napas • Sianosis sentral dan perifer • Hipertensi pulmonal	Hiperkapnia ringan – sedang • <i>Flashing</i> kulit • Nadi <i>bounding</i> • Diaphoresis
Hiperkapnia berat • Stupor • Koma • Konstriksi pupil • Depresi reflex tendon • Ekstensor plantar • Kejang • Papil edema		Hiperkapnia berat • Penurunan kardiak output • Hipotensi sistemik • Aritmia kardiak • Edema perifer

b. Alkalosis Respiratorik

Penyebab alkalosis respiratorik (Nitu, 2011) :

- Penyebab sentral pada SSP yang mempengaruhi pusat pernapasan : Trauma kepala, stroke, hiperventilasi, penyebab supratentorial lain, obat (analeptic, propanidid, intoksikasi salisilat)
- Penyebab pulmonal : Emboli paru, pneumonia, asma, edema paru

Gejala dan tanda alkalosis respiratorik (Nitu, 2011) :

Susunan Saraf Pusat	Sistem Neuromuskular	Sistem Kardiovaskular
• Vasokonstriksi serebral • Penurunan tekanan intracranial • Nyeri kepala ringan • Peningkatan reflex tendon dalam • Kejang umum	• Parestesi ekstremitas • Spasme laring • Manifestasi tetani • Kram otot • <i>Carpopedal's spasm</i> • <i>Trousseau's sign</i> • <i>Chvostek's sign</i>	• Nyeri dada • Perubahan EKG ke arah iskemik • Tekanan darah normal atau rendah • Aritmia • Vasokonstriksi perifer

c. Asidosis Metabolik

Penyebab asidosis metabolik (Nitu, 2011) :

- Ketoasidosis : Ketoasidosis diabetikum, ketoasidosis alkoholik, ketoasidosis starvation
- Asidosis laktat
- Gagal ginjal : Asidosis uremik, asidosis dengan gagal ginjal akut
- Toksin/obat : Etilen glikol, Methanol, Salisilat, Paraldehid (asetat, kloroasetat), Rhabdomyolisis
- Penyebab renal : Renal tubular asidosis
- Penyebab gastrointestinal : Diare berat, kolostomi, uretero-enterostomi/obstruksi saluran ileum, fistula usus halus.

Gejala dan tanda asidosis metabolik (Nitu, 2011) :

Sistem Metabolisme	Sistem Respirasi	Sistem Kardiovaskular
• Peningkatan metabolic demand • Resistensi insulin • Hiperkalemia • Peningkatan degradasi protein • Inhibisi glikosis anaerob	• Hiperventilasi • Distress napas • Kelelahan otot pernapasan	• Penurunan kardiak output • Aritmia yang memicu fibrilasi ventricular • Peningkatan simpatetik / venokonstriksi • Penurunan kontraktilitas otot jantung
Susunan Saraf Pusat	Sistem Rangka	
• Koma progresif	• Osteomalasia • Fraktur	

d. Alkalosis Metabolik

Penyebab asidosis metabolik (Nitu, 2011) :

- Milk-alkali syndrome
- Transfusi darah masif
- Kehilangan asam lambung
- Diuretika
- Hiperaldosteronisme primer dan sekunder, syndrome cushing, obat, sindrom bartter, sindrom gitelman
- Laxative abuse, hipoalbuminemia

Gejala dan tanda alkalosis metabolik (Nitu, 2011) :

Sistem Metabolisme	Sistem Respirasi	Sistem Kardiovaskular
• Peningkatan produksi asam organik dan ammonia • Hipokalemia, hipokalsemia, hypomagnesemia, hipofosfatemia	• Hipoventilasi dengan hiperkapnia dan hipokseemia	• Supraventricular dan ventricular aritmia • Potensial toksik digitalis • Respon positif terhadap inotropik
Sistem Saraf Pusat	Sistem Ginjal	
• Nyeri kepala • Letargi, stupor, delirium • Tetani • Kejang • Potensial hepatic ensefalopati	• Poliuria • Polidipsia • Kista korteks dan medulla ginjal	

9.6 Pengambilan Analisa Gas Darah

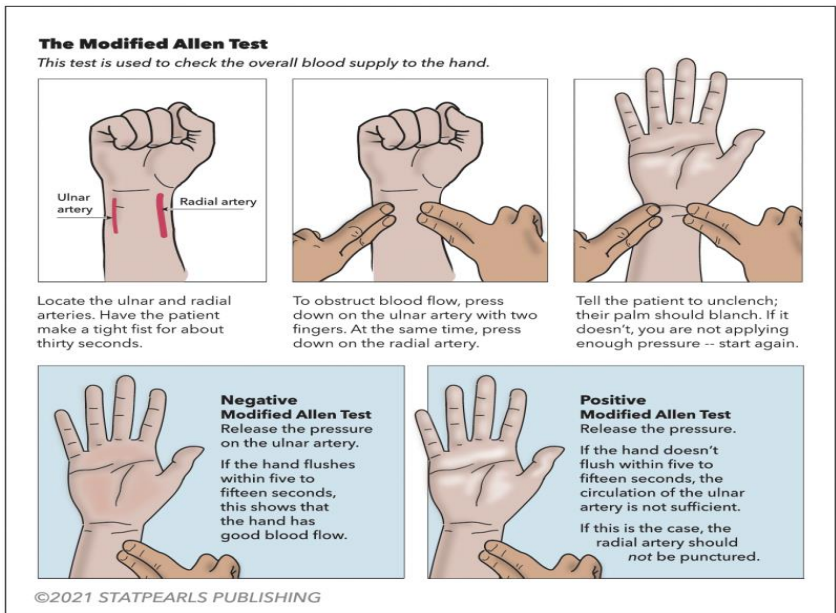
Prosedur pengambilan specimen (Turner, 2000) :

- a. Siapkan formulir laboratorium
- b. Persiapkan alat dan bahan: Antiseptik (kapas alkohol), Kassa steril, Spuit ukuran 3 ml, Heparin dan Sarung tangan
- c. Atur posisi pasien senyaman mungkin
- d. Identifikasi lokasi pengambilan sampel. Lokasi pengambilan bisa dilakukan di Arteri Radialis, Arteri Brachialis, Arteri Femoralis

- e. Posisi lengan diekstensikan dan telapak tangan menghadap ke atas
- f. Letakkan pengalas
- g. Memakai handscoen
- h. Palpasi arteri untuk menentukan lokasi pulsasi maksimal.
- i. Lakukan Test Allen untuk mengetahui integritas sirkulasi kolateral pada arteri.
 - Pada salah satu pergelangan tangan, tekan kedua denyutan arteri radialis dan ulnaris sampai denyutannya hilang. Sirkulasi yang kurang ke tangan akan menyebabkan tangan menjadi pucat.
 - Lepaskan tekanan pada arteri ulnaris.
 - Jika tangan kembali kemerahan dalam 10 detik, maka hasil test dinyatakan negatif dan dapat dilakukan pengambilan darah arteri pada pergelangan tangan tersebut.
 - Jika tangan tetap pucat setelah penekanan dilepaskan, maka sirkulasi tidak adekuat. Hasil test positif dan perlu dilakukan tes pada pergelangan tangan yang lain. Bila hasil test kedua pergelangan tangan positif, perlu dilakukan pengecekan pada arteri femoralis.
- j. Stabilkan arteri yang akan ditusuk dengan hiperekstensi agar arteri tidak hilang saat jarum ditusukkan.
- k. Desinfeksi daerah penusukan dengan kapas alkohol
- l. Pegang kapas alkohol dan palpasi pulsasi arteri. Pertahankan jari tangan di lokasi penusukan untuk memastikan insersi jarum dan mencegah mikroorganisme masuk ke dalam darah
- m. Insersi jarum dengan sudut 60-90°, langsung ke dalam arteri.
- n. Masuknya darah ke dalam spuit akan terlihat seperti denyutan nadi. Berhenti memasukkan jarum lebih dalam bila sudah terlihat denyutan. Hal ini menunjukkan

keakuratan penusukkan jarum dalam arteri. Darah akan naik ke dalam spuit dengan sendirinya (tekanan hisap minimal).

- o. Tunggu sampai darah terkumpul 2 - 4 ml sesuai kebutuhan ke dalam spuit
- p. Tutup lokasi penusukan segera dengan kapas alkohol dan tarik jarum
- q. Pelihara kontinuitas penekanan selama 5 detik (atau selama 10 detik bila pasien menerima antikoagulan).
- r. Tempelkan label identitas (nama pasien, tanggal dan jam pengambilan, suhu tubuh pasien). Pastikan sampel dianalisis dalam waktu 5-10 menit.
- s. Bersihkan daerah penusukan dengan kapas alkohol.
- t. Lepaskan sarung tangan dan cuci tangan.



Gambar 9.2. Allen Tes

Sumber: Castro D, Patil SM, Keenaghan M. Arterial Blood Gas. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan

DAFTAR PUSTAKA

- Abramowitz M. 2014. Acid-Base Balance and Physical Function. Clinical Journal of the American Society of Nephrology. 9(12):2030-2032
- Fischbach FT, Dunning MB. 2004. Pulmonary Function, Arterial Blood Gases (ABGs), and Electrolyte Studies, in A Manual of Laboratory and Diagnosis Test, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, p. 901-970.
- Halstead SB. 2020. In: Kliegman RM, Behrman RE, editors. Nelson Textbook of Pediatrics 20th ed. Elsevier. 2016. p.1629-32.
- Nitu M, Montgomery G, Eigen H. 2011. Acid-base disorders. Pediatr Rev.32(6):240-50
- Pramod S, et.al. 2010. Intrepretation of arterial blood gas. Indian J Crit Care Med. Vol 14 Issue 2
- Preston R A. 2000. Acid-base, fluids and electrolytes made rediculously simple. McGraw Hill Miami.
- Seifter JL. 2014. Integration of acid-base and electrolyte disorders. N Engl J Med. 371(19):1821-1831
- Sood P, Pramod S, Gunchan P, Sandeep P. 2010. Interpretation of arterial blood gas. Indian J Crit Care Med.
- Turner, R and Blackwood, R.,. 2000. Clinical Skills, 3rd ed. Blackwell Science. UK.
- Matt Vera Bsn, R.N. 2023. Arterial Blood Gas Analysis Made Easy With Tic-Tac-Toe Method. Nurseslab.
- Castro D, Patil SM, Keenaghan M. 2023. Arterial Blood Gas. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing

BIODATA PENULIS



Dokter Dito Anurogo, M.Sc., Ph.D. (Candidate)

Dosen tetap di Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Makassar Indonesia, dokter umum, pemerhati filsafat, penulis puluhan buku di penerbit ternama di Indonesia. *Magnum opus*-nya berjudul *The Art of Medicine* diterbitkan Penerbit Gramedia dan telah didistribusikan secara Internasional melalui Amazon.com. Karya terbarunya bersama Prof. Dr. Taruna Ikrar, M. Biomed, Ph.D. berjudul "Ensiklopedia Penyakit dan Gangguan Kesehatan" diterbitkan oleh CV Pustaka Setia Bandung, setebal 448 halaman telah dikoleksi di berbagai perpustakaan dan sekolah di Indonesia.

Seorang kolumnis (penulis) tetap di berbagai media cetak online dan offline (misalnya: Harian Fajar, Suara Merdeka, Antaranews.com, detik.com), pelopor di bidang Nanoimmunobiotechnomedicine (NiBTM) dan hematopsikiatri, penggerak literasi digital, dan pemberdayaan masyarakat, pembelajar dan pemerhati psikologi.

Beliau memiliki sertifikasi CME (*Continuing Medical Education*) dari berbagai universitas ternama dunia, seperti: Harvard, Oxford, dan John Hopkins University, dsb. Beliau juga memiliki berbagai sertifikasi di bidang: kegawatdaruratan, trauma, dan

neurologi (ATLS, ACLS, ANLS, TCD), herbal dan tanaman obat, grafologi dasar, jurnalisme, kepenulisan, dan training (pelatihan). Ia memiliki lebih dari 45 gelar non-akademik lintas-multidisiplin keilmuan. Dia juga seorang pembelajar seumur hidup. Saat ini ia sedang studi S3 di Taipei Medical University Taiwan. Di sela-sela kesibukannya, ia menjadi reviewer di puluhan jurnal nasional dan Internasional, termasuk reviewer tetap di *Journal of Translational Medicine* (terindeks Scopus Q1) penerbit Springer-Nature. Dokter Dito bersama tim ASPI (Asosiasi Sel Punca Indonesia) lainnya telah berkontribusi dalam merumuskan rancangan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2018 tentang Penyelenggaraan Pelayanan Sel Punca dan/ atau Sel. Beliau memiliki pengalaman di lebih dari 20 organisasi nasional hingga Internasional (sebagai dewan penasihat/pelindung/pembina, CEO, pendiri, penggagas, ketua, anggota). Saat ini masih aktif menjabat sebagai Wakil Ketua Komisi Kesehatan Ditlitka PPI Dunia dengan program kerja "Telehealth - Telemedicine" sebagai andalannya.

Alumnus Ilmu Kedokteran Dasar (IKD) Biomedis Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada (FK UGM) Yogyakarta ini juga telah menerima berbagai penghargaan bergengsi tingkat internasional dan nasional, antara lain: Best paper Award kategori Best Idea 2023 dalam forum The 5th International Conference on Religious and Cultural Sciences, Duta Perdamaian dari World Wide Peace Organization (WWPO) di Indonesia 2022, International Scientist Awards 2022 di bidang Engineering, Science, and Medicine International Research Awards 2022 di bidang Science, Technology, and Management; The Best Position Paper of UN Women 2021 (kerja sama antara International Model United Nations, UNDP, UNESCO, dan Kedutaan Besar Australia), The Distinguished Proponent and Excellent Scientist 2022 at "First Generation of Cadre of Indonesian Islamic Thinkers" held by institute of Religious and Philosophical Studies in

Collaboration with Universitas Paramadina, Indonesia. Gadjah Mada Awards 2015 (kategori Mahasiswa Paling Inspiratif dan Mahasiswa Penulis Terbaik); Seed Grant Award Blended Learning batch II, 2015 Pusat Kebijakan Manajemen Kesehatan, Fakultas Kedokteran, Universitas Gadjah Mada; The Best Winner, kategori sains, lomba esai nasional, forum AGRINOVA, yang diselenggarakan oleh HIMMPAS IPB 2015; dan First Winner "2013 World Young Doctors' Organization (WYDO) Indonesia Essay Contest Award". Ia dapat dihubungi via email: dito.anurogo@med.unismuh.ac.id.

BIODATA PENULIS



Dr. Korry Novitriani, M.Si

Dosen Program Studi Analisis Kesehatan
Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Bakti Tunas Husada

Penulis lahir di Bandung, 12 November 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Analisis Kesehatan Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Bakti Tunas Husada. Menyelesaikan studi S-1 bidang kimia pada tahun 2002 di Universitas Jendral Achmad Yani, S-2 bidang biokimia pada tahun 2012 di Institut Teknologi Bandung dan S-3 bidang biokimia pada tahun 2021 di Universitas Padjadjaran. Kompetensi keahlian bidang Biokimia, imunokromatografi, ISO 17025, analisis pangan halal. Sejak tahun 2008 telah menjadi asesor kompetensi dari BNSP, dan memiliki 4 kompetensi keahlian teknis dari BNSP yaitu volumetric, Gravimetri, Spektrofotometer UV-Vis dan analisis kimia penunjang manajemen halal. Untuk menghubungi dapat melalui email korrynovitriani@universitas-bth.ac.id dan no. Hp. 081320647256

BIODATA PENULIS



Rianti Nurpalah, M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Bakti Tunas Husada

Penulis lahir di Tasikmalaya tanggal 02 Januari 1978. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis Fakultas Ilmu Kesehata, Universitas Bakti Tunas Husada. Menyelesaikan pendidikan D3 pada Akademi Analis Kesehatan BTH Tasikmalaya, kemudian melanjutkan S1 pada Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Siliwangi Tasikmalaya dan melanjutkan S2 pada peminatan farmakokimia Sekolah Farmasi Institit Teknologi Bandung (ITB). Pengalamannya bekerja sebagai pengajar dimulai dari tahun 2000 sebagai asisten dosen, yang kemudian diangkat menjadi dosen tetap di Universitas Bakti Tunas Husada sejak tahun 2006 sampai sekarang, mempunyai jabatan fungsional Lektor dan telah mendapatkan sertifikat pendidik sejak tahun 2016, ia menjadi dosen Mata Kuliah Kimia Klinik, Imunoserologi serta Penjaminan Mutu Laboratorium. Selain profesi dosen, penulis juga menjadi reviewer pada jurnal (JOIMEDLAB). Beberapa karya ilmiah dalam bentuk jurnal terindeks baik nasional maupun internasional (Scopus) pun terus digelutinya. Penulis menekuni bidang menulis

sejak tahun 2021 dengan berperan serta sebagai penulis pada buku prediksi soal ujikom ATLM dan Instrumentasi Laboratorium Medik. Pesan untuk para pembaca, jangan pernah berhenti belajar karena ilmu seluas Samudra.

.

BIODATA PENULIS



dr. Riana Retno Widiastuty, M.Sc, Sp.PK

Penulis lahir di Surabaya tanggal 18 Desember 1975. Saat ini penulis adalah Kepala Instalasi Laboratorium RS. Muhammadiyah Lamongan, penanggung jawab laboratorium klinik RS. Muhammadiyah Tuban dan saat ini sebagai dosen tetap di FK. UPN Veteran Jatim. Menyelesaikan pendidikan S1 dan Profesi Dokter Umum di Universitas Sebelas Maret Surakarta dan melanjutkan Program Spesialisasi Patologi Klinik serta S2 Kedokteran Klinik di Universitas Gadjah Mada.

Pengalaman mengajar dosen part time pada Program Studi D3 Fisioterapi Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Muhammadiyah Lamongan di Akper dan Stikes Pangkalpinang , Stikes dan poltekes di Yogyakarta. Dan pengalaman bekerja di klinik 24 jam wilayah Tengerang dan Bekasi selama 3 tahun serta RS Bakti Timah Pangkal pinang selama hampir 12 tahun. Telah memiliki dua putra (Shobran Naufal 19 tahun dan Salman Naufal 9 tahun)

BIODATA PENULIS



dr. Grace P. I. Lumentut, MPH, Sp.JP

Dosen Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat
FIKKM, Universitas Negeri Manado

Penulis lahir di kota Tomohon - Sulawesi Utara, pada tanggal 21 November 1988. Sejak tahun 2018, penulis diangkat sebagai pegawai negeri sipil dan menjadi dosen tetap pada Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan Masyarakat, Universitas Negeri Manado. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kedokteran Umum di Fakultas Kedokteran, Universitas Sam Ratulangi – Manado, dan kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan *Public Health* di *Faculty of Health and Social Care, University of Chester* – England UK. Selanjutnya penulis menempuh Pendidikan Profesi Dokter Spesialis di bidang Jantung dan Pembuluh Darah di Fakultas Kedokteran, Universitas Sam Ratulangi – Manado. Selain sebagai klinisi yang bekerja di rumah sakit, penulis juga aktif menyusun penelitian, mempresentasikan laporan kasus dan menulis buku di bidang Kardiologi dan Kedokteran Vaskular, dengan harapan dapat berkontribusi positif dalam kemajuan pendidikan dan pelayanan kesehatan khususnya mengenai penyakit jantung dan pembuluh darah di Indonesia.

BIODATA PENULIS



Arshy Prodyanatasari, M.Pd.

Dosen Program Studi D3 Fisioterapi
Fakultas Kesehatan, Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata
Kediri

Penulis lahir di Kediri tanggal 28 Mei 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D3 Fisioterapi, Fakultas Kesehatan Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri sejak tahun 2013 samai sekarang. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Surabaya pada tahun 2009 dan melanjutkan Pendidikan jenjang magister di Universitas Negeri Surabaya pada Program Studi S2 Pendidikan Sains.

Menjadi orang yang beruntung di dunia dan akhirat adalah impiannya, berguna bagi masyarakat adalah harapannya, dan beribadah adalah tujuan hidupnya.

BIODATA PENULIS



dr. Marsino O. R. O. Rondo, Sp.A, M.M, M.A.R.S

Dosen FK Unsrat Manado

Staf Medis RSUP Prof. Dr. R. D. Kandou Manado

Penulis lahir di Manado tanggal 01 Juli 1988. Penulis adalah dokter tetap di RSUP Prof. dr. R. D. Kandou Manado dan staf dosen pada Program Studi Ilmu Kesehatan Anak, Fakultas Kedokteran, Universitas Sam Ratulangi Manado. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kedokteran Umum di Fakultas Kedokteran, Universitas Sam Ratulangi Manado, melanjutkan S2 Dual Degree pada Jurusan Magister Manajemen dan Magister Administrasi Rumah Sakit di Universitas Pelita Harapan Jakarta dan menempuh Pendidikan Profesi Dokter Spesialis Anak di Fakultas Kedokteran, Universitas Sam Ratulangi Manado.