

BUKU AJAR BIOKIMIA

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

BUKU AJAR BIOKIMIA

Daimon Syukri, S.Si., M.Si., Ph.D.
Drs. Mhd. Yusuf Nasution, M.Si.
Krisman Umbu Henggu, S.Pi., M.Si.
Martina Kurnia Rohmah, S.Si., M.Biomed.
Marnida Yusfiani, S.Pd., M.Pd.
Ahmad Fauzan Lubis, S.Pi., M.Si.
Ayu Diana, S.Pi., M.P.
Robert. G. Marpaung
Luh Putu Desy Puspaningrat, S.KM., M.Si.



BUKU AJAR BIOKIMIA

Oleh: Daimon Syukri, Mhd. Yusuf Nasution,
Krisman Umbu Henggu, Martina Kurnia Rohmah,
Marnida Yusfiani, Ahmad Fauzan Lubis,
Ayu Diana, Robert. G. Marpaung,
Luh Putu Desy Puspaningrat

Copyright © 2022, Daimon Sukri, dkk

Diterbitkan pertama kali dalam Bahasa Indonesia
Oleh Penerbit CV. Feniks Muda Sejahtera,
Anggota IKAPI NO. 007/SUL-TENG/2022

Desain Sampul: August Leonardo
Profreader & Tata Letak: Darwis Septrian Manteende

Cetakan Pertama: Juni, 2022

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang.
Dilarang memperbanyak dan memperjual-belikan sebagian
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

Isi di luar tanggung jawab Percetakan

ISBN No. 978-623-5403-28-1

DAFTAR ISI

Daftar Isi	v
Kata Pengantar	vi
BAB 1: KLASIFIKASI, STRUKTUR, DAN SIFAT KIMIA MAKROMOLEKUL DALAM TUBUH MANUSIA: KARBOHIDRAT, LIPID, PROTEIN, ASAM NUKLEAT	1
BAB 2: IDENTIFIKASI: KARBOHIDRAT, LIPID, PROTEIN, ASAM AMINO	19
BAB 3: METABOLISME: KARBOHIDRAT, LIPID, PROTEIN, ASAM NUKLEAT	25
BAB 4: FUNGSI MAKROMOLEKUL DALAM TUBUH MANUSIA: VITAMIN DAN MINERAL	35
BAB 5: ENZIM DAN KOFAKTOR	78
BAB 6: HORMON DALAM METABOLISME	87
BAB 7: FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KERJA ENZIM	108
BAB 8: MAKANAN KITA	117
BAB 9: GANGGUAN METABOLISME UMUM (KESALAHAN METABOLISME BAWAAN)	127
Tentang Para Penulis	154

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah Swt, Tuhan penguasa alam semesta. Shalawat dan salam juga turut dipanjatkan kepada Junjungan Nabi Besar Muhammad saw, keluarga, serta para sahabat.

Maksud dari penerbitan buku ini adalah untuk membantu mahasiswa dalam mata kuliah Biokimia. Di samping itu, buku ini juga dapat digunakan untuk melengkapi kepustakaan di bidang Ilmu Farmasi dan Kesehatan yang terkait dengan biokimia.

Buku ini disusun dengan pendekatan praktik yang dilengkapi dengan dasar analisisnya serta reaksi kimia yang terlibat. Pembaca diharapkan dapat memahami berbagai teori dan prinsip analisis karbohidrat, protein, lemak, enzim dan koenzim, vitamin dan mineral.

Terima kasih kepada semua pihak, khususnya rekan sejawat dan keluarga yang mendukung selama proses penulisan buku ini.

Semoga buku ini membawa manfaat bagi sebanyak mungkin masyarakat akademia di Indonesia.

Amin ya rabbal'alamin. Wassalamu'alaikum. Wr. Wb

Para Penulis

BAB I
KLASIFIKASI, STRUKTUR, DAN SIFAT KIMIA
MAKROMOLEKUL DALAM TUBUH MANUSIA:
KARBOHIDRAT, LIPID, PROTEIN, ASAM NUKLEAT
Daimon Syukri, S.Si., M.Si., Ph.D.

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu memahami klasifikasi dari senyawa karbohidrat, lipid, protein dan asam nukleat
2. Mampu mengenal dan memahami struktur dari senyawa karbohidrat, lipid, protein dan asam nukleat
3. Mampu memahami sifat kimia dari senyawa karbohidrat, lipid, protein dan asam nukleat

B. MATERI

1. Pendahuluan

Pada pembelajaran ini, subjek yang akan dibahas adalah kelompok senyawa organik yang dikelompokkan dalam kelompok senyawa makromolekul. Makromolekul adalah senyawa yang sangat penting dalam proses kehidupan manusia karena fungsinya yang sangat penting. Ada empat kelas utama makromolekul biologis seperti karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat. Secara umum fungsi dari senyawa makromolekul antara lain sebagai sumber energi (Karbohidrat dan lipid), pembentuk struktur (Karbohidrat dan lipid), biokatalisator (protein) dan pembentuk informasi genetik (asam nukleat).

Senyawa makromolekul merupakan senyawa organik yang memiliki berat molekul yang besar (≥ 1000 dalton), oleh karena itu senyawa makromolekul sangat identik dengan kelompok senyawa polimer. Dari keempat senyawa makro molekul yang akan dipaparkan lebih lanjut, hanya kelompok lipid yang tidak dapat dikategorikan sebagai kelompok senyawa polimer. Polimer adalah rantai sub-unit serupa, atau monomer, yang dihubungkan bersama oleh ikatan kovalen. Dalam protein, monomernya adalah asam amino; dalam karbohidrat, monomernya adalah sakarida; dan dalam asam nukleat, monomernya adalah nukleotida. Lipid adalah

kelompok senyawa yang terdiri dari komponen penyusun yang beragam, yang dapat datang dalam berbagai bentuk nonpolimer.

Dalam mempelajari senyawa makromolekul (polimer) tidak akan bisa dilepaskan dari kehadiran senyawa penyusun dari makromolekul tersebut atau monomernya. Didalam tubuh manusia dan makhluk hidup lainnya, fungsi dari suatu makromolekul, ada kalanya akan didapat apabila unsur penyusun atau monomer dari senyawa makromolekul tersebut sudah terbentuk, oleh karena itu keseimbangan pengetahuan antara makro dan mikromolekul harus berjalan secara beriringan. Sebagai contoh, karbohidrat memiliki fungsi sebagai sumber energi, dimana energi tersebut dihasilkan dari proses respirasi. Pertanyaannya, apakah karbohidrat itu yang dapat menghasilkan energi? Jawabannya tentulah tidak, energi akan dihasilkan dari proses respirasi yang melibatkan reaksi antara glukosa dengan oksigen yang akan menghasilkan CO_2 dan H_2O serta ATP (energi).

2. Klasifikasi Senyawa Makromolekul

Karbohidrat

Karbohidrat diklasifikasikan menjadi empat jenis: monosakarida, disakarida, oligosakarida dan polisakarida. Orang awam mengenal karbohidrat sebagai molekul polisakarida yang merupakan senyawa polimer yang terdiri dari monosakarida atau dikenal juga sebagai gula. Monosakarida terikat bersama untuk membentuk polisakarida melalui ikatan glikosida. Monosakarida yang paling umum adalah glukosa, yang merupakan salah satu gula paling berharga untuk semua hewan dan tumbuhan. Fungsi karbohidrat adalah bertindak sebagai sumber energi dan pembentuk struktur bagi semua makhluk hidup. Untuk tanaman, pati adalah sumber energi utama dan selulosa adalah yang membentuk struktur. Untuk hewan, glikogen memasok energi dan kitin pembentuk struktur. Karbohidrat dapat dinyatakan dengan rumus $(\text{CH}_2\text{O})_n$, di mana n adalah jumlah atom karbon dalam molekul. Dengan kata lain, rasio karbon terhadap hidrogen terhadap oksigen adalah tetap dengan rasio 1:2:1 dalam setiap molekul karbohidrat.

Lipid

Lipid merupakan salah satu komponen pada makhluk hidup yang memiliki sifat dasar tidak larut dalam pelarut air. Secara umum, ada empat

jenis lipid yang menjadi subjek pada pembelajaran biokimia yaitu lemak/minyak, steroid, fosfolipid dan lilin Fungsi utama dari lipid ini adalah sebagai cadangan energi. Konsep pembentukan energi dari lipid cukup berbeda dari karbohidrat. Selain itu, lipid juga digunakan untuk melindungi dan melindungi tubuh manusia. Tubuh yang memiliki lapisan lemak tepat di bawah kulit akan dapat membantu menjaga suhu internal tubuh meskipun suhu eksternal dalam kondisi tidak normal. Oleh karena itu, organ vital pada tubuh manusia, seperti ginjal, memiliki lapisan lemak di sekelilingnya yang berfungsi seperti pembungkus gelembung untuk melindunginya dari cedera.

Senyawa lemak/minyak merupakan jenis senyawa lipid yang banyak dikenal khususnya yang berkaitan dengan ilmu dan teknologi pangan. Kadang kala, ditemukan juga kesalahan pengertian bahwa lipid dianggap sebagai lemak/minyak. Lemak/minyak merupakan senyawa yang terbentuk dari proses esterifikasi tiga asam lemak dengan gliserol. Oleh karena itu, lemak/minyak dikenal juga dengan istilah trigliserida. Lemak/minyak dapat memiliki asam lemak dalam bentuk jenuh maupun tidak jenuh. Asam lemak jenuh ditemukan pada lemak yang terdapat pada hewan dan berbentuk padat pada suhu kamar; sedangkan asam lemak tak jenuh ditemukan pada minyak yang terdapat pada tumbuhan dan berbentuk cairan atau minyak pada suhu kamar.

Fosfolipid terdiri dari dua asam lemak, unit gliserol, gugus fosfat, dan molekul polar. Keberadaan fosfolipid sering dikaitkan dengan fungsi dari membran sel pada makhluk hidup. Sementara itu steroid dan lilin merupakan jenis lain dari senyawa lipid yang juga memiliki karakter tidak larut air. Steroid adalah senyawa organik yang aktif secara biologis dengan empat cincin yang tersusun dalam konfigurasi molekul tertentu. Steroid memiliki dua fungsi biologis utama: sebagai komponen penting membran sel yang mengubah fluiditas membran; dan sebagai molekul sinyal. Contoh senyawa steroid adalah kolesterol, hormon seks (progesteron, estrogen, dan testosteron). Lilin merupakan jenis dari senyawa lipid yang penyusunnya hampir mirip dengan lemak. Perbedaan yang mendasar dari bentuk lemak dan lipid adalah jenis alkohol penyusunnya. Tipe alkohol pada lemak umumnya adalah gliserol, sedangkan pada lilin umumnya mengandung alkohol dengan berat molekul yang lebih tinggi, contohnya: setil alkohol.

Protein

Protein adalah makromolekul yang sangat penting; mereka memiliki banyak tingkat struktur dan sejumlah fungsi. Setiap sel dalam tubuh manusia mengandung protein dan sebagian besar cairan tubuh juga mengandung protein. Protein membentuk sebagian besar kulit, organ, otot, dan kelenjar manusia. Protein membantu tubuh dalam memperbaiki sel dan membuat yang baru, dan merupakan kebutuhan makanan dan energi yang penting, terutama untuk remaja yang sedang tumbuh dan ibu hamil.

Protein merupakan polimer yang dibentuk oleh monomer asam amino. Karena ada 20 asam amino yang berbeda secara kimiawi yang dapat membentuk rantai panjang suatu molekul protein dengan bermacam-macam susunan, hal ini membuat banyak variasi dari molekul protein yang mengakibatkannya banyaknya fungsi dari protein itu sendiri. Protein dapat berfungsi sebagai enzim atau hormon. Enzim, yang diproduksi oleh sel hidup, adalah katalis dalam reaksi biokimia (seperti pencernaan). Setiap enzim bersifat spesifik untuk untuk substrat tertentu. Enzim dapat berfungsi untuk memutuskan ikatan molekul, menyusun kembali ikatan, atau membentuk ikatan baru. Contoh enzim adalah amilase saliva, yang memecah amilosa, komponen pati. Hormon adalah molekul pemberi sinyal kimia, yang umumnya merupakan molekul protein atau steroid, yang disekresikan oleh kelenjar endokrin atau kelompok sel endokrin yang bertindak untuk mengontrol atau mengatur proses fisiologis tertentu, termasuk pertumbuhan, perkembangan, metabolisme, dan reproduksi. Sebagai contoh adalah insulin, dimana insulin merupakan hormon protein yang menjaga kadar glukosa darah.

Protein memiliki bentuk dan berat molekul yang berbeda. Secara alami, beberapa protein berbentuk globular sedangkan yang lain berserat. Misalnya, hemoglobin adalah protein globular, tetapi kolagen, yang ditemukan di kulit kita, adalah protein berserat. Senyawa protein sangat mudah dipengaruhi oleh perubahan suhu, pH, dan paparan bahan kimia dapat menyebabkan perubahan permanen dalam bentuk protein, yang menyebabkan hilangnya fungsi dari protein tersebut. Hal ini lebih dikenal dengan peristiwa denaturasi.

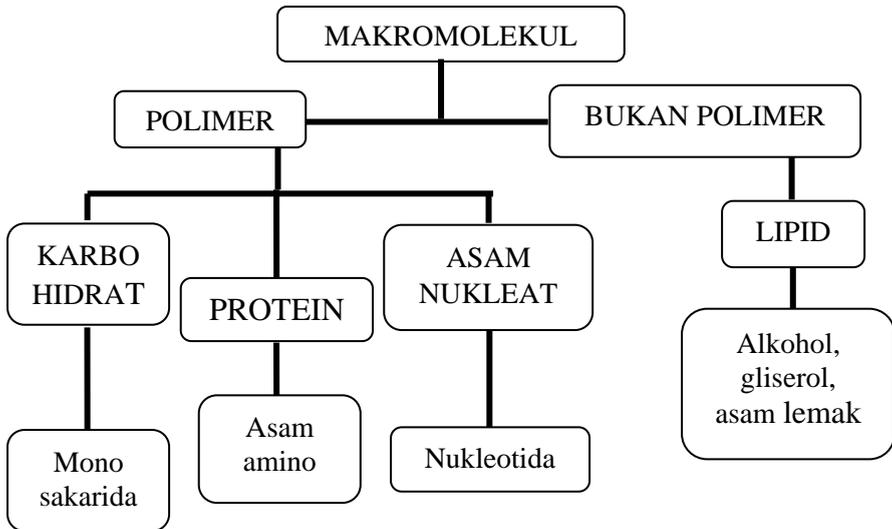
Asam amino adalah monomer yang menyusun protein. Setiap asam amino memiliki struktur dasar yang sama, yang terdiri dari atom karbon pusat yang terikat pada gugus amino ($-\text{NH}_2$), gugus karboksil ($-\text{COOH}$), dan rantai samping yang bervariasi.

COOH), dan atom hidrogen. Setiap asam amino juga memiliki atom atau kelompok atom variabel lain yang terikat pada atom karbon pusat yang dikenal sebagai gugus R. Gugus R adalah satu-satunya perbedaan struktur antara 20 asam amino. Penggabungan asam amino untuk membentuk suatu molekul protein akan dijumpai oleh ikatan kovalen yang dikenal dengan ikatan peptida.

Asam Nukleat

Asam nukleat adalah makromolekul kunci dalam kelangsungan hidup. Mereka membawa cetak biru genetik sel dan membawa instruksi untuk fungsi sel. Dua jenis utama asam nukleat adalah asam deoksiribonukleat (DNA) dan asam ribonukleat (RNA). DNA adalah materi genetik yang ditemukan di semua organisme hidup, mulai dari bakteri bersel tunggal hingga mamalia multiseluler. Jenis asam nukleat lainnya, RNA, sebagian besar terlibat dalam sintesis protein. Molekul DNA tidak pernah meninggalkan nukleus, melainkan menggunakan perantara RNA untuk berkomunikasi dengan bagian sel lainnya. Jenis RNA lain juga terlibat dalam sintesis protein dan regulasinya. DNA dan RNA terdiri dari monomer yang dikenal sebagai nukleotida. Nukleotida bergabung satu sama lain untuk membentuk polinukleotida, DNA atau RNA. Setiap nukleotida terdiri dari tiga komponen: basa nitrogen, gula pentosa (lima karbon), dan gugus fosfat. Setiap basa nitrogen dalam nukleotida melekat pada molekul gula, yang melekat pada gugus fosfat. Dengan kata lain dapat diinfokan bahwa setiap nukleotida terdiri dari gula pentosa, basa nitrogen, dan gugus fosfat.

Gambar 1.1 Menggambarkan Ilustrasi Sederhana Tentang Klasifikasi Senyawa Makromolekul.



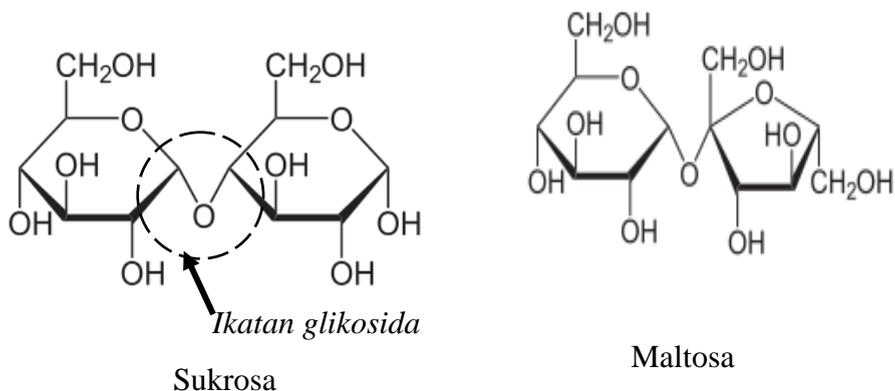
3. STRUKTUR SENYAWA MAKROMOLEKUL

Karbohidrat

Karbohidrat dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu monosakarida, disakarida oligosakarida dan polisakarida. Berdasarkan jenis dari senyawa karbohidrat yang ada dapat ditampilkan empat kelompok senyawa karbohidrat. Dari keempat jenis senyawa karbohidrat ini hanya kelompok oligosakarida dan polisakarida yang dikategorikan sebagai senyawa makromolekul.

Monosakarida

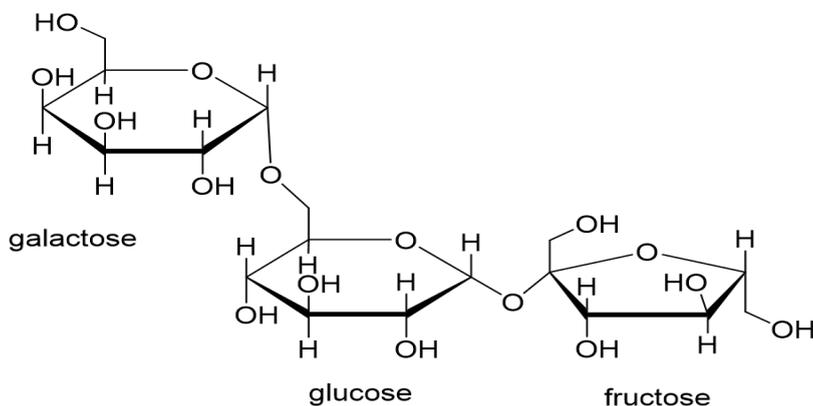
Monosakarida sederhana yang umum dikenal dari senyawa karbohidrat adalah glukosa dan fruktosa. Kedua senyawa ini merupakan isomer yang memiliki rumus molekul yang sama tetapi struktur molekul yang berbeda. Glukosa merupakan turunan dari aldosa yang merupakan kelompok senyawa aldehyd sementara fruktosa merupakan turunan dari senyawa ketosa yang merupakan kelompok senyawa ketosa. Secara umum, senyawa monosakarida lainnya juga merupakan isomerisasi dari glukosa (kelompok aldosa) dimana perbedaan posisi $-OH$ dan $-H$ pada atom C 2,3,4 dan 5 yang menjadi dasar dari perbedaan dari senyawa-senyawa

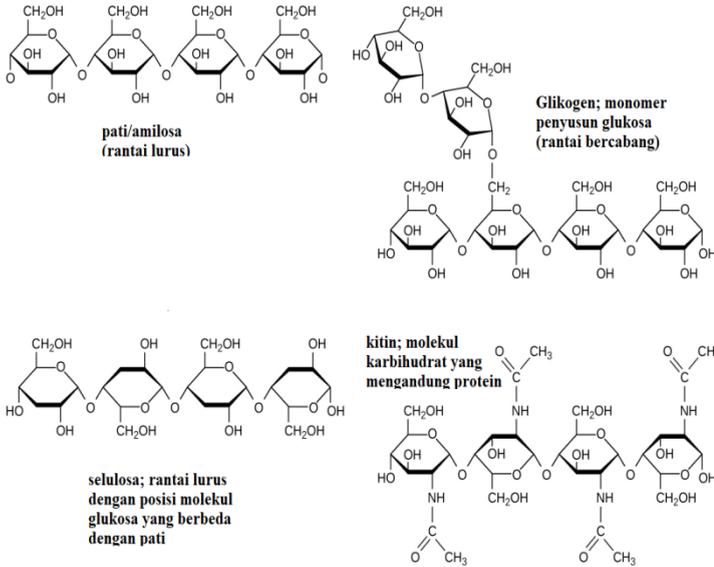


Gambar 1.3 Contoh molekul disakarida

Oligosakarida dan Polisakarida

Oligosakarida dan polisakarida adalah kelompok makromolekul dari senyawa karbohidrat. Perbedaan utama antara oligosakarida dan polisakarida adalah banyaknya jumlah monosakarida penyusunnya. Apabila monosakarida terdiri dari 3 sampai 10 molekul, maka senyawa yang dibentuk adalah molekul oligosakarida. Apabila lebih dari 10 molekul, maka kelompok senyawa yang dibentuk adalah molekul polisakarida. Pembentukan molekul oligosakarida dan polisakarida bisa disusun oleh satu jenis monosakarida dan atau gabungan dari beberapa jenis monosakarida. Selain itu, rantai yang terbentuk juga bisa berupa rantai lurus maupun bercabang.

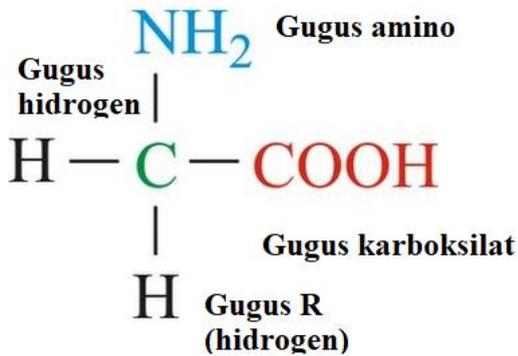
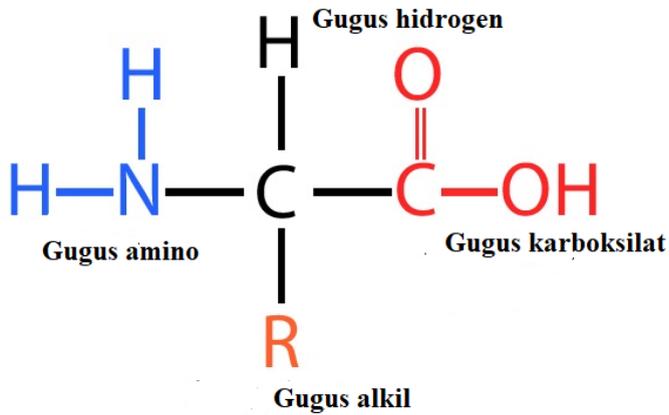




Gambar 1.4 Contoh Molekul Oligosakarida Dan Polisakarida

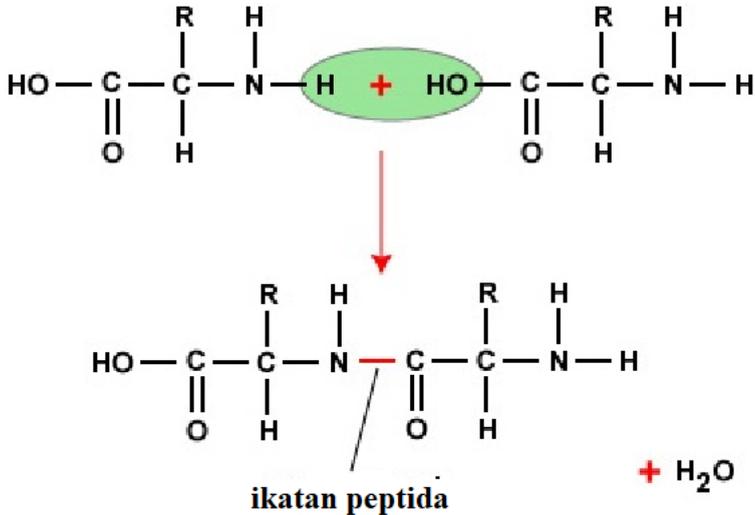
Protein

Untuk mengenali stuktur kimia dari suatu senyawa protein, pengenalan terhadap molekul asam amino sebagai penyusun utama dari sanyawa protein menjadi dasar yang harus dipahami. Setiap asam amino memiliki struktur dasar yang terdiri dari gugus amino, gugus karboksilat, gugus hidrogen dan gugus alkil. Jenis pengisi pada gugus alkil yang memberikan variasi dari jenis asam amino yang ada. Ada 20 jenis gugus alkil (-R) yang dapat menghasilkan 20 jenis asam amino. Gugus R yang paling sederhana pada suatu senyawa protein adalah adalah (-H) yang dapat membentuk suatu molekul glisin.



Gambar 1.5 Kerangka dasar asam amino dan glisin

Ikatan Peptida adalah ikatan yang dibentuk dari dua atau lebih asam amino. Polipeptida adalah rantai peptida dari banyak asam amino. Suatu protein mengandung satu atau lebih polipeptida. Oleh karena itu, protein adalah rantai panjang asam amino yang disatukan oleh ikatan peptida. Untuk membentuk polipeptida dan protein, asam amino disatukan oleh ikatan peptida, di mana amino atau NH_2 dari satu asam amino berikatan dengan gugus karboksil (asam) atau COOH dari asam amino lain.



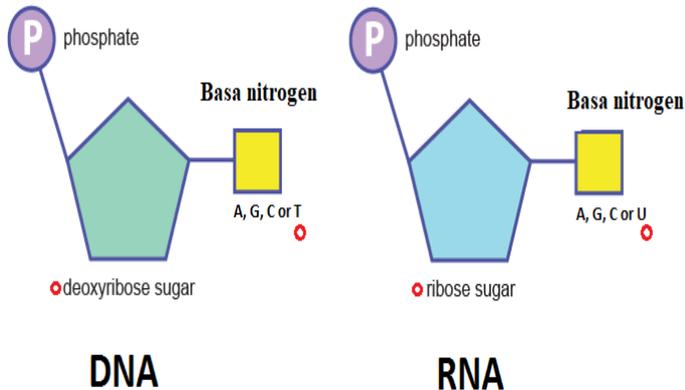
Gambar 1.6 Ikatan Peptida

Dalam perpektif senyawa makromolekul, senyawa protein memiliki empat jenis struktur yang dikenal dengan struktur primer, sekunder, tertier dan kuartener. Struktur primer adalah struktur paling dasar dari suatu molekul protein dimana strukturnya terdiri atas asam amino yang saling berikatan membentuk rantai panjang polipeptida. Struktur sekunder adalah struktur rantai panjang polipeptida yang membentuk lipatan karena adanya pengaruh ikatan hidrogen pada molekul asam amino penyusun suatu rantai polipeptida. Struktur tertier terjadi akibat adanya pengaruh ikatan hidrogen seperti pada pembentukan struktur sekunder ditambah dengan interaksi ionik dari gugus alkil (-R) dari asam amino penyusun rantai peptida. Gugus ini memiliki muatan positif dan negatif yang dapat saling tarik menarik ataupun tolak menolak antar satu sama lain yang membuat terbentuknya struktur globular dari suatu molekul protein. Struktur tertier ini dikenal juga dengan struktur tiga dimensi dari suatu asam amino. Struktur kuartener dari suatu senyawa protein merupakan struktur yang paling kompleks dimana semua interaksi dari semua asam amino yang terdapat dari suatu senyawa protein dapat terjadi.

Asam Nukleat

Asam nukleat adalah polinukleotida. Setiap nukleotida terdiri dari basa aromatik yang mengandung nitrogen yang terikat pada gula pentosa (lima karbon), yang juga terikat pada gugus fosfat. Setiap asam nukleat mengandung empat dari lima kemungkinan basa yang mengandung nitrogen: adenin (A), guanin (G), sitosin (C), timin (T), dan urasil (U). A dan G dikategorikan sebagai purin, dan C, T, dan U secara kolektif dikategorikan sebagai pirimidin. Semua asam nukleat mengandung basa A, C, dan G; T. Kondisi ini hanya ditemukan dalam DNA, sedangkan U ditemukan dalam RNA. Gula pentosa dalam DNA berbeda dari gula dalam RNA, dimana pada RNA gulanya berupa ribosa dengan tidak adanya gugushidroksil (-OH) pada karbon 2' dari cincin gula.

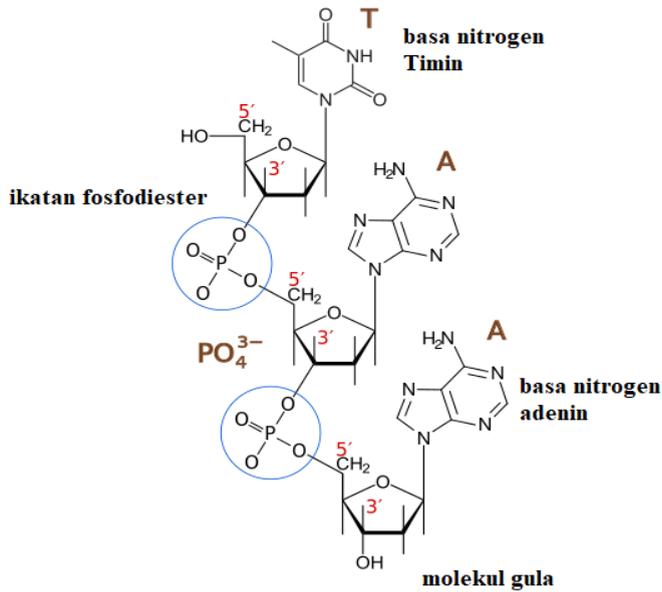
Secara umum, struktur dasar dari suatu nukleotida dapat digambarkan sebagai berikut. Perbedaan jenis basa nitrogen dan jenis gula yang menjadi dasar perbedaan nukleotida dari DNA dan RNA.



Gambar 1.7 Struktur dasar DNA dan RNA

Seperti halnya molekul polimer lainnya, senyawa asam nukleat juga akan terbentuk dari gabungan monomer-monemernya. Monomer nukleotida akan menyatu membentuk suatu molekul asam nukleat dengan membentuk ikatan fosfodiester. Ikatan fosfodiester terjadi ketika dua gugus hidroksil pada asam fosfat bereaksi dengan gugus hidroksil pada molekul lain untuk membentuk dua ikatan ester. Pada molekul DNA dan RNA, ikatan fosfodiester adalah ikatan antara atom karbon 3' dari satu molekul gula dengan atom karbon 5' dari molekul gula lainnya yang dijembatani oleh adanya gugus fosfat. Penggabungan dua molekul gula ini akan melibatkan

dua oksigen pada gugus fosfat yang menghasilkan dua ikatan fosfodiester. Ikatan fosfodiester ini merupakan kerangka dasar dalam pembentukan rantai panjang dari suatu senyawa asam nukleat.

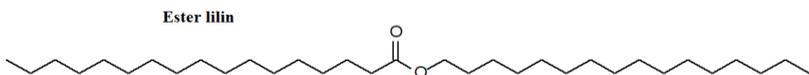
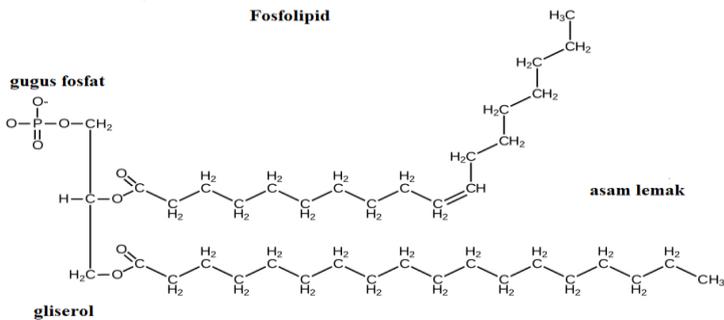
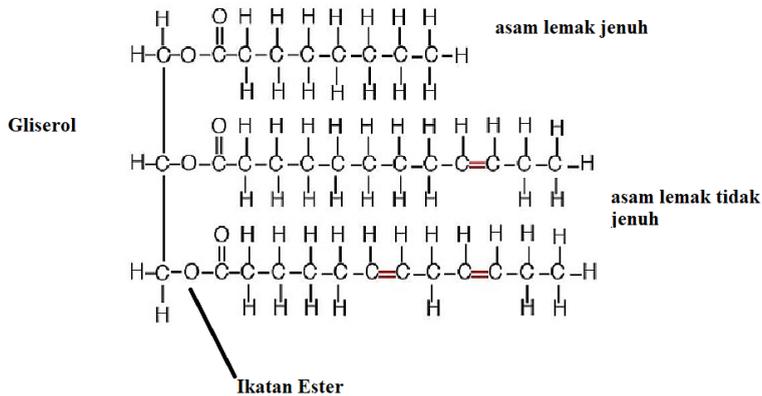


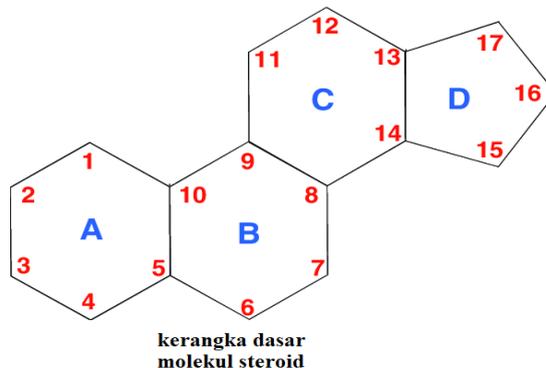
Gambar 1.8 Pembentukan Ikatan Fosfodiester Pada Asam Nukleat

Lipid

Lipid termasuk kelompok besar senyawa organik yang memiliki sifat yang tidak larut air. Lipid bersifat hidrofobik karena kerangka dasarnya merupakan molekul nonpolar. Senyawa lipid pada umumnya terdiri dari atom karbon yang banyak atau memiliki rantai panjang. Senyawa lipid tidaklah termasuk kedalam kelompok polimer karena molekul penyusun lipid bukanlah keterulangan dari monomer-monomer. Secara umum, lipid disusun oleh adanya molekul asam lemak yang dapat berikatan dengan molekul alkohol baik dalam bentuk gliserol maupun alkohol rantai panjang seperti setil alkohol. Komposisi penyusun ini akan menghasilkan molekul lipid dengan kategori lemak/minyak atau lilin. Pembentukan fosfolipid, merupakan diversifikasi dari penggabungan molekul gliserol dengan asam lemak dimana salah satu gugus hidroksil dari gliserol akan berikatan dengan

gugus fosfat. Berbeda dengan ketiga jenis lipid yang lainnya seperti lemak, minyak dan fosfolipid; meolekul steroid tidak terbentuk dari gabungan dua senyawa. Senyawa steroid terdiri dari senyawa karbon berbentuk siklik dengan jumlah karbon sebanyak 17 buah. Struktur inti steroid biasanya terdiri dari tujuh belas atom karbon, terikat dalam empat cincin "menyatu": tiga cincin sikloheksana beranggota enam (cincin A, B dan C dalam ilustrasi pertama) dan satu cincin siklopentana beranggota lima (cincin D). Ikatan yang terbentuk pada molekul lemak/minyak, fosfolipid dan lilin adalah ikatan ester.





Gambar 1.9 Contoh Molekul Lipid

Sifat-Sifat Kimia Umum Dari Senyawa Makromolekul

Senyawa makromolekul merupakan senyawa yang memiliki berat molekul yang sangat besar yang membuat kelarutan senyawa tersebut di dalam air sangatlah rendah. Dengan banyaknya atom karbon dalam suatu senyawa makromolekul membuat polaritas yang ada pada senyawa tersebut menjadi hilang sehingga membuatnya sulit larut di dalam air. Ketidaklarutan senyawa makromolekul dalam media air menjadikan suatu karakteristik unik dari senyawa makromolekul tersebut yaitu dengan adanya pembentukan koloid. Selain itu, karena senyawa makromolekul pada umumnya terbentuk dari gabungan dua molekul senyawa baik dalam bentuk monomer atau tidak, membuat masing-masing dari senyawa makromolekul terikat dengan suatu ikatan yang spesifik. Ikatan yang ada pada suatu senyawa makromolekul ini dapat dipecah melalui reaksi yang dinamakan dengan reaksi hidrolisis. Selain reaksi hidrolisis, ada beberapa reaksi yang spesifik dapat terjadi pada suatu makromolekul, reaksi-reaksi tersebut antara lain: reaksi gelatinisasi pada karbohidrat, reaksi denaturasi pada protein, pembentukan muatan ion pada protein, reaksi oksidasi pada lemak/minyak, reaksi isomerisasi pada lemak/minyak.

C. RANGKUMAN

Karbohidrat adalah sekelompok makromolekul yang merupakan sumber energi vital bagi sel makhluk hidup, memberikan fungsi pembentukan struktural bagi banyak organisme, dan dapat ditemukan di

permukaan sel sebagai reseptor atau untuk pengenalan sel. Karbohidrat diklasifikasikan sebagai monosakarida, disakarida, dan polisakarida, tergantung pada jumlah monomer dalam molekul. Lipid adalah kelas makromolekul yang bersifat nonpolar dan hidrofobik. Jenis utama termasuk lemak dan minyak, lilin, fosfolipid, dan steroid. Lemak dan minyak adalah bentuk energi yang tersimpan dan dapat mencakup trigliserida. Lemak dan minyak biasanya terdiri dari asam lemak dan gliserol. Protein adalah kelas makromolekul yang dapat melakukan beragam fungsi untuk sel. Mereka membantu dalam metabolisme dengan memberikan dukungan struktural dan dengan bertindak sebagai enzim, pembawa atau sebagai hormon. Bahan penyusun protein adalah asam amino. Protein diatur dalam empat tingkatan: primer, sekunder, tersier, dan kuaterner. Bentuk dan fungsi protein terkait erat, setiap perubahan bentuk yang disebabkan oleh perubahan suhu, pH, atau paparan bahan kimia dapat menyebabkan denaturasi protein dan hilangnya fungsi dari senyawa protein tersebut. Asam nukleat adalah molekul yang terdiri dari unit berulang nukleotida yang mengarahkan aktivitas seluler seperti pembelahan sel dan sintesis protein. Setiap nukleotida terdiri dari gula pentosa, basa nitrogen, dan gugus fosfat. Ada dua jenis asam nukleat: DNA dan RNA.

D. TUGAS

1. Tulislah molekul monosakarida, disakarida, oligosakarida dan polisakarida yang saudara ketahui. Masing-masing 5 buah!
2. Jelaskan isomerisasi pada molekul monosakarida!
3. Jelaskan perbedaan mendasar antara pati (amilosa) dengan selulosa!
4. Tulislah 4 gugus penyusun suatu molekul asam amino!
5. Tulislah 20 jenis asam amino dan karakterisasilah masing-masing gugus -R dari masing-masing asam amino tersebut!
6. Jelaskan perbedaan struktur primer dan sekunder dari suatu molekul protein!
7. Jelaskan perbedaan lemak dan minyak!
8. Jelaskan beda asam lemak jenuh dan tidak jenuh!
9. Jelaskan perbedaan mendasar dari DNA dan RNA
10. Tulislah jenis-jenis basa nitrogen penyusun suatu nukleotida

E. REFERENSI

1. Greaves, Ronda & Jevalikar, Ganesh & Hewitt, Jacqueline & Zacharin, Margaret. (2014). A guide to understanding the steroid pathway: New insights and diagnostic implications. *Clinical Biochemistry*. 10.1016/j.clinbiochem.2014.07.017.
2. Molnar, C. and Gair, J., 2015. *Concepts of Biology-1st Canadian Edition*. 1st ed. [ebook] OpenStax College. Available at: <<https://opentextbc.ca/biology/>> [Accessed 4 May 2022].
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sucrose>
4. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maltose_Haworth.svg
5. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A_Microbiology_\(Kaiser\)/Unit_7%3A_Microbial_Genetics_and_Microbial_Metabolism/19%3A_Review_of_Molecular_Genetics/19.1%3A_Polypeptides_and_Proteins](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A_Microbiology_(Kaiser)/Unit_7%3A_Microbial_Genetics_and_Microbial_Metabolism/19%3A_Review_of_Molecular_Genetics/19.1%3A_Polypeptides_and_Proteins)
6. <https://orbitbiotech.com/structure-of-rna-rna-mrna-trna-rrna-srna-hnrna-rna-pol/>
7. [https://chem.libretexts.org/Courses/Sacramento_City_College/SCC%3A_Chem_309_-_General_Organic_and_Biochemistry_\(Bennett\)/Text/13%3A_Functional_Group_Reactions/13.10%3A_Phosphoester_Formation](https://chem.libretexts.org/Courses/Sacramento_City_College/SCC%3A_Chem_309_-_General_Organic_and_Biochemistry_(Bennett)/Text/13%3A_Functional_Group_Reactions/13.10%3A_Phosphoester_Formation)
8. https://lipidmaps.org/resources/lipidweb/lipidweb_html/lipids/simple/waxes/index.htm
9. https://media.lanec.edu/users/rathaketten/archivedoldfiles/225Lectures_2009/05A/L5Apage2.html

F. GLOSARIUM

Makromolekul	: Senyawa biomolekul yang memiliki berat molekul lebih besar dari 1000 dalton
Polimer	: Molekul yang terbentuk dari gabungan dari monomer-monomer
Monomer	: Molekul yang paling sederhana dari suatu molekul polimer
Asam amino	: Monomer dari makromolekul protein

Monosakarida	: Monomer dari molekul disakarida, oligosakarida dan polisakarida.
Lemak	: Kelompok makromolekul yang terbentuk dari 1 molekul gliserol dan tiga asam lemak jenuh.
Asam lemak tidak jenuh	: Asam lemak yang memiliki satu atau lebih ikatan rangkap.
Ikatan glikosida	: Ikatan yang terbentuk akibat penggabungan molekul monosakarida dengan molekul lainnya.
Ikatan ester	: Ikatan yang terbentuk dari penggabungan molekul alkohol dan asam karboksilat.
Lipid	: Kelompok senyawa makromolekul yang memiliki sifat tidak larut air.

G. INDEKS

Asam Amino 4,8,9,10,11

Asam Nukleat 5,11

DNA 5,11

Enzim 4

Gugus Amino 4,9

Gugus Karboksil 4,9,10

Karbohidrat 2,6

Lipid 2,12,14

Polimer 1,2,4,11,12

Polisakarida 7,8

Protein 3,4,8

RNA 5,11

Sakarida 7,8

BAB II
IDENTIFIKASI KARBOHIDRAT, LIPID, PROTEIN,
DAN ASAM AMINO
Drs. Mhd. Yusuf Nasution, M.Si.

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu memahami Klasifikasi dan Struktur Karbohidrat
2. Mampu memahami Fungsi dan Peranan Karbohidrat dalam organisme hidup
3. Mampu memahami Sumber-Sumber Karbohidrat
4. Mampu memahami Reaksi Identifikasi karbohidrat

B. MATERI

1. Karbohidrat

Identifikasi Karbohidrat

Karbohidrat merupakan salah satu zat gizi yang diperlukan oleh manusia yang berfungsi untuk menghasilkan energi bagi tubuh manusia. Karbohidrat sebagai zat gizi merupakan nama kelompok zat-zat organik yang mempunyai struktur molekul yang berbeda-beda, meski terdapat persamaan-persamaan dari sudut kimia dan fungsinya. Semua karbohidrat terdiri atas unsur Carbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) (Siregar, 2014).

Karbohidrat yang penting dalam ilmu gizi dibagi menjadi dua golongan yaitu karbohidrat sederhana dan karbohidrat kompleks. Karbohidrat sederhana terdiri atas monosakarida yang merupakan molekul dasar dari karbohidrat, disakarida yang terbentuk dari dua monosa yang dapat saling terikat, dan oligosakarida yaitu gula rantai pendek yang dibentuk oleh galaktosa, glukosa dan fruktosa. Karbohidrat kompleks terdiri atas polisakarida yang terdiri atas lebih dari dua ikatan monosakarida dan serat yang dinamakan juga polisakarida nonpati.

Karbohidrat selain berfungsi untuk menghasilkan energi, juga mempunyai fungsi yang lain bagi tubuh. Fungsi lain karbohidrat yaitu pemberi rasa manis pada makanan, penghemat protein, pengatur metabolisme lemak, membantu pengeluaran feses.

Peranan karbohidrat bagi Organisme Hidup:

1. Sumber energi utama
2. Pengendali berat badan
3. Pencegah berbagai penyakit
4. Penentu indeks glikemik
5. untuk mencegah tumbuhnya ketosis,
6. pemecahan tubuh protein yang berlebihan
7. kehilangan mineral
8. berguna untuk membantu metabolisme lemak dan protein

Hal hal yang dapat berdampak pada tubuh bila kekurangan asupan karbohidrat yaitu:

1. Sulit dalam menurunkan berat badan

Dalam satu gram karbohidrat, terdapat 4 kalori. Jadi, semakin banyak karbohidrat yang Anda makan akan banyak kalori yang masuk dan akan membuat berat badan meningkat. Kebiasaan tersebut lantas membuat berat badan melonjak, apalagi jika tak diimbangi dengan aktivitas fisik. Karbohidrat yang seharusnya diubah menjadi energi justru terkumpul, menumpuk, dan akhirnya disimpan sebagai lemak cadangan oleh tubuh. Hal ini tentu membuat program menurunkan berat badan akan semakin sulit.

2. Kadar kolesterol semakin meningkat

Seorang ahli gizi mengatakan bahwa efek yang paling jelas dari makan terlalu banyak karbohidrat adalah kolesterol. Makan terlalu banyak karbohidrat sederhana dan karbohidrat olahan hingga lebih dari 60 persen total kalori harian, berpotensi meningkatkan kolesterol jahat dan menurunkan kolesterol baik.

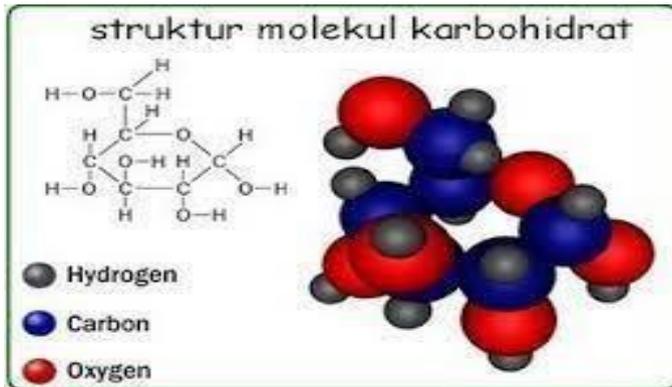
3. Rentan terkena diabetes mellitus tipe 2

Orang yang kelebihan karbohidrat, berpotensi mengalami peningkatan berat badan lebih mudah. Berat badan yang melonjak drastis akan mengganggu kerja hormon insulin.

Insulin adalah hormon yang mengubah gula dalam darah menjadi energi untuk sel-sel di dalam tubuh. Ketika kerja insulin menurun, maka kemampuan insulin menyimpan gula (bentuk sederhana dari karbohidrat) dalam sel berkurang. Akibatnya gula menumpuk di darah, inilah yang membuat orang semakin besar risikonya mengalami diabetes.

Klasifikasi dan Struktur Karbohidrat

Karbohidrat atau gula adalah suatu molekul yang tersusun dari unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Karbohidrat memiliki rumus empiris $(CH_2O)_n$.



Gambar 2.1 Struktur Molekul Karbohidrat

Secara garis besar, karbohidrat terbagi menjadi dua jenis berdasarkan nilai gizinya, yaitu karbohidrat sederhana serta karbohidrat kompleks.

1. Karbohidrat sederhana terdiri dari jenis gula sederhana seperti glukosa, fruktosa, sukrosa serta laktosa.
2. Karbohidrat kompleks terbuat dari rantai panjang dan gabungan beberapa gulasederhana.

Namun apabila ditinjau dengan berdasarkan gugus gula penyusunnya, karbohidrat inidibedakan menjadi tiga jenis, diantaranya monosakarida, disakarida serta polisakarida.

Fungsi dan peranan Karbohidrat

Fungsi utama karbohidrat adalah sebagai penghasil energi, di dalam hati digunakan sebagai detoksifikasi, disamping itu dapat juga membantu dalam metabolisme lemak dan protein (Suhardjo, 1990). Dikutip dari (Ariyadi & Anggraini, 2010). Peranan Karbohidrat dalam kehidupan Sumber energi utama, Pengendali berat badan, pencegah berbagai penyakit, Penentu indeks glikemik, untuk mencegah tumbuhnya ketosis, pemecahan tubuh protein yang berlebihan.

Sumber-Sumber Karbohidrat

a. Beras Merah

Kandungan tinggi seratnya yang membuat nasi merah dianggap sebagai sumber karbohidrat yang baik dan sehat. Nasi merah juga mengandung magnesium, zat besi, vitamin B, vitamin B2, vitamin B3 dan vitamin B6.

b. Kentang Rebus

Kandungan pati pada kentang rebus yang tinggi menyebabkan makanan ini menimbulkan rasa kenyang dan juga menghasilkan kalori yang cukup besar. Oleh karena itu tak heran jika 22anjang22 orang dapat menahan lapar hingga siang hanya dengan sarapan kentang.

c. Ubi Jalar

Ubi jalar adalah sumber karbohidrat yang sehat untuk penderita sakit maag, diabetes, masalah berat badan dan radang sendi. Nutrisi yang terkandung di dalamnya adalah serat, mangan, tembaga, 22anjang22s, zat besi, vitamin A, vitamin C dan vitamin B6. Ubi jalar juga kaya akan beta-karoten yang merupakan antoiksidan yang banyak ditemukan pada sayuran berdaun hijau.

d. Sagu

Sagu menjadi makanan pokok bagi penduduk di daerah Maluku atau Papua.

Bentuknya seperti bubuk yang kemudian akan diolah.

e. Biji Gandum

Mengonsumsi gandum utuh membuat perut terasa kenyang lebih lama dan bisa meningkatkan 22anjang22sm, karena tubuh memerlukan banyak tenaga untuk memrosesnya. Bijirin gandum bisa dikonsumsi dalam bentuk barley, beras merah dan beras coklat.

f. Jagung

Jagung memiliki kandungan asam folat dan serat yang baik untuk tubuh. Pada daerah-daerah tertentu, jagung dibuat menjadi nasi jagung.

g. Kacang-kacangan

Kacang-kacangan seperti kacang merah, kacang hijau, buncis, kacang 22anjang, kedelai dan polong mengenyangkan perut dengan segera, tapi bisa bertahan dalam waktu lama. Kacang dan polong kaya akan folic acid, serat, vitamin, protein juga karbohidrat kompleks.

Reaksi Identifikasi Karbohidrat

Adapun beberapa uji atau tes yang dapat dilakukan untuk membuktikan adanya karbohidrat yaitu:

1. Tes Molisch
2. Test Selliwanof
3. Test Benedict
4. Test Barfoed
5. Test Fehling
6. Test Iodium
7. Test Hidrolis

C. RANGKUMAN

1. Karbohidrat yaitu senyawa 23ydroge terdiri dari unsur karbon, 23ydrongen, dan oksigen. Terdiri atas unsur C, H, O dengan perbandingan 1 atom C, 2 atom H, 1 atom O.
2. Klasifikasi karbohidrat terbagi atas monosakarida, disakarida, oligosakarida dan polisakarida
3. Beberapa Fungsi dan peranan kabohidrat pada organisme yaitu, Sumber energi utama, Pengendali berat badan, pencegah berbagai penyakit, Penentu indeks glikemik, untuk mencegah tumbuhnya ketosis, pemecahan tubuh protein yang berlebihan, kehilangan mineral, dan berguna untuk membantu metabolisme lemak dan protein
4. Beberapa jenis makanan sebagai sumber karbohidrat misalnya jagung, singkongg dan ubi jalar, kentang rebus, beras merah, sagu, roti gandum utuh, kacang polong dan kacang-kacangn lainnya.
Beberapa uji atau tes yang dapat dilakukan untuk membuktikan adanya karbohidratyaitu: Tes molisch, Test selliwanof, Test Benedict, Test Barfoed, Test Fehling, Test iodium, dan Test hidrolisis

D. TUGAS

1. Mengapa karbohidrat lebih cepat dicerna dibandingkan protein? Senyawa apa yang dapat membedakannya dan apa penyebab senyawa di karbohidrat lebih cepat dicerna tubuh ?

2. Apa yang akan terjadi jika tubuh kita mengonsumsi karbohidrat yang berlebihan ataupun kekurangan ?

E. REFERENSI

- Ariyadi, T., & Anggraini, H. (2010). Penetapan Kadar Karbohidrat Pada Nasi Aking Yang Dikonsumsi Masyarakat Desa Singorojo Kabupaten Kendal. *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, 18, 2–4.
- Sari Nurhamida, 2014. *KARBOHIDRAT*. Staf Edukatif Fakultas Ilmu Keolahragaan UNIMED, Medan, Indonesia.
- Siregar, N. S. (2014). Karbohidrat. *Jurnal Ilmu Keolahragaan*, 13(2), 38–44. <https://pendidikan.co.id/pengertian-karbohidrat/>
- Meriana Tamba, Ance dan Christin H. 2022. Karbohidrat. Power Point Kelompok 2PSPB 20 A. Universitas Negeri Medan.
- Murray, R, K. 2003. Biokimia Harper. Jakarta. Buku kedokteran
- Robert S, Harni Endakarmas, Evaluasi Gizi pada Pengolahan Bahan Pangan, ITB Bandung, 1989
- Thenawijaya, M. 1990. Dasar dasar biokimia. Jakarta: Jilid 1. Erlangga
- Thenawijaya, M. 1990. Dasar dasar biokimia. Jakarta: Jilid 2. Erlangga
- Thenawijaya, M. 1990. Dasar dasar biokimia. Jakarta: Jilid 3. Erlangga
- Utama, H. 2006. Biokimia dasar. Jakarta : Balai penerbit FKUI
- Martoharsono, S. Biokimia. Jilid 1 Gadjah Mada University. 2000.
- Wahyuni Sri, 2017. *BIOKIMIA Enzim dan Karbohidrat*. UNIMAL PRESS, Kampus Bukit Indah Lhokseumawe, Indonesia.

BAB III
METABOLISME KARBOHIDRAT, LIPID,
PROTEIN, ASAM NUKLEAT
Krisman Umbu Henggu, S.Pi., M.Si.

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu memahami Klasifikasi dan Struktur Lipid
2. Mampu memahami Fungsi dan Peranan Lipid dalam organisme hidup
3. Mampu memahami Sumber-Sumber Lipid
4. Mampu Memahami Klasifikasi Lipid beserta contohnya
5. Mampu memahami Reaksi Identifikasi Lipid

B. MATERI

1. Lipid

Lipid adalah senyawa biologik yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari gugus non polar, artinya lemak larut dalam pelarut non polar dan relatif tidak larut dalam air. Lemak dapat diekstraksi dari materi hidup dengan menggunakan pelarut non polar seperti petroleum eter, etil eter, benzena dan kloroform menjadi fraksi lemak yang terdiri dari minyak/lemak (edible fat/oil), malam (wax), fosfolipidi, sterol, hidrokarbon dan pigmen. Komponen-komponen fraksi lemak tersebut dapat dibedakan dengan menggunakan NaOH Lemak/minyak, malam dan fosfolipidi dapat disabunkan dengan NaOH, sedangkan sterol, hidrokarbon dan pigmen adalah fraksi yang tidak tersabunkan.

Hampir semua bahan pangan banyak mengandung lemak, terutama bahan pangan yang berasal dari hewan. Lemak dalam jaringan hewan terdapat pada jaringan adiposa. Dalam tanaman lemak di sintesa dari satu molekul gliserol dengan tiga molekul asam lemak yang terbentuk dari kelanjutan oksidasi karbohidrat dalam proses respirasi.

Klasifikasi dan Struktur Lipid

Lemak dapat diklasifikasi dengan dua golongan, berbagai yaitu cara. lemak Berdasarkan hewani dan sumbernya lemak digolongkan menjadi lemak nabati. Lemak hewani mengandung banyak sterol yang disebut kolesterol, sedangkan lemak nabati mengandung fitosterol dan lebih banyak mengandung asam lemak tak jenuh, sehingga umumnya berbentuk

cair.

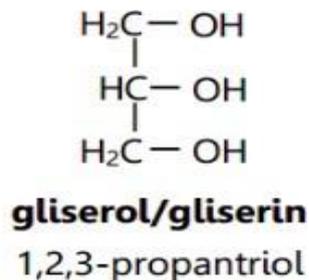
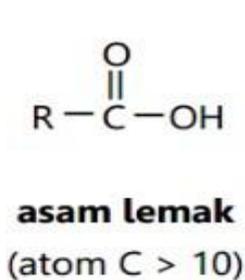
Berdasarkan konsistensinya, lemak dapat digolongkan menjadi lemak padat (gajih) dan lemak cair (minyak). Lemak padat biasanya berasal dari hewan darat seperti lemak susu, lemak babi, lemak sapi. Lemak padat yang berasal dari lemak nabati, misalnya minyak coklat dan bagian "stearin" dari minyak kelapa sawit. Lemak cair yang berasal dari hewan laut, misalnya minyak ikan paus, minyak ikan cod, minyak ikan hering. Lemak cair dari lemak nabati dapat pula dibedakan atas tiga golongan, yaitu : a) drying oil, akan membentuk lapisan keras bila mengering di udara, misalnya minyak yang dapat digunakan untuk cat dan pernis; b) semi drying oil, misalnya minyak jagung, minyak biji bunga matahari; dan c) non drying oil, misalnya minyak kelapa dan minyak kacang tanah.

Berdasarkan wujudnya lemak digolongkan menjadi lemak tersembunyi (invisible fat), misalnya lemak yang terkandung pada bahan pangan seperti daging, ikan telur, susu, alpokat, kacang tanah dan beberapa jenis sayuran. Sedangkan lemak yang telah diekstraksi dari hewan atau tumbuhan dan dimurnikan dikenal sebagai lemakkasat mata (visible fat).

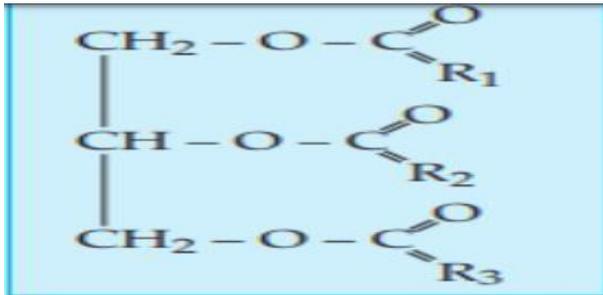
Berdasarkan struktur kimianya, lemak dapat digolongkan sebagai: 1) lemak tunggal seperti lemak dan minyak, lilin, ester sterol; 2) Lemak majemuk

Struktur Lipid

1. Berdasarkan Struktur Kimia: Berdasarkan struktur kimianya, lipid adalah ester gliserida dengan jumlah atom lebih dari 10 yang terbentuk dari reaksi esterifikasi antara asam lemak dan gliserol. Selain itu ester gliserida membentuk lemak dan minyak. Struktur asam lemak dan gliserol pada senyawa lipid adalah sebagai berikut :



2. Berdasarkan struktur trigliserida, lipid dibagi menjadi dua jenis yaitu lemak dan minyak. Lemak dan minyak tergolong senyawa trigliserida atau triasilgliserol yang berarti senyawa yang memiliki 3 gliserol. Tiga OH dari gliserol ini dapat diubah dengan sejenis sisa asam atau berbagai jenis sisa asam. Rumus struktur dari lemak atau minyak adalah sebagai berikut:



Fungsi dan Peranan Lipid

Secara umum dapat dikatakan bahwa lemak memenuhi fungsi dasar bagi manusia, yaitu: Menjadi cadangan energi dalam bentuk sel lemak. 1 gram lemak menghasilkan 39.06 kjoule atau 9,3 kcal.

1. Lemak mempunyai fungsi selular dan komponen struktural pada membran sel yang berkaitan dengan karbohidrat dan protein demi menjalankan aliran air, ion dan molekul lain, keluar dan masuk ke dalam sel.
2. Menopang fungsi senyawa organik sebagai penghantar sinyal, seperti pada prostaglandin dan steroid hormon dan kelenjar empedu, Menjadi suspensi bagi vitamin A, D, E dan K yang berguna untuk proses biologis
3. Berfungsi sebagai penahan goncangan demi melindungi organ vital dan melindungi tubuh dari suhu luar yang kurang bersahabat.
4. Lemak juga merupakan sarana sirkulasi energi di dalam tubuh dan komponen utama yang membentuk membran semua jenis sel.
5. Komponen struktur membran. Semua membran sel termasuk mielin mengandung lapisan lipid ganda. Fungsi membran diantaranya adalah sebagai barier permeabel
6. Lapisan pelindung pada beberapa jasad. Fungsi membran yang sebagian besar mengandung lipid seperti barier permeabel untuk

mencegah infeksi dan kehilangan atau penambahan air yang berlebihan. Bentuk energi cadangan, sebagai fungsi utama triasilgliserol yang ditemukan dalam jaringan adiposa.

7. Kofaktor/prekursor enzim berfungsi untuk aktivitas enzim seperti fosfolipid dalam darah, koenzim A, dan sebagainya.
8. Hormon dan vitamin, prostaglandin dimana asam arakidonat adalah prekursor untuk biosintesis prostaglandin, hormon steroid, dan lain-lain.
9. Insulasi Barrier, untuk menghindari panas, tekanan listrik dan fisik.

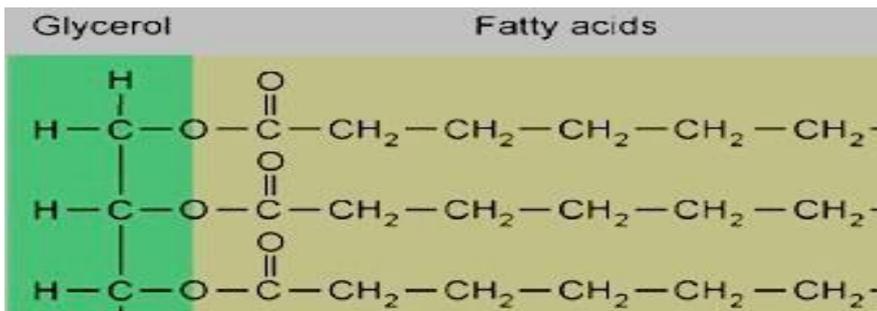
Sumber-Sumber Lipid

Lipid atau lemak berasal dari hewan maupun tumbuhan, jika pada hewan namanya adalah lemak hewani, sedangkan jika bersumber dari makanan disebut lemak nabati.

Contoh lemak hewani yaitu, lemak pada ayam, sapi, telur dan ikan. Contoh lemak nabati yaitu, alpukat, kacang-kacangan, dan minyak kelapa.

Klasifikasi Lipid beserta contohnya

A. Asam Lemak



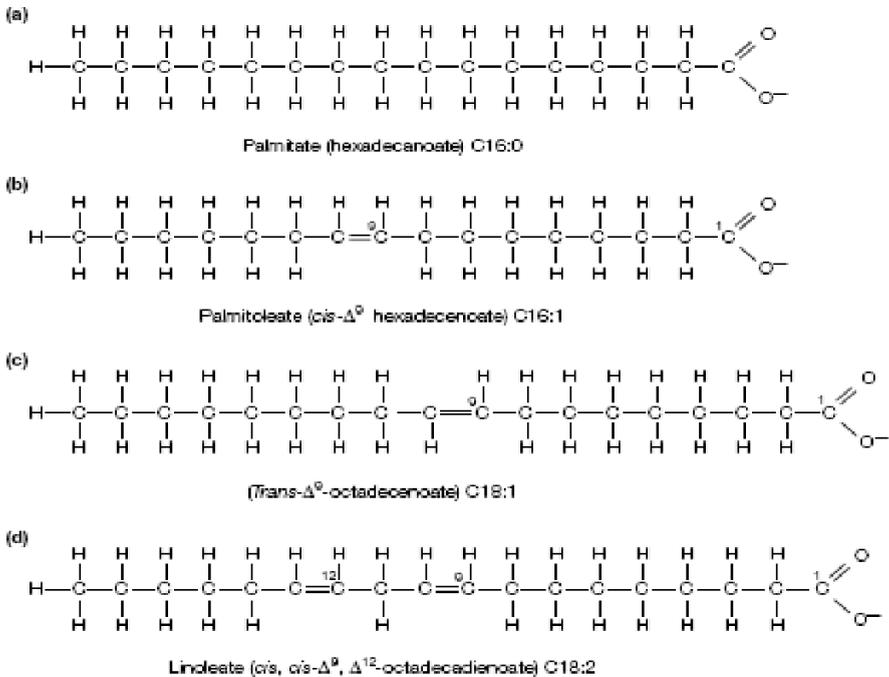
Asam lemak merupakan asam monokarboksilat rantai panjang. Adapun rumus umum dari asam lemak adalah:



Ini adalah konstituen mendefinisikan lipid dan adalah sebagian besar bertanggung jawab untuk sifat fisik dan metabolik yang khas. Mereka

juga penting dalam bentuk bebas Crocetin. Dalam tubuh ini dilepaskan dari triasilgliserol selama puasa untuk menyediakan sumber energi. Linoleic dan linolenic asam adalah asam lemak esensial, dalam bahwa mereka tidak dapat disintesis oleh hewan dan harus datang dari tanaman melalui diet. Mereka adalah prekursor arachidonic, eicosapentaenoic dan docosahexaenoic asam, yang merupakan komponen penting dari semua membran lipid. Ada dua macam asam lemak yaitu:

Asam Lemak Jenuh



Asam lemak jenuh merupakan asam lemak yang mengandung ikatan tunggal pada rantai hidrokarbonnya. Asam lemak jenuh mempunyai rantai zig-zig yang dapat cocok satu sama lain, sehingga gaya tarik vanderwalls tinggi, sehingga biasanya berwujud padat.

Asam lemak tak jenuh

Tabel 4.1 Asam Lemak Jenuh

Nama	Karbon Skeleton	Keterangan
Asam asetat	2:0	Hasil akhir produk mayor fermentasi karbohidrat organisme rumen dan cecum herbivora
Asam propionat	3:0	Salah satu hasil akhir produk fermentasi karbohidrat organisme rumen dan cecum herbivora
Asam butirat	4:0	Jenis lemak pada butter. Salah satu hasil 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 stearat (asam n-oktadekanoat)	18:0	
Asam arachidat (asam n-eikosoat)	20:0	Asam lemak pada minyak kacang tanah

Asam lemak tak jenuh merupakan asam lemak yang mengandung satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya . asam lemak dengan lebih dari satu ikatan dua tidak lazim,terutama terdapat pada minyak nabati,minyak ini disebut poliunsaturat. Trigliserida tak jenuh ganda (poliunsaturat) cenderung berbentuk minyak.

B. Gliserida

Gliserida netral (lemak netral)

Gliserida netral adalah ester antara asam lemak dengan gliserol. Fungsi dasar dari gliserida netral adalah sebagai simpanan energi (berupa lemak atau minyak). Setiap gliserol mungkin berikatan dengan 1, 2 atau 3 asam lemak yang tidak harus sama. Jika gliserol berikatan dengan 1 asam lemak disebut monogliserida, jika berikatan dengan 2 asam lemak disebut digliserida dan jika berikatan dengan 3 asam lemak dinamakan trigliserida. Trigliserida merupakan cadangan energi penting dari sumber lipid.

Fosfolgliserida (fosfolipid)

Lipid dapat mengandung gugus fosfat. Lemak termodifikasi ketika fosfat mengganti salah satu rantai asam lemak. Penggunaan fosfolgliserida adalah sebagai komponen penyusun membran sel dan sebagai agen emulsi. Fosfolipid bilayer (lapisan ganda) sebagai penyusun membran sel.

C. Non Gliserida

Lipid jenis ini tidak mengandung gliserol. Jadi asam lemak bergabung dengan molekul- molekul non gliserol. Yang termasuk ke dalam jenis ini

adalah sfingolipid, steroid, kolesterol, steroid, androgen, estrogen.

i. Sfingolipid

Sfingolipid adalah fosfolipid yang tidak diturunkan dari lemak. Penggunaan primer dari sfingolipid adalah sebagai penyusun selubung mielin serabut saraf. Pada manusia, 25% dari lipid merupakan sfingolipid.

ii. Kolesterol

Selain fosfolipid, kolesterol merupakan jenis lipid yang menyusun membran plasma. Kolesterol juga menjadi bagian dari beberapa hormon. Kolesterol berhubungan dengan pengerasan arteri. Dalam hal ini timbul plaque pada dinding arteri, yang mengakibatkan peningkatan tekanan darah karena arteri menyempit, penurunan kemampuan untuk meregang. Pembentukan gumpalan dapat menyebabkan infark miokard dan stroke.

iii. Steroid

Beberapa hormon reproduktif merupakan steroid, misalnya androgen dan estrogen. Steroid lainnya adalah kortison. Hormon ini berhubungan dengan proses metabolisme karbohidrat, penanganan penyakit arthritis rematoid, asthma, gangguan pencernaan dan sebagainya.

iv. Androgen

Androgen adalah istilah generik untuk senyawa alami atau sintesis, biasanya hormon steroid, yang merangsang atau mengendalikan pembangunan dan pemeliharaan karakteristik maskulin vertebrates untuk mengikat ke androgen receptors. Ini termasuk aktivitas dari aksesori organ sek laki-laki dan perkembangan karakteristik seks sekunder.

v. Estrogen

Estrogen (atau oestrogen) adalah sekelompok senyawa steroid yang berfungsi terutama sebagai hormon seks wanita. Walaupun terdapat baik dalam tubuh pria maupun wanita, kandungannya jauh lebih tinggi dalam tubuh wanita usia subur.

D. Lipid Kompleks

Lipoprotein

Lipid tidak larut dalam air, dan agar lipid dapat diangkut dalam aliran darah, lipid harus berkaitan dengan protein untuk membentuk ikatan makromolekul yang disebut lipoprotein. Kompleks LPP dalam darah disebut sebagai Partikel lipoprotein yang berfungsi sebagai alat pengangkut lipid dalam darah. Senyawa yang termasuk lipid adalah kolesterol (Kol), kolesterol ester (Kole), fosfolipid (FL), trigliserid, dan asam lemak. Semua lipid plasma pada manusia diangkut dalam darah sebagai LPP, kecuali asam lemak dalam darah yang terutama terikat dengan albumin.

Adapun Jenis-Jenis Lipoprotein:

Kilomikron.

Kilomikron (chylomicron) merupakan lipoprotein densitas rendah paling banyak berisi TG yang berasal dari makanan (lemak eksogen) (Tabel 32-1). Kilomikron yang dihasilkan dalam usus, masuk ke sirkulasi sistemik melalui saluran limfatik; trigliseridnya dihidrolisis oleh lipoprotein lipase, suatu enzim yang berlokasi di permukaan endotel pembuluh darah kapiler.

Lipoprotein Densitas-Sangat Rendah (VLDL).

VLDL adalah golongan lipoprotein densitas terendah kedua dan sinonim dengan pre- beta-lipoprotein. VLDL terutama berasal dari hepar dan memiliki fungsi untuk mentranspor trigliserid yang dibuat dalam jaringan.

Lipoprotein Densitas-Rendah (LDL).

Kolesterol LDL merupakan alat transport kolesterol yang utama yang menyangkut sekitar 70-80% kolesterol total dari hepar ke jaringan perifer. Kolesterol LDL menahan kolesterol dan apoprotein B-100 yang umumnya berasal dari dalam VLDL sehingga LDL ini kaya akan kolesterol dan apoprotein B-100.

Lipoprotein Densitas Tinggi (HDL).

HDL berfungsi sebagai pembawa kolesterol dari jaringan perifer ke hati untuk metabolisme (katabolisme) yang selanjutnya dikeluarkan dari tubuh. Kadar HDL yang sangat tinggi (sampai 95%) berkorelasi positif dengan lamanya masa hidup.

E. Glikolipid

Glikolipid ialah molekul molekul lipid yang mengandung karbohidrat, biasanya pula sederhana seperti galaktosa atau glukosa. Akan tetapi istilah istilah glikolipid biasanya dipakai untuk lipid yang mengandung satuan gula tetapi tidak mengandung fosfor. Glikolipid dapat diturunkan dari gliserol atau pingosine dan sering dimakan gliserida atau sebagai spingolipida.

Reaksi Identifikasi Lipid

Reaksi Identifikasi Lipida

Ada tiga jenis reaksi kimia yang terjadi pada lipid yaitu Reaksi pembentukan (hidrolisis), Reaksi saponifikasi (penyabunan), dan Reaksi hidrogenasi.

I. Reaksi Pembentukan (Hidrolisis)

Reaksi pembentukan - hidrolisis adalah dua reaksi yang saling berkebalikan.

II. Reaksi Saponifikasi / Penyambunan

Reaksi saponifikasi/penyabunan adalah campuran lemak dan basa kuat yang menghasilkan sabun (garam lemak) dengan gliserol.

III. Reaksi Hidrogenasi

Reaksi hidrogenasi adalah reaksi penjenuhan lemak yang mengubah wujud lemak menjadi bentuk padat.

C. RANGKUMAN

1. Secara umum dapat dikatakan bahwa lemak memenuhi fungsi dasar bagi manusia, yaitu: Menjadi cadangan energi dalam bentuk sel lemak, sebagai fungsi selular dan komponen struktural pada membran sel yang berkaitan dengan karbohidrat dan protein demi menjalankan aliran air, ion dan molekul lain, keluar dan masuk ke dalam sel, menopang fungsi senyawa organik sebagai penghantar sinyal, menjadi suspensi bagi vitamin A, D, E dan K yang berguna untuk proses biologis, sebagai penahan guncangan demi melindungi organ vital dan melindungi tubuh dari suhu luar yang kurang bersahabat.
2. Klasifikasi Lipid menurut Bloor, terbagi dua. Pertama yaitu Lipid sederhana yang terdiri atas Lipid netral (berfungsi sebagai simpanan energi), Lilin (sering digunakan sebagai lapisan pelindung untuk kulit dan rambut). Kedua yaitu Lipid majemuk terdiri atas fosfolipid(

berfungsi membentuk kerangka sel otak), Asam Lemak (sebagai penyusun lemak tubuh), Kolesterol (sebagai komponen utama selaput sel otak dan saraf).

3. Klasifikasi Lipid berdasarkan asalnya yaitu lemak nabati (berfungsi menurunkan kadar kolesterol) dan lemak hewani (berfungsi memperlancar proses pencernaan). Klasifikasi Lipid berdasarkan ikatannya yaitu Lemak dan Minyak yang berfungsi sebagai salah satu penyusun dinding sel dan bahan biomolekul. Klasifikasi Lipid berdasarkan kelas darilemak yaitu Asam lemak (berfungsi sebagai zat penyusun lemak tubuh), Gliserida netral (sebagai simpanan energi), fosfolipid (pengemulsian lipid di dalam saluran pencernaan), Sfingolipid (sebagai penyusun selubung mielin serabut saraf), Steroid (berfungsi sebagai hormone).

D. TUGAS

1. Jelaskan pembagian asam lemak berdasarkan jumlah atom C yang dimiliki. Sebutkansedikitnya masing-masing 3 contoh!
2. Jelaskan klasifikasi lemak berdasarkan konsistensinya serta sebutkan contohnya!
3. Jelaskan fungsi dan sumber lemak!

E. REFERENSI

Chang, Raymond. 2005.*Kimia Dasar (Konsep-Konsep Inti)*.Jakarta: Erlangg. Hal.295

Mamuaja, Christine.2017.*Lipida*.Manado: Unsrat Press Netty

Ino,dkk.2017.*Biokimia Dasar*.Gorontalo: UNG Press

Wahjuni, Sri.2013.*Metabolisme Biokimia*.Denpasar: Udayana University Press

BAB IV
FUNGSI MAKROMOLEKUL DALAM TUBUH MANUSIA:
VITAMIN DAN MINERAL

Martina Kurnia Rohmah, S.Si., M.Biomed.

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu memahami jenis-jenis vitamin dan penggolongannya
2. Mampu memahami sifat biokimiawi dari setiap jenis vitamin
3. Mampu memahami sumber vitamin bagi tubuh manusia
4. Mampu memahami peranan vitamin bagi tubuh manusia
5. Mampu memahami metabolisme vitamin di dalam tubuh manusia
6. Mampu memahami defisiensi vitamin bagi tubuh manusia
7. Mampu memahami jenis mineral dan penggolongannya
8. Mampu memahami sifat biokimia masing-masing mineral yang dibutuhkan tubuh manusia
9. Mampu memahami fungsi mineral dalam tubuh manusia

B. PENJELASAN MATERI DENGAN ILUSTRASI DAN CONTOH

1. Vitamin

Pengertian dan Jenis Vitamin

Vitamin berasal dari kata Vita dan amine. Vita berarti esensial untuk kehidupan sedangkan faktor anti beri-beri yang diduga berperan tersebut adalah suatu ikatan amine. Pada tahun 1920, istilah vitamin, diganti menjadi vitamin karena zat-zat anti faktor tidak selalu dalam ikatan amine. Usul perubahan nama dilakukan oleh Drummond. Penemuan vitamin A oleh Mc Collum dan Davis tahun 1913 menandakan era vitamin dalam kesehatan yang kemudian diperoleh dari susunan makanan yang bervariasi

Vitamin merupakan kelompok nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah kecil untuk berbagai fungsi biokimiawi dan yang umumnya tidak disintesis oleh tubuh sehingga harus dipasok dari makanan. Vitamin merupakan sekelompok senyawa heterogen dengan berbagai fungsi metabolik yang harus ada pada makanan dalam jumlah kecil untuk mempertahankan integritas metabolik normal.

Vitamin dibutuhkan dalam makanan dalam jumlah yang berbeda tergantung dan jumlah yang dibutuhkan tubuh dan kesanggupan tubuh

menyerap makanan dan menyimpan dalam tubuh. Untuk setiap zat gizi, terdapat kisaran asupan antara nilai yang jelas inadekuat yang menyebabkan keadaan defisiensi klinis, dan nilai yang jauh melebihi kapasitas metabolic tubuh sehingga timbul gejala-gejala toksisitas. Di antara kedua keadaan ekstrem ini terdapat tingkat asupan yang cukup untuk kesehatan normal dan untuk mempertahankan integritas metabolik. Kondisi defisiensi klinis dan toksisitas ini menyebabkan penyakit spesifik yang hanya dapat diperbaiki dengan pemberian asupan vitamin yang dibutuhkan. Defisiensi vitamin dapat bersifat tunggal maupun multiple (lebih dari satu defisiensi vitamin). Kebutuhan akan nutrien untuk setiap orang tidak sama bahwa jika dihitung berdasarkan ukuran tubuh atau pengeluaran energi. Rentang kebutuhan individual dapat berkisar hingga 25% dari angka rata-rata. Oleh sebab itu, untuk menilai kecukupan diet, perlu dibuat suatu tingkat referensi asupan yang cukup tinggi untuk memastikan bahwa tidak terjadi defisiensi atau resiko toksitas. Setiap jenis kelamin dan usia yang berbeda memiliki kebutuhan asupan vitamin yang berbeda-beda.

Jenis vitamin dapat digolongkan berdasarkan sifat kelarutannya. Berdasarkan kelarutannya, vitamin terbagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. Vitamin yang larut dalam air: Vitamin C, B1, B2, B6, B12, niasin, asam tetrathidrofolat, asam pentotenat, dan biotin.
2. Vitamin yang larut dalam lemak: Vitamin A, D, E, dan K

Vitamin Larut Air

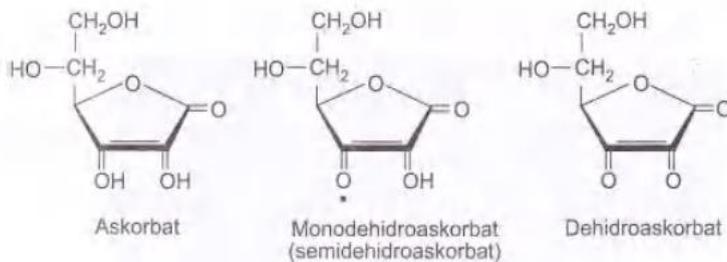
Sebagian besar vitamin larut dalam air merupakan komponen sistem enzim yang banyak terlibat dalam membantu metabolisme energi. Vitamin larut air biasanya tidak disimpan di dalam tubuh dan dikeluarkan melalui urine dalam jumlah kecil. Oleh karena itu vitamin larut air perlu dikonsumsi tiap hari untuk mencegah kekurangan yang dapat mengganggu fungsi tubuh normal. Beberapa Vitamin yang larut dalam air antara lain: Vitamin C, B1, B2, B6, B12, niasin, asam tetrathidrofolat, asam pentotenat, dan biotin.

Vitamin C

Vitamin C adalah Kristal putih yang mudah larut dalam air. Dalam keadaan kering vitamin C cukup stabil, tetapi dalam keadaan larut, vitamin C mudah rusak karena bersentuhan dengan udara (oksidasi) terutama bila terkena panas. Dalam keadaan kering vitamin C cukup stabil, tetapi dalam

keadaan larut vitamin C mudah rusak karena bersentuhan dengan udara (oksidasi) terutama bila terkena panas. Oksidasi dipercepat dengan adanya tembaga dan besi. Vitamin C tidak stabil dalam larutan alkali, tetapi cukup stabil dalam larutan asam. Vitamin C termasuk golongan vitamin yang sangat mudah larut dalam air, sedikit larut dalam alkohol dan gliserol, tetapi tidak dapat larut dalam pelarut non polar seperti eter, benzene, kloroform dan lain-lain. Berbentuk kristal putih, tidak berbau, bersifat asam dan stabil dalam bentuk kering. Karena mudah dioksidasi, maka vitamin C merupakan suatu reduktor yang kuat.

Nama lain dari vitamin C adalah asam askorbat. Vitamin C dapat berbentuk asam askorbat, monodehidroaskorbat, dan dehidroaskorbat. Struktur vitamin C mirip dengan struktur monosakarida, tetapi mengandung gugus enediol. Pada vitamin C terdapat gugus enediol yang berfungsi dalam sistem perpindahan hydrogen yang menunjukkan peranan penting dari vitamin ini. Vitamin C mudah dioksidasi menjadi bentuk dehidro, keduanya secara fisiologis aktif dan ditemukan di dalam tubuh. Vitamin C dapat dioksidasi menjadi asam L-dehidroaskorbat terutama jika terpapar cahaya, pemanasan dan suasana alkalis. Selanjutnya jika, asam L-dehidroaskorbat dioksidasi lebih lanjut akan terbentuk asam 2,3 diketogulonik, lalu dapat menjadi asam oksalat dan 1-asam treonik. Reaksi vitamin C menjadi asam L-dehidroaskorbat bersifat reversible, sedangkan reaksi yang lainnya tidak. Adapun struktur dari vitamin C terdapat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1 Struktur Asam Askorbat, Monodehidroaskorbat, dan Dehidroaskorbat

Vitamin C atau asam askorbat adalah suatu turunan heksosa dan diklasifikasikan sebagai karbohidrat yang erat berkaitan dengan monosakarida. Vitamin C dapat disintesis dari D-glukosa dan D-galaktosa

dalam tumbuh-tumbuhan dan sebagian besar hewan. Vitamin C terdapat dalam 2 bentuk di alam, yaitu: L-asam D-hidro askorbat (bentuk teroksidasi). Oksidasi bolak balik L-asam askorbat menjadi L-asam dehidro askorbat terjadi bila bersentuhan dengan tembaga, panas atau alkali. Kedua bentuk vitamin C aktif secara biologik tetapi bentuk tereduksi adalah yang paling aktif. Oksidasi lebih lanjut L-asam dehidro askorbat menghasilkan asam diketo L-gulonat dan oksalat yang tidak dapat direduksi kembali. Sayang sekali manusia tidak dapat mensintesis vitamin C dalam tubuhnya, karena tidak memiliki enzim L-gulonolakton oksidase. Manusia mutlak memerlukan vitamin C dari luar tubuh untuk memenuhi kebutuhannya

Sumber askorbat terbaik yang diketahui adalah buah-buahan, terutama buah jeruk dan beberapa jenis sayuran. Sering dianjurkan untuk mendapatkan masukan askorbat setiap hari karena askorbat tidak di timbun. Kelebihan askorbat akan dieskresi atau di metabolisme. Baik keuntungan maupun kerugian pemberian vit. C dalam dosis tinggi yang sekarang belum diketahui, kecuali akan mengalami batu oksalat bila mengkonsumsi askorbat dalam dosis tinggi (merupakan hasil metabolisme askorbat). Vitamin ini mempunyai rasa asam, enak untuk di konsumsi sehari-hari, dan fungsinya banyak sekali untuk kesehatan.

Status vitamin C seseorang sangat bergantung dari usia, jenis kelamin, asupan vitamin C harian, kemampuan absorpsi dan ekskresi, serta adanya penyakit tertentu. Kebutuhan harian vitamin C pada setiap usia dan jenis kelamin berbeda beda. Kebutuhan vitamin C untuk usia 0-10 tahun berkisar antara 25-30 mg. Untuk Pria maupun Wanita usia 11-14 tahun membutuhkan vitamin C harian sebesar 35 mg, sedangkan di atas 15 tahun membutuhkan sekitar 40 mg. Pada wanita hamil kebutuhan vitamin C di atas 10 mg sedangkan pada ibu menyusui yaitu lebih dari 30 mg. Pada asupan di atas sekitar 100 mg/hari, kapasitas tubuh untuk memetabolisme vitamin C mengalami kejenuhan, dan asupan yang lebih tinggi akan diekskresikan dalam urine. Walaupun demikian, tambahan aturan lain menyatakan bahwa vitamin C meningkatkan absorpsi besi dan hal ini bergantung pada adanya vitamin dalam usus.

Asam askorbat memiliki peranan khusus dalam hidroksilase yang mengandung tembaga dan hidroksilase yang mengandung besi terkait α -ketoglutarat. Asam ini juga meningkatkan aktivitas beberapa enzim lain secara *in vitro*, walaupun hal ini merupakan aktivitas pengurangan yang

tidak spesifik. Selain itu, asam ini memiliki beberapa efek nonenzim akibat aktivitasnya sebagai agen pereduksi dan penangkal radikal bebas. Banyak bukti dari penelitian yang mendukung fakta bahwa vitamin C memiliki peran penting dalam berbagai mekanisme imunologis. Kadarnya yang tinggi di dalam sel darah putih (10 sampai 80 kali lebih tinggi dari kadar plasma), terutama limfosit, dengan cepat habis selama infeksi. Kondisi tersebut mirip dengan kasus gusi berdarah bila kekurangan vitamin C

Vitamin C memiliki peranan bagi fisiologi tubuh manusia antara lain: Membantu membentuk dan memelihara substansi segmen intraseluler dalam jaringan ikat dalam tubuh, yakni kalogen dan senyawa-senyawa yang memperkuat jaringan, melindungi tubuh terhadap infeksi dan membantu penyembuhan luka, membantu pembentukan sel-sel darah merah dan sumsum tulang, diperlukan untuk pertumbuhan tulang dan gigi. Kualitas struktur gigi tergantung pada status vitamin C pada periode pembentukan gigi, penurunan kadar kolesterol, terlibat dalam mekanisme imunitas dalam rangka daya tahan tubuh terhadap berbagai serangan penyakit dan toksin, memperbaiki sel-sel yang rusak akibat radikal bebas, menghambat penuaan dini, menghambat sel kanker, terutama kanker paru-paru, prostat, payudara, usus besar, empedu dan otak.

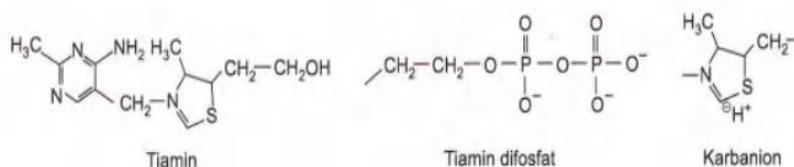
Vitamin C mudah diabsorpsi secara aktif dan mungkin pula secara difusi pada bagian atas usus halus lalu masuk ke peredaran darah melalui vena porta. Rata-rata absorpsi adalah 90% untuk konsumsi diantara 20 dan 120 mg sehari. Konsumsi tinggi sampai 12 gram (sebagai pil) hanya diabsorpsi sebanyak 16%. Vitamin C kemudian dibawa ke semua jaringan. Konsentrasi tertinggi adalah jaringan adrenal, pituitary, dan retina. Tubuh dapat menyimpan hingga 1500 mg vitamin C bila konsumsi mencapai 100 mg sehari. Jumlah ini dapat mencegah terjadinya skorbut selama tiga bulan. Tanda-tanda skorbut akan terjadi bila persediaan tinggal 300 mg. Konsumsi melebihi taraf kejenuhan berbagai jaringan dikeluarkan melalui urine dalam bentuk asam oksalat. Pada konsumsi melebihi 100 mg sehari kelebihan akan dikeluarkan sebagai asam askorbat atau sebagai karbondioksida melalui pernapasan. Walaupun tubuh mengandung sedikit vitamin C, sebagian tetap akan dikeluarkan.

Defisiensi vitamin C dapat menimbulkan beberapa gejala, dari yang ringan sampai berat. Defisiensi ringan ditandai dengan timbulnya kelelahan, anoreksia, nyeri otot dan lebih mudah stress dan infeksi, sedangkan

defisiensi berat menimbulkan penyakit skorbut. Bila pengobatan yang diberikan terlambat dapat menyebabkan kematian. Defisiensi asam askorbat juga menimbulkan sariawan atau skorbut, penyakit yang ditandai dengan ulkus, gusi seperti spons, gigi yang ompong, pembuluh darah yang rapuh, pembengkakan sendi dan anemia. Banyak dari gejala defisiensi ini dapat terjadi akibat defisiensi pada hidroksilasi kolagen yang menyebabkan defek jaringan ikat. Vitamin C sebenarnya merupakan vitamin yang relatif tidak toksik, tetapi pernah dilaporkan asupan 1 gram/hari dapat menimbulkan mual dan diare, tes glukosa darah kurang akurat dan terbentuknya batu ginjal. Konsumsi vitamin C berlebihan dapat menyebabkan *rebound scurvy*, sehingga individu yang telah terbiasa mengkonsumsi dalam jumlah yang banyak, bila hendak menghentikan kebiasaan tersebut harus dilakukan secara bertahap.

Vitamin B1 (Tiamin)

Thiamin mengandung zat sulfur (tio) dan nitrogen (amine). Molekul thiamin terdiri atas cincin pirimidin yang terikat dengan cincin tiasol. Thiamin dalam bentuk koenzim Thiamin Pirifosfat (TPP) atau Trifosfat (TTP) memegang peranan esensial dalam transformasi energi, konduksi membran dan syaraf serta dalam sintesis pentosa dan bentuk koenzim tereduksi dari niasin. Berikut ini adalah struktur dari Tiamin:



Gambar 4.2 Tiamin, Tiamin Difosfat, dan Bentuk Karbanion

Vitamin ini sering dijumpai pada makanan beras. Di negara barat yang kebanyakan mengkonsumsi alkohol, memakan beras selep dan menderita penyakit saluran gastrointestinal yang menahun dapat terserang defisiensi vitamin ini. Tiamin memiliki peran sentral dalam metabolisme penghasil energi, dan khususnya metabolisme karbohidrat. Tiamin difosfat adalah koenzim untuk tiga kompleks multi-enzim yang mengkatalisis reaksi dekarboksilasi oksidatif: Piruvat dehydrogenase dalam metabolisme

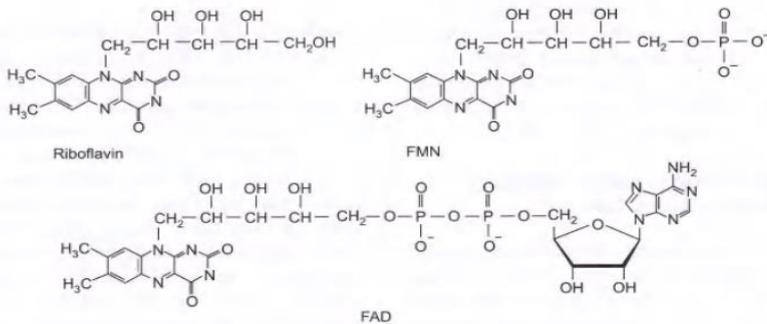
karbohidrat, α -ketoglutarat dalam siklus asam sitrat dan asam keto dehidrogenase rantai bercabang pada metabolisme leusin, isoleusin, dan valin. Tiamin difosfat menyediakan sejumlah karbon reaktif pada gugus tiazol yang membentuk suatu karbanion yang kemudian menambah gugus karbonil misalnya piruvat. Senyawa tambahan kemudian mengalami dekarboksilasi dan mengeluarkan CO_2 . Tiamin difosfat juga merupakan koenzim untuk transketolase pada jalur pentose fosfat. Tiamin trifosfat memiliki peran dalam penghantaran impuls syaraf, senyawa ini memfosforilasi kadal klorida (Cl^-) pada membran sel syaraf.

Defisiensi tiamin dapat menyebabkan 3 sindrom yang terdiri dari: Sindrom nefritis perifer kronik, beriberi, yang dapat berkaitan atau tidak dengan gagal jantung dan edema. Beriberi pernisiiosa (fulminan) akut (*shoshin beriberi*) dengan gejala yang predominan berupa gagal jantung dan kelainan metabolik tanpa *neuritis perifer* dan *ensefalopati Wernicke* disertai *psikosis Korsakoff*, yang terutama berkaitan dengan penyalahgunaan alkohol dan narkotik. Peran tiamin difosfat dalam *piruvat dehidrogenase* memiliki arti bahwa pada defisiensi terjadi gangguan perubahan piruvat menjadi asetil KoA. Pada orang dengan diet karbohidrat tinggi, menyebabkan meningkatnya kadar laktat dan piruvat plasma, yang dapat menyebabkan asidosis laktat yang mengancam jiwa. Defisiensi yang akan terjadi dapat diketahui dengan pengukuran *transketolase eritrosit*. Kenaikkan 25% aktivitas *transketolase* pada suplementasi tiamin *pirophospat* menunjukkan defisiensi. Kandungan total pada tubuh 80 mikromol.

Vitamin B2 (Riboflavin)

Riboflavin merupakan salah satu jenis dari vitamin B kompleks yang larut di dalam air, berwarna kuning, mempunyai sifat stabil terhadap panas dalam asam dan pH netral, mudah tereduksi, dan tahan terhadap senyawa pengoksidasi. Riboflavin berperan penting dalam metabolisme penghasil energi. Riboflavin menyediakan gugus-gugus reaktif koenzim *flavin mononukleotida* (FMN) dan *flavin adenin dinukleotida* (FAD). FMN dibentuk oleh fosforilasi riboflavin dependen-ATP, sementara FAD disintesis oleh reaksi lebih lanjut dengan ATP dengan gugus AMP yang dipindahkan ke FMN. Sumber utama riboflavin dalam makanan adalah susu dan produk susu. Selain itu, karena warnanya yang kuning terang, riboflavin

sering digunakan sebagai zat aditif makanan. Struktur riboflavin dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.3 Riboflavin dan Koenzim Flavin Mononukleotida (FMN) dan Flavin Adenin Dinukleotida (FAD)

Koenzim flavin adalah pembawa electron dalam reaksi oksidoreduksi. Reaksi-reaksi ini mencakup rantai respiratorik mitokondria, enzim-enzim kunci dalam oksidasi asam lemak dan asam amino, dan siklus asam sitrat. Reoksidasi flavin tereduksi dalam oksigenase dan oksidase fungsi campuran berlangsung melalui pembentukan radikal flavin dan flavin hidroperoksida, disertai pembentukan intermediet radikal superoksida dan perhidroksil serta hydrogen peroksida. Oleh karena itu, flavin oksidase berperan signifikan dalam stress oksidan total di dalam tubuh.

Peranan Riboflavin adalah dalam reaksi antara lain:

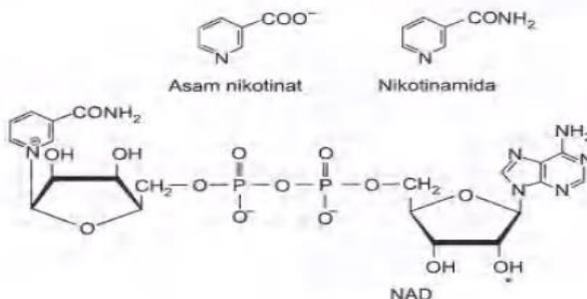
1. Oksidase asam α -amino oleh deaminase.
2. Xantin Oksidase pada penguraian purin.
3. Aldehid dehidrogenase pada penguraian aldehid.
4. Gliserol 3 fosfat dehidrogenase pada pengangkutan di mitokondria.
5. Suksinat dehidrogenase pada siklus asam sitrat.
6. Asil KoA dh & flavoprotein pada asam lemak.
7. Dihidrolipol dehidrogenase pada dekarboksilasi oksidatif piruvat, α -ketoglutarat.
8. NADH dehidrogenasi pada pembentukan FMNH₂ dan FADH₂ rantai respirasi di mitokondria

Defisiensi riboflavin terdapat bersama dengan defisiensi lainnya pada daerah-daerah yang miskin/penderita dengan kebiasaan makan yang

tidak biasa. Defisiensi riboflavin yang terpisah jarang dijumpai. Gejala defisiensi riboflavin tidak khas, meliputi peradangan lidah, jelas pada sudut bibir, dermatitis dan anemia. Malnutrisi perlu dipertimbangkan bila ditemukan gejala-gejala defisiensi riboflavin. Kebutuhan pada orang dewasa ditaksir sekitar 0,2 mikromol permegajoule energi. Riboflavin lambat dikeluarkan dari tubuh kaena adanya ikatan yang kuat antara koenzim flavin dengan masing-masing apoenzimnya.

Vitamin B3 (Niasin)

Vitamin B3 (Niasin) merupakan vitamin yang larut dalam air dan secara umum terdiri atas dua jenis yaitu asam mikotinat ($C_6H_5O_2N$) dan Nikotinamid ($C_6H_6ON_2$). Niasin adalah istilah generik untuk asam nikotinat dan turunan alaminya nikotinamida (niasin amida). Niasin berfungsi sebagai komponen koenzim Nikotinamida Adenin Dinukleotida (NAD) dan Nikotinamida Adenin Dinukleotida Fosfat (NADP), yang berada disemua sel dan berperan sebagai faktor berbagai oksidoreduktase yang terlibat dalam glikolisis, metabolisme asam lemak, pernapasan jaringan dan detoksifikasi. Didalam makanan niasin berada dalam keadaan terikat dengan protein pada koenzim. Niasin bukan suatu vitamin sejati karena zat ini dapat disintesis dalam tubuh dari asam amino esensial triptofan. Dua senyawa asam nikotinat dan nikotinamida memiliki aktivitas biologis sebagai niasin sebagai cincin nikotinamida pada koenzim NAD dan NADH dalam reaksi oksidasi/ reduksi. Sekitar 60 mg triptofan setara dengan 1 mg niasin dalam makanan. Berikut ini merupakan struktur dari niasin.



Gambar 4.4 Struktur Niasin berupa Asam Nikotinat dan Nikotinamida dan Nikotinamida Adenin Dinukleotida (NAD)

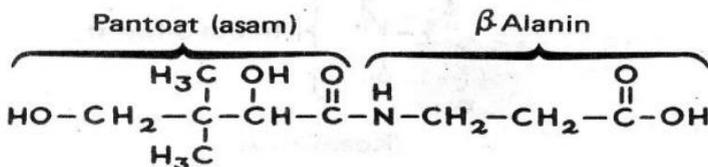
Bahan pangan yang mengandung niasin antara lain: Daging, terigu, jagung, telur dan susu. Niasin juga terdapat dalam sereal, tapi membentuk ikatan kompleks dengan peptide dan karbohidrat. Ikatan kompleks tersebut adalah niasitin (niasin teresterifikasi). Ikatan kompleks niasin pada jagung dapat dilepaskan dengan proses pemanasan. Niasin merupakan vitamin yang sangat stabil terhadap panas cahaya dan oksigen, sehingga selama perolehan dan penyimpanan keberadaan niasin dapat dipertahankan.

Niasin dalam bentuk NAD merupakan sumber ADP-ribose. Selain peranannya sebagai koenzim, NAD adalah sumber ADP-ribose untuk ADP-ribosilasi protein dan poliADP-ribosilasi nucleoprotein yang berperan dalam mekanisme perbaikan DNA. Niasin berperan dalam reaksi enzimatik dalam tubuh atau metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein yaitu sebagai Koenzim I yaitu NAD dan Koenzim II yaitu NADP.

Defisiensi niasin akan menyebabkan penyakit pelagra. Pelagra dicirikan dengan sakit tenggorokan, lidah, dan mulut, dermatitis pada tangan, lengan, siku, kaki, kulit serta leher (mula-mula merah, bengkak, lunak, berlanjut kulit bersisik dan kadang-kadang luka).

Vitamin B5 (Asam Pantotenat)

Vitamin B5 atau asam pantotenat merupakan kristal putih yang larut air, rasa pahit, lebih stabil dalam keadaan larut daripada kering, serta mudah terurai oleh asam, alkali dan panas kering. Dalam keadaan netral Asam Pantotenat tahan terhadap panas basah. Vitamin B5 merupakan vitamin yang kurang stabil terhadap panas dan kondisi lingkungan yang asam maupun alkali. Beberapa derivat asam pantotenat antara lain: kalsium pantotenat, pantetine dan pantenol. Kalsium pantotenat memiliki struktur yang mirip dengan asam pantotenat, namun gugus asamnya diganti dengan garam kalsium. Berikut ini merupakan struktur dari asam pantotenat.

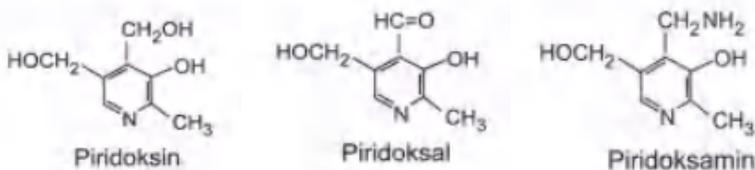


Gambar 4.5 Struktur Asam Pantotenat

Beberapa jenis vitamin B5 memiliki sejumlah aktivitas biologis. Pantotenat merupakan vitamin B5 yang tersusun atas gugus sulfhidril dengan adanya gugus ini membuat pantetine sebagai vitamin B5 yang paling aktif secara biologis. Pantotenat merupakan provitamin B5 yang tersusun atas gugus alkohol, yang segera dikonversi di dalam tubuh menjadi asam pantotenat. Sumber utama dari vitamin B5 adalah biji-bijian, daging ayam, daging sapi, hati, ginjal, yeast, kuning telur, brokoli, kentang dan royal jelly.

Vitamin B6 (Piridoksin, Piridoksal, Piridoksamin)

Vitamin B6 adalah vitamin larut air yang terdiri dari sebuah group dengan enam komponen terkait: Pyridoxal, pyridoxine, pyridoxamine, dan 5-Phosphates (PLP, PNP, PMP: Komponen-komponen ini saling berubah dari satu menjadi lainnya melalui reaksi metabolik). Vitamin B6 berfungsi menjaga fungsi otak dan memproduksi sel darah merah. Sekitar 80% vitamin B6 total dalam tubuh adalah piridoksal fosfat di otot, Sebagian besar berkaitan dengan glikogen fosforilase. Bentuk ini tidak dapat digunakan pada keadaan defisiensi, tetapi diberbaskan jika terjadi kelaparan, saat cadangan glikogen terkuras, dan kemudian dapat digunakan terutama di hati dan ginjal untuk memenuhi peningkatan kebutuhan gluconeogenesis dari asam amino. Berikut ini merupakan gambaran struktur piridoksin, piridoksal, dan piridoksamin.



Gambar 4.6 Struktur Piridoksin, Piridoksal, dan Piridoksamin

Piridoksal Aktif dalam bentuk piridoksal fosfat, yang mempunyai peranan dalam metabolisme asam amino sebagai kombinasi basa antara aldehid dan amino pada asam alfa amino, mempercepat transaminasi ikatan amino karbon, dekarboksilasi dan aktivitas treonin aldolase serta berperan sebagai fosforilase pada reaksi glikogenolisis. Piridoksal fosfat merupakan suatu koenzim bagi banyak enzim yang terlibat dalam metabolisme asam

amino, khususnya transaminase dan dekarboksilasi. Vitamin ini juga merupakan kofaktor glikogen fosforilase, dan gugus fosfat penting untuk katalisis. Selain itu, vitamin B6 penting bagi kerja hormon steroid. Piridoksal fosfat mengeluarkan kompleks hormone reseptor dari ikatan dengan DNA dan menghentikan kerja hormon. Status vitamin B6 dapat dinilai dengan mengukur transaminase eritrosit.

Defisiensi alami piridoksal juga tak dikenal pada orang dewasa karena piridoksal maupun zat bakalnya yaitu piridoksin terdapat secara luas. Kasus ini terpisah ditemukan pada bayi yang diberi susu buatan yang defisiensi, yang mengakibatkan kejang (konvulsi). Pada orang dewasa defisiensi dapat ditimbulkan baik karena pemberian suatu antagonis maupun karena penggunaan obat yang bereaksi dengan aldehyd, seperti TNH (isonicotini acid hydrazide) yang digunakan pada tuberkulosis atau hidralazin yang digunakan pada hipertensi. Piridoksal dalam dosis yang sangat tinggi bersifat toksik dan juga menyebabkan kejang. Pada defisiensi vitamin B6, terjadi peningkatan kepekaan terhadap kerja estrogen, androgen, kortisol dan vitamin D konsentrasi rendah. Defisiensi vitamin B6 tergolong jarang dijumpai, namun terdapat bukti bahwa cukup banyak orang yang status vitamin B6 nya marginal. Defisiensi tingkat sedang menyebabkan kelainan metabolisme triptofan dan metionin. Peningkatan kepekaan terhadap kerja hormon steroid mungkin penting dalam pembentukan kanker dependen hormon pada payudara, uterus, dan prostat, dan status vitamin B5 mungkin mempengaruhi prognosis.

Pada kondisi vitamin B6 yang berlebihan juga dapat menimbulkan masalah berupa gangguan neuropati sensorik. Timbulnya neuropati sensorik pernah dilaporkan pada pasien yang mengkonsumsi 2-7 gram piridoksin per hari untuk berbagai alasan. Penghentian pemberian dosis tinggi ini meninggalkan kerusakan residual, laporan lain menyatakan bahwa asupan melebihi 200 mg.hari berkaitan dengan kerusakan syaraf.

Vitamin B7 (Biotin)

Biotin merupakan derivat imidazol yang disintesis oleh bakteri, membentuk biotin aktif dalam bentuk karboksi biotin. Peranan karboksi biotin yaitu adanya beberapa enzim yang aktivitasnya tergantung pada biotin antara lain piruvat karboksilase, asetil KoA karboksilase, propionil KoA karboksilase dan β -metilkrotone koA karboksilase. Biotin merupakan

kofaktor berbagai enzim karboksilase yang digunakan dalam sintesis dan metabolisme asam lemak, glukoneogenesis dan metabolisme asam amino berantai cabang. Biotin tahan panas, larut air, dan alkohol serta mudah dioksidasi dengan pemberian biotin, dan sejumlah kecil orang dewasa mengalami keadaan yang serupa akibat makan telur mentah dalam jumlah banyak, Telur mentah mengandung avidin, suatu protein yang mengikat biotin sehingga dapat diabsorpsi.

Defisiensi biotin jarang dijumpai. Kebutuhan akan vitamin ini sedikit sekali dan itupun sebagian dapat dipenuhi melalui sintesis oleh bakteri usus. Biotin diketahui merupakan kofaktor beberapa jenis enzim karboksilase. Sejumlah bayi mengalami dermatitis yang dapat diatasi

Vitamin B9 (Asam Folat)

Asam folat adalah salah satu vitamin, termasuk dalam kelompok vitamin B, merupakan salah satu unsur penting dalam sintesis DNA (deoxyribo nucleic acid). Unsur ini diperlukan sebagai koenzim dalam sintesis pirimidin. Bentuk aktif folat terdiri atas cincin pteridin terikat dengan asam p-asam amino benzoat (p-aminobenzoic acid /PABA) yang bersama membentuk asam pteroat dan asam glutamat.

Folat tersebar luas pada berbagai tumbuh-tumbuhan dan jaringan hewan, terutama sebagai poliglutamat dalam bentuk metil atau formil tereduksi. Sumber-sumber yang paling kaya akan asam folat adalah ragi, hati, ginjal, sayur-sayuran berwarna hijau, kembang kol, brokoli; dalam jumlah yang cukup terdapat dalam makanan yang terbuat dari susu, daging dan ikan, dan sedikit dalam buah-buahan. Pemanasan dapat merusak 50-90% folat yang terdapat dalam makanan.

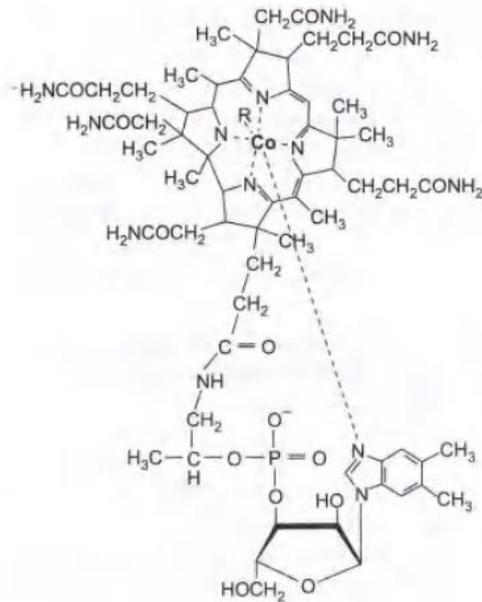
Sebagian besar asam folat dari makanan masuk dalam bentuk poliglutamat. Absorpsi terjadi sepanjang usus halus, terutama di duodenum dan jejunum proksimal dan 50-80% di antaranya dibawa ke hati dan sumsum tulang. Folat diekskresi melalui empedu dan urin. Di mukosa usus halus, poliglutamat dari makanan akan dihidrolisis oleh enzim pteroil poliglutamathidrolase menjadi monoglutamat yang kemudian mengalami reduksi/ metilasi sempurna menjadi 5 metil tetrahidrofolat (5-metil THF). Metil THF masuk ke dalam sel dan mengalami demetilasi dan konjugasi. Dengan bantuan enzim metil transferase, 5-metil THF akan melepaskan gugus metilnya menjadi tetrahidrofolat (THF). Metilkobalamin akan

memberikan gugus metil tersebut kepada homosistein untuk membentuk asam amino metionin.

Defisiensi asam folat apabila kadar asam folat di bawah normal yaitu folat serum < 3 ng/ml dan folat eritrosit < 130 mg/ml. Beberapa defisiensi asam folat diantaranya Anemia megaloblastik, *neural tube defect*, hiperhomosisteinemia. Anemia megaloblastik adalah suatu keadaan yang ditandai oleh adanya perubahan abnormal dalam pembentukan sel darah, sebagai akibat adanya ketidaksesuaian antara pematangan inti dan sitoplasma pada seluruh sel seri myeloid dan eritroid. Anemia megaloblastik merupakan manifestasi yang paling khas untuk defisiensi folat. Neural tube defect (NTD) atau defek tuba neuralis adalah suatu kelainan kongenital yang terjadi akibat kegagalan penutupan lempeng saraf (neural plate) yang terjadi pada minggu ketiga hingga keempat masa gestasi. Defisiensi folat ternyata dapat menyebabkan kelainan berat yang mengenai jaringan non hemopoietik, yaitu neural tube defect NTD yang terjadi dapat merupakan isolate NTD (tanpa disertai kelainan kongenital lain) yang kekambuhannya dapat dicegah dengan pemberian folat. Hiperhomosisteinemia merupakan peningkatan kadar homosistein total plasma juga dianggap sebagai salah satu faktor risiko penyakit kardiovaskular.

Vitamin B12 (Kobalamin)

Vitamin B12 atau kobalamin adalah vitamin larut air yang esensial untuk kesehatan darah dan fungsi syaraf. Hanya mikroorganisme yang mampu menghasilkan kobalamin termasuk diantaranya algae, bakteri dan jamur, sehingga dengan demikian kobalamin hanya terdapat pada pangan hewani. Walaupun disintesis secara eksklusif oleh mikroorganisme, pada kenyataannya kobalami hanya ditemukan dalam makanan yang berasal dari hewan dan tidak ada tumbuhan yang merupakan sumber vitamin ini. Hal ini berarti vegetarian ketat (Vegan) berisiko mengalami defisiensi kobalamin. Sejumlah kecil vitamin yang dibentuk oleh bakteri di permukaan buah mungkin memadai untuk memenuhi kebutuhan, tetapi preparate kobalami yang dibuat melalui fermentasi oleh bakteri sudah tersedia. Berikut ini merupakan struktur kobalamin.



Gambar 4.7 Vitamin B12 (Kobalamin)

Vitamin B12 diserap dalam keadaan terikat pada faktor intrinsik, suatu glikoprotein kecil yang disekresikan oleh sel parietal mukosa lambung. Asam lambung dan pepsin membebaskan vitamin dari ikatan dengan protein dalam makanan dan menyebabkan vitamin dapat berikatan dengan kobalofilin, suatu protein pengikat yang disekresikan di air liur. Di duodenum, kobalafilin mengalami hidrolisis sehingga vitamin dibebaskan untuk berikatan dengan faktor instrinsik. Oleh karena itu, insufisiensi pancreas dapat menjadi faktor dalam timbulnya defisiensi vitamin B12, yang menyebabkan ekskresi vitamin B12 yang terikat pada kobalafilin. Faktor instrinsik hanya mengikat vitamer vitamin B12, aktif dan bukan korionoid lain. Vitamin B12 diserap dari sepertigadistal ileum melalui reseptor yang menyikat faktor instrinsik, atau vitamin dalam bentuk bebas.

Defisiensi kobalamin menimbulkan suatu penyakit sistem gabungan (Combined System Disease) yaitu penyakit. yang melibatkan beberapa sistem organ tubuh misal: Sekresi getah lambung berkurang sehingga menyebabkan terkena karsinoma (kerusakan) lambung, sistem syaraf, eritropoesis (anemia), gangguan fungsi gastrointestinal yang kronis diantara orang normal, mereka dengan diit vegetaris murni dapat terkena resiko

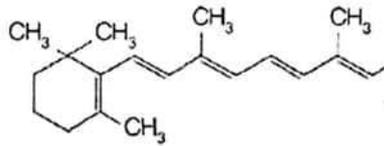
penyakit ini karena mereka menghindari minum susu yang dianggap sebagai jaringan hewan.

Vitamin Tak Larut Air

Vitamin A

Vitamin A berasal dari retinoid yang terdiri dari beberapa bentuk yaitu retinol, retinaldehida, dan asam retinoat yang hanya ditemukan dalam makanan yang berasal dari hewan. Pada tumbuhan, vitamin A ada dalam bentuk karotenoid yang terdiri dari karoten dan senyawa terkait dan banyak yang merupakan prekursor vitamin A karena senyawa-senyawa ini dapat diuraikan untuk menghasilkan retinaldehida, kemudian retinol dan asam retinoat, α , β dan γ -karoten serta kriptoxantin secara koantitatif adalah karotenoid provitamin A terpenting. Meskipun tampaknya satu molekul β -karoten seharusnya menghasilkan dua retinol, namun dalam praktiknya tidak demikian. 6 μg β -karoten setara dengan 1 μg retinol jadi. Oleh karena itu, jumlah total vitamin A dalam makanan dinyatakan sebagai microgram ekuivalen retinol. B-karoten dan karotenoid provitamin A lainnya diuraikan di mukosa usus oleh karoten dioksigenase, menghasilkan retinaldehida yang direduksi menjadi retinol, diesterifikasi diekskresikan dalam kilomikron bersama dengan ester-ester yang dibentuk dalam retinol makanan. Aktivitas karoten diaoksigenase di usus rendah sehingga dalam sirkulasi dapat muncul- β -karoten (berasal dari makanan) dalam jumlah yang relative besar. Sementara bagian utama yang diserang oleh karotein dioksigenase adalah ikatan sentral β -karoten, namun pemutusan asimetrik juga terjadi, menghasilkan pembentukan 8'-,10'-, dan 12'-apo-karotenal, yang dioksidasi menjadi asam retinoat, tetapi tidak dapat digunakan sebagai sumber retinoal atau retinaldehida.

Vitamin A atau retinol adalah suatu senyawa poliisoprenoid yang mengandung cincin sikloheksinil. Vitamin A termasuk vitamin yang larut dalam lemak (fat soluble) dan agak stabil terhadap suhu yang tinggi. Di dalamnya termasuk retinol (ester retinil alkoholvitamin A, ester vitamin A), retinal (aldehid vitamin A) dan asam retinoat (asam vitamin A). Berikut ini merupakan struktur dari retinol.



Gambar 4.8 Struktur Retinol

Vitamin A memiliki berbagai peranan di dalam tubuh diantaranya untuk penglihatan, regulasi ekspresi gen, diferensiasi jaringan dan juga proliferasi sel. Retinaldehida di retina berfungsi sebagai gugus prostetik protein opsin peka-sinar yang membentuk rhodopsin (pada sel batang) dan iodopsin (pada sel kerucut). Semua sel kerucut mengandung hanya satu tipe opsin, dan hanya peka pada satu warna. Di epitel pigmen retina, all-trans-retinol mengalami isomerisasi menjadi 11-cis-retinol dan dioksidasi menjadi 11-cis-retinaldehida. Senyawa ini bereaksi dengan sebuah residu lisin di opsin, membentuk holoprotein rhodopsin. Kunci dalam inisiasi siklus penglihatan adalah ketersediaan 11-cis-retinaldehida dan begitu pula dengan vitamin A. Pada keadaan defisiensi, baik waktu untuk beradaptasi ke keadaan gelap maupun kemampuan untuk melihat di cahaya menjadi temaram terganggu.

Fungsi penting vitamin A lainnya adalah mengontrol diferensiasi dan pergantian sel serta proliferasi. Vitamin A atau retinol, dengan asam retinoik sebagai bahan aktif metabolitnya berperan dalam pengaturan didalam berbagai sel. Pengaturan oleh retinol atau retinoik termasuk mengontrol proliferasi sel melalui aktifitas yang merangsang fase G1 Istirahat dan fase S istirahat. Mekanisme ini terjadi karena retinol atau retinoik mempunyai peran didalam penguatan ekspresi p53, aktifitas p21, dan aktifitas supresi siklin. Asam Retionik (AR), adalah metabolit aktif dari vitamin A, merupakan suatu molekul pemberi sinyal penting yang terlibat di dalam diferensiasi, proliferasi dan apoptosis pada hampir semua tipe sel.

Vitamin A juga memiliki peranan di dalam imunitas tubuh. Retinal dehydrogenases merupakan enzim yang diregulasi secara ketat dan hanya diekspresikan pada sel tertentu saja. Enzim ini diekspresikan pada gut-associated dendritic cells (DCs) dan intestinal epithelial cells (IECs) serta terdapat dalam 2 bentuk isoform yaitu RALDH-1 mRNA yang diekspresikan pada sel dendritik di Payer's Patches dan IEC, sedangkan RALDH-2 mRNA diekspresikan pada sel dendritik di mesenteric lymph nodes (MLNs).

Berdasarkan hasil penemuan ditemukan bahwa level RALDH diatur oleh vitamin A.

Defisiensi vitamin A merupakan masalah kesehatan masyarakat yang penting. Defisiensi vitamin A merupakan penyebab kebutaan yang sebetulnya dapat dicegah. Tanpa paling awal defisiensi ini adalah kurangnya kepekaan terhadap sinar hijau yang diikuti dengan gangguan beradaptasi terhadap cahaya temaram, dan diikuti dengan buta senja. Defisiensi yang berpekanjangan akan menyebabkan xerofthalmia yang merupakan keratinisasi korne dan kebutaan. Vitamin A juga berperan penting dalam diferensiasi sel sistem imun, dan bahkan defisiensi ringan menyebabkan peningkatan kerentanan terhadap infeksi. Sintesis protein pengikat retinol juga berkurang sebagai respon terhadap infeksi (protein ini adalah suatu protein fase akut negatif) yang mengurangi konsentrasi vitamin dalam sirkulasi dan semakin memperlemah respon imun. Defisiensi vitamin A juga dapat menyebabkan gangguan pada siklus dan respon imun.

Kelebihan vitamin A dapat bersifat toksik bagi tubuh. Kapasitas tubuh untuk metabolisme vitamin A hanya terbatas, dan asupan yang berlebihan dapat mengendapkan penimbunan yang melebihi kapasitas protein pengikat sehingga vitamin A dalam bentuk tidak terikat merusak jaringan. Gejala toksisitas berpengaruh pada susunan syaraf pusat berupa nyeri kepala, mual, antaksia, dan anoreksia, semuanya berkaitan dengan peningkatan tekanan cairan serebrospinal), hati (hepatomegali disertai perubahan histologis dan hiperlipidemia, homeostasis kalsium (penebalan tulang panjang, hiperkalsemia, dan kalsifikasi jaringan lunak), dan menyebabkan kekeringan berlebihan pada kulit, deskuamasi, dan alopesia.

Vitamin D

Vitamin D bersifat larut dalam lemak dan tidak larut dalam air. Vitamin D banyak ditemukan dalam minyak hati ikan. Ada dua macam vitamin D, yaitu vitamin D₃ atau kholekalsiferol, terdapat dalam minyak hati ikan, sangat cocok untuk anak yang sedang dalam masa pertumbuhan. Vitamin D₂ atau kalsiferol berasal dari ergosterol yang telah mengalami radiasi oleh sinar ultraviolet. Fungsi vitamin D adalah membantu tubuh dalam menyerap kalsium. Vitamin D bukan hanya vitamin karena senyawa ini dapat disintesis di kulit, dan pada kebanyakan kondisi hal tersebut merupakan sumber vitamin D. Sumber dari makanan hanya diperlukan jika

pancaran matahari kurang memadai. Fungsi utama vitamin D adalah mengatur penyerapan kalsium dan homeostasis. Sebagian besar kerja vitamin ini diperantarai oleh reseptor nucleus yang mengatur ekspresi gen.

Terdapat dua sumber vitamin D yaitu sumber endogen dan eksogen. Sumber endogen merupakan sumber dominan yaitu vitamin D yang disintesis ketika sinar ultraviolet B (UVB) dari sinar matahari mengenai lapisan epidermis dan dermis kulit. Sumber eksogen yaitu berasal dari makanan yang dikonsumsi dan suplemen vitamin D, namun sumber yang berasal dari makanan saja tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan vitamin D dalam tubuh.

1. Sinar Matahari

Paparan sinar matahari yang mengandung sinar UVB pada kulit akan mengawali sintesis vitamin D ketika panas tubuh mengubah previtamin D yaitu 7-dehidrokolesterol yang tersebar di seluruh tubuh menjadi bentuk akhir yang lebih aktif. Vitamin D yang berasal dari dalam tubuh akan berada di kapiler kulit lebih lama dibandingkan dengan vitamin D yang berasal dari makanan dan suplemen. Terpapar sinar matahari 5-30 menit setiap 2-3 kali perminggu sangat cukup untuk memenuhi kebutuhan vitamin D tubuh. Waktu yang baik untuk berjemur di bawah sinar matahari yaitu mulai pukul 11.00-14.00 ketika sinar UVB memuncak dan relatif stabil yakni 1-2 MED/jam. Ketika sinar UVB memuncak waktu untuk berjemur dapat semakin singkat. Kebutuhan vitamin D pada tubuh dapat dipenuhi sebesar 80-100% oleh vitamin D yang disintesis pada kulit ketika terpapar sinar matahari secara langsung. Untuk menjaga kadar vitamin D dalam tubuh tetap tercukupi, minimal 20% permukaan kulit harus terpapar sinar matahari secara langsung tanpa terhalang pakaian atau tabir surya.

2. Makanan

Vitamin D yang berasal dari makanan dapat dibedakan menjadi tiga, yakni yang berasal dari sumber asli, ASI, dan suplemen. Sumber vitamin D yang berasal dari sumber asli di antaranya ikan salmon, ikan makarel, ikan tuna, minyak hati ikan cod, jamur, dan kuning telur. Mengonsumsi minyak ikan minimal 3-4 kali/minggu dapat membantu mengoptimalkan kebutuhan vitamin D dalam tubuh. ASI yang kandungannya baik mengandung vitamin D sekitar 22 IU/L.

Dengan rata-rata tiap hari anak mendapatkan ASI sebanyak ± 750 mL/hari dan tanpa bantuan sinar matahari belum dapat mencukupi kebutuhan vitamin D dalam yang dibutuhkan oleh tubuh. Pemberian suplemen vitamin D biasanya untuk mengatasi kondisi defisiensi vitamin D3. Terdapat pula makanan-makanan yang difortifikasi dengan vitamin D untuk meningkatkan asupan vitamin D lebih adekuat lagi yaitu seperti mentega, sereal, susu, jus jeruk, keju, dan makanan bayi. Namun, asupan vitamin D yang didapat dari makanan yang mengandung vitamin D saja tidak mencukupi kebutuhan kadar normal plasma dan makanan yang difortifikasi vitamin D tidak pasti tersedia disetiap kota. Sehingga vitamin D yang disintesis pada kulit ketika terpapar sinar matahari merupakan sumber utama bagi tubuh.

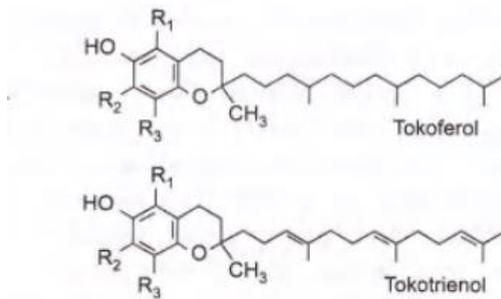
Mekanisme fotoproduksi vitamin D diawali dengan sintesis 7-dehidrokolesterol (provitamin D3). Pada hewan vertebratae dan juga manusia, 7-dehidrokolesterol dibentuk dalam jumlah yang banyak pada kulit bagian epidermis dan dermis dan bergabung bersama membran plasma lipid bilayer. Saat kulit terpapar oleh sinar matahari, 7-dehidrokolesterol akan menyerap radiasi sinar UVB dengan panjang gelombang 290-315 nm yang kemudian memecah dan mengubah ikatan cincin kimia pada 7-dehidrokolesterol menjadi previtamin D3. Previtamin D3 secara termodinamik bersifat tidak stabil yang menyebabkan isomerisasi menjadi vitamin D3 akibat induksi suhu. Radiasi sinar UVB akan tetap terabsorpsi setelah previtamin D3 dan vitamin D3 terbentuk yang menyebabkan hasil samping fotoproduk lainnya. Setelah terpapar oleh radiasi sinar UVB dalam waktu lama, perubahan 7-dehidrokolesterol akan mencapai keadaan tunak yaitu ketika 7-dehidrokolesterol yang berada di kulit diubah sebanyak 10-15%. Sehingga dapat disimpulkan walaupun terpapar oleh sinar matahari yang berlebih tidak akan menyebabkan intoksikasi vitamin D3. Vitamin D3 secara struktur tidak cocok berada di lapisan lemak pada membran plasma, yang kemudian dipindahkan ke ruang ekstraseluler dan kapiler kulit oleh vitamin D Binding Protein (DBP). Masuknya vitamin D3 bersama DBP ke sirkulasi tubuh akan meningkatkan kadar vitamin D3 dalam serum hingga 48 jam selanjutnya. Selanjutnya kadar vitamin D3 akan menurun dengan waktu paruh mulai 36 jam hingga 48 jam. Distribusi vitamin D3 yang bersifat larut

dalam lemak ke jaringan adipose akan memperpanjang waktu paruh menjadi hingga 2 bulan.

Menjaga kadar vitamin D selalu adekuat dapat membantu mengurangi risiko fraktur osteoporotik. Kadar vitamin D tidak adekuat selain menyebabkan gangguan kesehatan skeletal seperti riketsia, osteoporosis, dan osteomalasia juga dikaitkan dengan penyakit non-skeletal seperti kesehatan gigi yang buruk, meningkatkan risiko diabetes tipe 1, dan juga kanker. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Setiati, paparan sinar matahari yang mengandung UVB yang akan mengawali sintesis vitamin D juga dapat menurunkan konsentrasi hormone paratiroid. Defisiensi vitamin D hanya akan terjadi ketika kulit kekurangan paparan sinar matahari dan kurangnya asupan sumber vitamin D dalam kondisi diet. Seiring berkembangnya jaman, tidak sedikit orang yang mengurangi paparan sinar matahari karena perubahan lingkungan dan takut akan kanker kulit. Penggunaan tabir surya, pakaian yang tertutup, dan bekerja di dalam ruangan akan menyebabkan menurunnya sintesis vitamin D dalam tubuh. Terdapat beberapa sumber yang mengatakan bahwa semakin tinggi asupan vitamin D dengan terutama melalui paparan sinar matahari semakin baik untuk mencegah berbagai penyakit seperti kanker prostat, kanker kolorektal, dan sindrom metabolik lainnya. Defisiensi yang menyebabkan rakitis pada anak dan osteomalasia pada dewasa, terus menjadi masalah kesehatan di belahan bumi utara dimana pajanan matahari kurang memadai.

Vitamin E

Vitamin E adalah vitamin larut lemak yang sangat berguna selain sebagai antioksidan juga melindungi tubuh dari polyunsaturated fatty acid (PUFAs) seperti asam oleat, asam linoleat, asam linolenat, dan asam arakhidonat. Selain itu vitamin E dalam tubuh sebagai penangkal radikal bebas dan molekul oksigen yang penting dalam mencegah peroksidasi membran asam lemak tak jenuh. Vitamin E secara alami memiliki 8 isomer yang dikelompokkan dalam 4 tocopherol yaitu α , β , γ , δ dan 4 tocotrienol α , β , γ , δ homolog. Suplemen yang banyak beredar dipasaran umumnya tersusun atas tocopherol dan tocotrienol yang diyakini merupakan antioksidan potensial. α -tocopherol adalah bentuk vitamin E paling aktif. Bentuk sintetik vitamin E mempunyai aktivitas biologis 50 % daripada α -tocopherol yang terdapat di alam. Berikut ini adalah struktur vitamin E.



Gambar 4.9 Struktur Vitamin Vitamin E

Vitamin E adalah penghenti reaksi penyebab radikal bebas yang efisien di membran lemak, karena bentuk radikal bebas distabilkan oleh resonansi. Oleh karena itu radikal vitamin E memiliki kecenderungan kecil untuk mengekstraksi sebuah atom hidrogen dari senyawa lain dan menyebarkan reaksi. Vitamin E radikal juga bisa mengalami regenerasi dengan adanya vitamin C atau glutation. Sebagai antioksidan, vitamin E berfungsi sebagai donor ion hidrogen yang mampu merubah radikal peroksil (hasil peroksida lipid) menjadi radikal tocopherol yang kurang reaktif, sehingga tidak mampu merusak rantai asam lemak. Mekanisme antioksidan tocopherol termasuk transfer satu atom hidrogen dari grup 6-hidroksil pada cincin kroman, serta inaktivasi singlet oksigen dan spesies reaktif lainnya. Rantai fitil tocopherol terikat pada membrane sel bilayer, sedangkan cincin kroman yang aktif terletak pada permukaan sel. Struktur yang unik tersebut menyebabkan tocopherol dapat bekerja secara efektif sebagai antioksidan, dan dapat diregenerasi melalui reaksi dengan antioksidan lain seperti asam askorbat. Vitamin E secara alami memiliki 8 isomer yang dikelompokkan dalam 4 tocopherol yaitu α , β , γ , δ dan 4 tocotrienol α , β , γ , δ homolog. Suplemen yang banyak beredar dipasaran umumnya tersusun atas tocopherol dan tocotrienol yang diyakini merupakan antioksidan potensial. α -tocopherol adalah bentuk vitamin E paling aktif. Bentuk sintetik vitamin E mempunyai aktivitas biologis 50 % daripada α -tocopherol yang terdapat di alam.

Vitamin E diketahui sebagai zat gizi esensial yaitu setelah dilakukan percobaan dengan tikus. Kekurangan vitamin E mengakibatkan kemandulan pada tikus jantan sedangkan pada tikus betina terjadi

Vitamin K tidak disintesis oleh tubuh sumber vitamin K adalah dari bahan makanan dan disintesis oleh mikroflora usus Untuk absorpsi dibutuhkan garam empedu, yang akan mengemulsi lemak menjadi bentuk misel dan akan bertindak sebagai transport karier bagi vitamin K tersebut Absorpsi vitamin K1 diabsorpsi secara aktif di jejunum Absorpsi K2 dan K3 secara pasif di bagian distal usus halus dan kolon. Absorpsi vitamin K \pm 80% bila diberikan dalam bentuk suplemen dan sangat sedikit bila diberikan dari BMS Penambahan lemak dan meningkatkan absorpsi sampai tiga kali. Transpor vitamin K melalui kilomikron ke duktus torasikus menuju sirkulasi darah. Vitamin K akan dibawa ke hati dan dibebaskan dari kilomikron reman melalui reseptor apolipoprotein E. Vitamin K1 akan diretensi di hati untuk waktu yang cukup lama, sedangkan K3 hanya sebentar saja ditahan di dalam hati dan segera disebar ke jaringan yang memerlukannya. Dari hati, Vitamin K terutama dibawa oleh VLDL (50%) dan sisanya oleh LDL dan HDL (25%). Vitamin K terutama diakumulasi di hati yang terdiri dari: 90% vitamin K2 dan 10% K1 Dalam hati vitamin K akan dikonyugasikan dengan asam glukoronat dan asam sulfat, untuk kemudian diekskresikan 20% melalui urine dan 40% diekskresikan melalui garam empedu.

Vitamin K berperan sebagai faktor yang berperan pada proses pembekuan darah Merupakan kofaktor untuk proses karboksilasi asam glutamat menjadi asam γ karboksiglutamat (Gla) Gla merupakan suatu protein untuk faktor pembekuan darah: Faktor II (protrombin), VII, IX dan X Gla juga tersebar di beberapa jaringan seperti: Tulang, ginjal, plasenta, pankreas, limpa dan paru, tetapi sebagian besar fungsinya belum jelas di tulang protein tersebut disebut Gla protein tulang atau osteokalsin yang merupakan protein non kolagen yang terbanyak di matriks tulang. Kadar osteokalsin dalam darah merupakan petanda penting untuk mendiagnosis aktivitas osteoblas di dalam tulang.

Kebutuhan vitamin K tergantung dari umur dan jenis kelamin Kebutuhan vitamin K 1 $\mu\text{g}/\text{kgBB}$ RDA untuk dewasa pada pria yaitu 120 $\mu\text{g}/\text{hari}$ dan wanita 90 $\mu\text{g}/\text{hari}$. Sumber vitamin K terutama terdapat pada sayuran berwarna hijau, seperti brokoli, bayam dan selada Minyak dari tanaman seperti kedelai, canola, zaitun Sayuran lain, buah, sereal, telur dan daging sedikit mengandung vitamin K. Defisiensi vitamin K jarang terjadi pada orang dewasa, karena sumber vitamin K tersebar luas pada tumbuh-

tumbuhan dan hewan. Demikian pula flora usus dapat mensintesis K₂. Defisiensi dapat terjadi bila terjadi malabsorpsi lemak Karena adanya kerusakan flora usus pada penggunaan antibiotik lama Pada bayi baru lahir yaitu pada flora usus belum bekerja. Tidak pernah dilaporkan adanya efek toksik pada penggunaan bentuk natural vitamin K₁ walaupun dikonsumsi dalam dosis sampai dengan 500X RDA Bila terjadi toksisitas, biasanya disebabkan karena vitamin K sintetis yaitu Anemia hemolitik dan Kern icterus.

2. Mineral

Sebagian besar bahan makanan, yaitu sekitar 96% terdiri dari bahan organik dan air. Sisanya terdiri dari unsur-unsur mineral. Unsur mineral dikenal sebagai zat anorganik atau kadar abu. Mineral adalah senyawa non-organik yang tubuh Anda butuhkan agar bisa berkembang dan berfungsi dengan normal. Meskipun diperlukan dalam jumlah sedikit, fungsi mineral sangat beragam dan mencakup berbagai sistem dan organ tubuh. Terdapat 2 kelompok mineral yaitu makromineral dan mikromineral. Makromineral adalah mineral yang diperlukan dalam jumlah besar. Rentang kebutuhan mineral makro berkisar dari beberapa belas hingga lebih besar dari 100 mg/hari. Beberapa contoh makromineral yaitu Kalsium, Natrium, Kalium, Fosfor, Magnesium, Klor dan belerang. Mikromineral atau *trace elements* adalah mineral yang diperlukan dalam jumlah kecil, yakni kurang dari 100 miligram. Beberapa mineral yang tergolong sebagai *trace elements* yaitu zat besi (Fe), tembaga, zinc, mangan, dan yodium.

Makromineral

Kalsium (Ca)

Kalsium adalah mineral yang paling berlimpah dalam tubuh, dengan >99% pada kerangka, yaitu ditemukan pada tulang dan gigi. Sumber makanan yang kaya akan kalsium adalah olahan susu, kacang-kacangan, sayuran hijau, dan telur. Kalsium adalah kation divalent (ber-valensi dua). Kalsium adalah elemen yang paling melimpah dalam tubuh, karena kalsium intermediate kelarutan, ada baik dalam bentuk padat (tulang) dan dalam larutan (plasma). Kalsium mengikat protein melalui atom oksigen residu asam glutamat dan aspartat yang memperbaiki struktur tersier protein, sehingga mengatur aktivitas dan stabilitas tubuh. Dalam kapasitas ini,

kalsium berfungsi sebagai pemancar sinyal paling umum dalam biologi sel. Kalsium hanya memiliki satu bilangan oksidasi sehingga tidak rentan bersifat toksik pada konsentrasi tinggi. Kalsium tidak biasa dalam bentuk penyimpanan, kalsium juga merupakan fungsional. Sebagai bagian dari hidroksiapatit, membentuk bahan cukup kuat untuk mendukung tubuh kita selama beberapa dekade akan tetapi cukup ringan untuk memungkinkan mobilitas.

Selama masa pertumbuhan, kecukupan supply diet kalsium penting dipertimbangkan untuk tambahan kekuatan dan kesehatan tulang. Anak-anak untuk mencapai puncak massa tulang yang baik secara genetik, maka menu yang disajikan kepada anak harus mencukupi kebutuhan kalsium pada tulang. Pertumbuhan dari puncak massa tulang yang baik semasa muda adalah penting untuk mencegah osteoporosis pada usia lanjut. Pada dasarnya semua proses tubuh membutuhkan kalsium, sehingga terbentuk mekanisme kontrol homeostatis untuk mempertahankan kalsium darah konstan. Mekanisme di atas telah berevolusi, seperti memiliki mekanisme selular kompleks untuk mengontrol pergerakan kalsium intraseluler. Diet kalsium yang tidak mencukupi, dapat dikaitkan dengan peningkatan risiko sejumlah penyakit.

Kalsium tubuh pada wanita dewasa adalah 23-25 M (920-1000 g) dan untuk pria dewasa adalah 30 M (1200 g). Kalsium terutama terdapat di kerangka sebagai hidroksiapatit dan $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, dan sisanya terdapat di dalam tubuh berada dalam jaringan lunak, terutama dalam cairan ekstraseluler dan cadangan subseluler. Sekitar setengah dari kalsium dalam plasma ada dalam bentuk ion bebas dan secara fungsional tersedia. Sebagian besar sisanya terikat dalam sirkulasi darah, konsentrasi kalsium biasanya berada pada 2,25-2,5 mmol, yang mana sekitar 40-45% dari konsentrasi tersebut terikat pada protein plasma, sekitar 8-10% dikomplekskan dengan ion (sitrat) dan 45-50% sebagai ion bebas. Kalsium di tubuh manusia berkisar 1,5-2% dari berat badan (BB), atau berada diantara ~1.000 sampai 1.400 g dalam 70 kg BB manusia. Tulang dan gigi terdapat 99% kalsium dan sisanya (1%) terdistribusi pada cairan intra dan ekstra seluler.

Kalsium memiliki fungsi fisiologi yang penting bagi tubuh manusia diantaranya:

(1) Kalsium dan fosfor bahan utama dalam pembentukan tulang dan gigi.

Tanpa adanya tulang yang berkembang maka pertumbuhan akan tidak

sempurna. Karena itu kalsium mempunyai hubungan dengan pertumbuhan. Tulang bukan saja berfungsi sebagai kerangka tapi juga merupakan gudang kalsium dan fosfor dimana proses penyimpanan dan mobilisasi unsur-unsur tersebut dapat terjadi sepanjang hidup. Fraksi mineral dari tulang terdiri paling besar dari kalsium fosfat. Bagian lain adalah karbonat, plourida, hidroksida dan sitrat. Selain dari ada pula magnesium. Natrium dan sedikit kalium. Kristal tulang terdiri dari hidroksi apatit dengan komposisi kira-kira sebagai $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.

- (2) Dalam proses pembekuan darah adanya Ca^{2+} ion sangat dibutuhkan. Fibrin adalah protein tidak berwarna yang bertanggung jawab terhadap koagulasi dan ia terbentuk dari fibrinogen yang larut. Transformasinya dikatalisa oleh enzim yang bernama thrombin. Trombin ini sesungguhnya tidak terdapat dalam darah normal tetapi terbentuk dari prothrombin yang tidak aktif, hal ini hanya bisa berlangsung jika ada ion Ca^{2+} .
- (3) Sebagai aktifator enzim-enzim seperti lipase, succinic dehydrogenasa, adenosine triphosphatase dan proteolitik enzim tertentu.
- (4) Kalsium ion ada hubungannya dengan kontraksi otot-otot. Tanpa adanya ion Ca^{2+} maka kontraksi otot tidak ada, demikian pula kontraksi jantung terhenti. Sudah tentu perbandingan ion kalsium dengan kation lainnya yang juga penting dalam kontraksi otot. Konsentrasi yang sangat kecil dalam cairan ekstraselular adalah untuk respon urat daging pada rangsangan syaraf dan untuk mekanisme penggumpalan darah.
- (5) Kalsium mempengaruhi transisi impuls syaraf. Kostilcholin berperan untuk menyalurkan rangsangan syaraf.
- (6) Kalsium menurunkan permeabilitas membrane, di lain pihak menambah secara nyata permeabilitas kapiler dengan adanya kalsium yang rendah. Keterlibatan kalsium dan kemungkinan ikatan dengan selaput baik pada hewan maupun pada tanam-tanaman menunjukkan unsur ini membantu mengatur aliran ion melintasi dinding sel.
- (7) Kalsium mengatur keseimbangan air (osmotic effect) dan asam/basa sedikit. Yang banyak berpengaruh terhadap keseimbangan asam/basa adalah ion Na^+ , K^+ , Cl^- , dan HCO_3^-

Penyerapan kalsium yang optimal sangat penting bagi tubuh. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi penyerapan kalsium antara lain:

(1) pH usus

Garam Ca, terutama garam phosphat dan carbonat dapat larut dalam larutan asam dan tidak larut dalam alkali. Maka faktor yang menaikkan keasaman usus akan menambah absorpsi Ca dan sebaliknya. Dalam keadaan keasaman lambung yang normal, garam Ca dari asam organik lemah akan diubah menjadi chlorida yang larut dan bila agak lama tinggal dalam lambung, bahkan phosphat dapat berbentuk larut. Keasaman duodenum adalah penting, yang menentukan apakah lebih banyak Ca yang berda dalam bentuk acid phosphate yang lebih larut ataukah dalam bentuk phosphat basa yang kurang larut. Ca chlorida atau acid phosphat mungkin diabsorpsi dalam duodenum sebelum getah lambung keasamannya dinetralkan maka absorpsi Ca lebih baik dengan adanya asam organik (Misalnya: Laktat dan Sitrat).

(2) Adanya mineral lain yang mengganggu absorpsi kalsium

Beberapa jenis mineral yang mengganggu absorpsi kalsium antara lain Mg, Fe, Ba, Pb, Mn, Al dan Sr.

(3) Phytic acid

Phytic acid yang terdapat dalam biji-bijian, membentuk garam (phitin) yang tidak larut, maka mengurangi absorpsi Ca, Mg, dimana garam-garamnya tidak larut pada pH. 3-4. Ca dengan fatty acid membentuk sabun Ca yang tidak larut. Hydroxy acid seperti: lactic, citric dan tartaric akan mengubah titik endap dari Ca phytat ke arah pH yang lebih tinggi yang akan mempermudah penyerapan dan juga dipermudah dengan adanya asam-asam amino lysine dan arginine serta dengan intake protein yang tinggi (pada pencernaan dan absorpsi yang normal).

(4) Vitamin D

Vitamin D mempercepat absorpsi Ca dari ileum bagian distal, dimana absorpsinya sangat kurang dan bukan dari ileum bagian atas dimana absorpsi Ca normal memang baik.

(5) Protein

Jika protein tinggi dalam makanan, maka penyerapan Ca bisa mencapai 15% sedangkan jika makanannya kurang protein maka kalsium hanya diserap 5% saja dari yang ada.

Ekskresi Ca adalah melalui urine, empedu dan getah pencernaan. Eksresi melalui usus akan terus berlangsung meskipun intakenya rendah,

maka bisa terjadi keseimbangan yang negatif, terutama bila juga terdapat faktor lain misalnya kekurangan vitamin D, intake phytin yang tinggi, alkali, diareha, dsb. Eksresi Ca disamping melalui urine, tinja juga melalui keringat.

Fosfor (P)

Fosfor merupakan mineral kedua terbanyak dalam tubuh, sekitar 1 % dari berat badan. Fosfor terdapat pada tulang dan gigi serta dalam sel yaitu otot dan cairan ekstraseluler. Fosfor merupakan bagian dari asam nukleat DNA dan RNA. Sebagai fosfolipid, fosfor merupakan komponen structural dinding sel. Sebagai fosfat organik, fosfor berperan dalam reaksi yang berkaitan dengan penyimpanan atau pelepasan energi dalam bentuk Adenin Trifosfat (ATP). Sumber makanan yang mengandung fosfor antara lain susu, tepung, sayuran hijau, biji-bijian & zat aditif makanan yg mengandung fosfat.

Fungsi dari fosfor antara lain adalah: (1) Klasifikasi tulang dan gigi melalui pengendapan fosfor pada matriks tulang. (2) Mengatur peralihan energy. Melalui proses fosforilasi, fosfor mengaktifkan berbagai enzim dan vitamin B dalam pengalihan energi pada metabolisme karbohidrat, lemak dan protein. (3) Absorpsi dan transportasi zat gizi dalam bentuk fosfat, fosfor berperan sebagai alat angkut untuk membawa zat-zat gizi yang menyebrangi membran sel atau di dalam aliran darah. Proses ini dinamakan fosforilasi. (4) Bagian dari ikatan tubuh esensial yaitu RNA dan DNA serta ATP dan fosfolipid. (5) Mengatur keseimbangan asam basa: Fosfat berperan penting sebagai buffer untuk mencegah perubahan tingkat keasaman cairan tubuh. Ini terjadi karena kemampuan fosfor mengikat tambahan ion hidrogen.

Fosfor dapat diabsorpsi secara efisien sebagai fosfor bebas di dalam usus setelah dihidrolisis dan dilepas dari makanan oleh enzim alkalin fosfatase dalam mukosa usus halus dan diabsorpsi secara aktif yang dibantu oleh bentuk aktif vitamin D dan difusi pasif. Kadar fosfor dalam darah diatur oleh hormone paratiroid (PTH) yang dikeluarkan oleh kelenjar paratiroid dan hormone kalsitonin serta vitamin D, untuk mengontrol jumlah fosfor yang diserap, jumlah yang ditahan oleh ginjal, jumlah yang dibebaskan dan disimpan dalam tulang. PTH menurunkan reabsorpsi fosfor oleh ginjal. Kalsitonin meningkatkan eksresi fosfat oleh ginjal.

Kelebihan dan kekurangan fosfor memiliki dampak bagi kesehatan tubuh. Kekurangan fosfor bisa terjadi karena menggunakan obat antacid untuk menetralkan asam lambung, yang dapat mengikat fosfor sehingga tidak dapat diabsorpsi. Kekurangan fosfor juga terjadi pada penderita yang kehilangan banyak cairan melalui urin. Kekurangan fosfor mengakibatkan kerusakan tulang dengan gejala lelah, kurang nafsu makan dan kerusakan tulang. b. Kelebihan: Bila kadar fosfor darah terlalu tinggi, ion fosfat akan mengikat kalsium sehingga dapat menimbulkan kejang. Kelebihan fosfor juga dapat mengakibatkan pengikisan rahang.

Magnesium (Mg)

Magnesium adalah kation terbanyak setelah natrium di dalam cairan interstitial. Magnesium merupakan bagian dari klorofil daun. Peranan magnesium dalam tumbuh-tumbuhan sama dengan peranan zat besi dalam ikatan hemoglobin dalam darah manusia yaitu untuk pernapasan. Magnesium terlibat dalam berbagai proses metabolisme. Magnesium terdapat dalam tulang dan gigi, otot, jaringan lunak dan cairan tubuh lainnya. Badan mengandung 21 gram Mg dan 70% bersenyawa dengan Ca dan P dalam garam kompleks tulang. Sisanya terdapat dalam jaringan lunak dan cairan badan. Magnesium adalah kation penting dalam jaringan lunak. Fungsinya dalam otot untuk metabolisme karbohidrat sebagai aktifator enzim dalam sistem glycolitic. Mg merupakan bagian dari chlorophyll, jadi banyak dalam tumbuh-tumbuhan. Derivat dari cacao, bermacam-macam nuts, kedelai dan beberapa makanan laut relatif banyak mengandung Mg (100-400 Mg/100 gram). Padi-padian dan kacang-kacangan mentah dan kering mengandung 100-200 mg/100 gram. Kebutuhan 350 mg/hari pada laki-laki dan 300 mg pada Wanita. Sumber utama magnesium adalah sayur hijau, sereal tumbuk, biji-bijian dan kacang-kacangan. Daging, susu dan hasilnya serta coklat merupakan sumber magnesium yang baik.

Magnesium berperan penting dalam sistem enzim dalam tubuh. Magnesium berperan sebagai katalisator dalam reaksi biologis termasuk metabolisme energi, karbohidrat, lipid, protein dan asam nukleat, serta dalam sintesis, degradasi, dan stabilitas bahan gen DNA di dalam semua sel jaringan lunak. Di dalam sel ekstraselular, magnesium berperan dalam transmisi saraf, kontraksi otot dan pembekuan darah. Dalam hal ini magnesium berlawanan dengan kalsium. Magnesium mencegah kerusakan

gigi dengan cara menahan kalsium dalam email gigi. Magnesium di alam merupakan bagian klorofil daun. Peran Magnesium dalam tumbuhan, sama dengan peran zat besi dalam ikatan hemoglobindidalam darah manusia yaitu untuk pernafasan.

Magnesium diabsorpsi di usus halus dengan bantuan alat angkut aktif dan secara difusi pasif. Di dalam darah magnesium terdapat dalam bentuk ion bebas. Keseimbangan magnesium dalam tubuh terjadi melalui penyesuaian eksresi magnesium melalui urin. Eksresi magnesium meningkat oleh adanya hormone tiroid, asidosis, aldosteron serta kekurangan fosfor dan kalium. Eksresi magnesium menurun karena pengaruh kalsitonin, glukagon dan PTH terhadap resorpsi tubula ginjal.

Kelebihan dan kekurangan magnesium dapat berdampak pada kesehatan manusia. Kekurangan magnesium bisa terjadi jika kekurangan protein dan energi serta berbagai kompilasi penyakit yang menyebabkan gangguan absorpsi atau penurunan fungsi ginjal, endokrin, terlalu lama mendapat makanan tidak melalui mulut (intravena). Penyakit yang menyebabkan muntah-muntah, diare, penggunaan diuretika (perangsang pengeluaran urin), juga dapat menyebabkan kekurangan magnesium. Kekurangan magnesium berat akan menyebabkan kurang nafsu makan, gangguan pertumbuhan, mudah tersinggung, gugup, kejang/tetanus, gangguan system saraf pusat, halusinasi, koma dan gagal jantung. Kelebihan magnesium belum diketahui secara pasti. Kelebihan magnesium terjadi pada penyakit gagal ginjal. Jadi, AKG untuk orang dewasa untuk pria 280 mg/hari dan wanita 250 mg/ hari.

Natrium, Kalium, dan Klor

Natrium, kalium dan chlor merupakan 3 serangkai unsur yang berhubungan erat satu sama lain fungsi faali maupun penyebarannya dalam cairan intra atau ekstra seluler, termasuk juga cairan otak. Meskipun demikian antara Natrium dan Kalium terdapat perbedaan yang bertolak belakang sehingga disebut antagonis satu sama lain. Peristiwa ini disebabkan oleh pemisahan letak kedua unsur dalam tubuh, yaitu kalium terdapat hampir seluruhnya didalam sel sedangkan Natrium diluar sel. Kebutuhan akan Natrium dan Chlor dipenuhi oleh garam dapur (NaCl). Disamping itu makanan yang berasal dari hewan kaya akan Natrium, sedangkan Kalium didapati banyak pada tumbuh-tumbuhan. Itulah sebabnya

berbicara mengenai mineral pada tumbuh-tumbuhan, Natrium tidak dimasukkan 7 unsur penting baginya. Bagaimana pentingnya garam dalam kehidupan dapat dibaca dari sejarah Romawi kuno dimana garam digunakan oleh mereka sebagai ganti uang. Para pemburu sering meletakkan garam disekitar tempat berburu supaya buruannya tinggal tetap disekitar itu.

Natrium merupakan kation utama dalam cairan ekstraseluler. 35-40 % terdapat dalam kerangka tubuh. Cairan saluran cerna, sama seperti cairan empedu dan pancreas mengandung banyak natrium. Sumber utama Natrium adalah garam dapur (NaCl). Sumber natrium yang lain berupa monosodium glutamate (MSG), kecap dan makanan yang diawetkan dengan garam dapur. Makanan yang belum diolah, sayur dan buah mengandung sedikit natrium. Sumber lainnya seperti susu, daging, telur, ikan, mentega dan makanan laut lainnya. Fungsi dan peranan natrium bagi tubuh yaitu, sebagai kation utama dalam cairan ekstra seluler, natrium menjaga keseimbangan cairan dalam kompartemen tersebut. Natrium sebagian besar mengatur tekanan osmosis yang menjaga cairan tidak keluar dari darah dan masuk kedalam sel-sel. Keseimbangan cairan juga akan terganggu bila seseorang kehilangan natrium. Natrium diabsorpsi di usus halus secara aktif (membutuhkan energi), lalu dibawa oleh aliran darah ke ginjal untuk disaring kemudian dikembalikan ke aliran darah dalam jumlah cukup untuk mempertahankan taraf natrium dalam darah. Kelebihan natrium akan dikeluarkan melalui urin yang diatur oleh hormon aldosteron yang dikeluarkan oleh kelenjar adrenal jika kadar natrium darah menurun. Kekurangan natrium menyebabkan kejang dan kehilangan nafsu makan. Kekurangan natrium dapat terjadi sesudah muntah, diare, keringat berlebihan dan bila menjalankan diet yang sangat terbatas dalam natrium. Kelebihan natrium dapat menimbulkan keracunan yang dalam keadaan ikut menyebabkan adema dan hipertensi. Kelebihan konsumsi terus menerus dalam bentuk garam dapur dapat menyebabkan hipertensi. Jadi, taksiran kebutuhan untuk orang dewasa yaitu 500 mg/hari.

Kalium merupakan ion yang bermuatan positif dan terdapat di dalam sel dan cairan intraseluler. Kalium adalah unsur teringan yang mengandung isotop radioaktif alami. Kalium berperan dalam pemeliharaan keseimbangan cairan dan elektrolit serta keseimbangan asam dan basa bersama natrium. Bersama kalsium, kalium berperan dalam transmisi saraf dan kontraksi otot. Di dalam sel, kalium berfungsi sebagai katalisator dalam

banyak reaksi biologik, terutama metabolisme energi dan sintesis glikogen dan protein. Kalium diabsorpsi dengan mudah dalam usus halus. Kalium diekskresi melalui urin, feses, keringat dan cairan lambung. Taraf kalium normal darah dipelihara oleh ginjal melalui kemampuannya menyaring, mengabsorpsi kembali dan mengeluarkan kalium di bawah pengaruh aldosteron. Kalium dikeluarkan dalam bentuk ion dengan menggantikan ion natrium melalui mekanisme pertukaran di dalam tubula ginjal. Kekurangan kalium dapat terjadi karena kebanyakan kehilangan melalui saluran cerna atau ginjal. Kehilangan banyak melalui saluran cerna dapat terjadi karena muntah-muntah, diare kronis atau kebanyakan menggunakan obat pencuci perut. Kebanyakan kehilangan melalui ginjal adalah karena penggunaan obat diuretik terutama untuk pengobatan hipertensi. Kekurangan kalium menyebabkan lesu, lemah, kehilangan nafsu makan, kelumpuhan, mengigau, dan konstipasi. Kelebihan kalium akut dapat terjadi bila konsumsi melebihi 12 g/m² permukaan tubuh sehari tanpa diimbangi oleh kenaikan ekskresi. Hiperkalemia akut dapat menyebabkan gagal jantung yang berakibat kematian. Kelebihan kalium dapat terjadi bila ada gangguan fungsi ginjal. Jadi, kebutuhan minimum kalium sekitar 2000 mg sehari.

Klor merupakan anion utama cairan ekstraselular. Konsentrasi klor tertinggi adalah dalam cairan serebrospinal (otak dan sumsum tulang belakang), lambung dan pankreas. Fungsi dari klor antara lain: (1) Memelihara keseimbangan cairan dan elektrolit dalam cairan ekstraseluler. (2) Memelihara suasana asam dalam lambung sebagai bagian dari HCl yang diperlukan untuk bekerjanya enzim-enzim pencernaan. (3) Membantu pemeliharaan keseimbangan asam dan basa bersama unsur pembentuk asam lainnya. (4) Ion klor dapat dengan mudah keluar dari sel darah merah dan masuk ke dalam plasma darah guna membantu mengangkut karbondioksida ke paru-paru dan keluar dari tubuh. (5) Mengatur sistem rennin angiotensin aldosteron yang mengatur keseimbangan cairan tubuh. (6) Sebagai mineral pada enzim amilase. Klorida hampir seluruhnya diabsorpsi didalam usus halus dan diekskresi melalui urine dan keringat. Kehilangan klor mengikuti kehilangan natrium. Kebanyakan keringat dihadapi oleh aldosteron yang secara langsung berpengaruh terhadap kelenjar keringat. Kekurangan klor terjadi pada muntah-muntah, diare kronis, dan keringat berlebihan dan jika kelebihan klorida dapat menyebabkan kontraksi otot abnormal dan apatis. Jadi AKG minimum klor

sehari sebesar 750 mg. Klor terdapat bersamaan dengan natrium dalam garam dapur. Beberapa sayuran dan buah juga mengandung klor.

Belerang (Sulfur)

Belerang (sulfur) merupakan bagian dari zat-zat gizi esensial, seperti vitamin tiamin dan biotin serta asam amino metionin dan sistein. Rantai samping molekul sistein yang mengandung sulfur berkaitan satu sama lain sehingga membentuk jembatan disulfide yang berperan dalam menstabilkan molekul protein. Sulfur terdapat dalam tulang rawan, kulit, rambut dan kuku yang banyak mengandung jaringan ikat yang bersifat kaku. Sulfur berasal dari makanan yang terikat pada asam amino yang mengandung sulfur yang diperlukan untuk sintesis zat-zat penting.

Sulfur Berperan dalam reaksi oksidasi reduksi, bagian dari tiamin, biotin dan hormone insuline serta membantu detoksifikasi. Sulfur juga berperan melarutkan sisa metabolisme sehingga bisa dikeluarkan melalui urin, dalam bentuk teroksidasi dan dihubungkan dengan mukopolisakarida. Sulfur diabsorpsi sebagai bagian dari asam amino atau sebagai sulfat anorganik. Sulfur juga merupakan bagian dari enzim glutation serta berbagai koenzim dan vitamin, termasuk koenzim A. Sebagian besar sulfur dieksresi melalui urin sebagai ion bebas. Sulfur juga merupakan salah satu elektrolit intraseluler yang terdapat dalam plasma berkonsentrasi rendah. Kecukupan sehari sulfur tidak ditetapkan dan hingga sekarang belum diketahui adanya kekurangan sulfur bila makanan yang kita konsumsi cukup mengandung protein. Dampak kekurangan sulfur bisa terjadi jika kekurangan protein. Kelebihan sulfur bisa terjadi jika konsumsi asam amino berlebih pada hewan yang akan menghambat pertumbuhan.

Mikromineral

Zat besi (Fe)

Zat besi (Fe) merupakan mineral mikro terbanyak yang terdapat dalam tubuh yaitu sekitar 3-5 gram yang terdiri dari 70% terdapat pada hemoglobin dan 25% merupakan besi cadangan (iron storage) yang terdiri dari feritine dan homossiderin terdapat dalam hati, limfa dan sum-sum tulang. Zat besi terbagi menjadi 2 bentuk yaitu Fe^{3+} (Ferry), dari tumbuhan sulit diserap usus Fe^{2+} (Fero), dari hewan Vitamin C bisa merubah Ferry menjadi Ferro. Zat besi berperan dalam proses respirasi sel, yaitu sebagai

kofaktor bagi enzim-enzim yang terlibat didalam reaksi oksidasi reduksi. Metabolisme energi, di dalam tiap sel, besi bekerja sama dengan rantai protein pengangkut electron, yang berperan dalam langkah-langkah akhir metabolisme energi. Sebanyak lebih dari 80% besi yang ada dalam tubuh berada dalam hemoglobin. Hemoglobin ini terdiri dari 2 buah rantai polipeptida α serta 2 buah rantai polipeptida β , heme, serta kofaktor besi (Fe). Sumber Fe dari makanan antara lain berasal dari sayuran, buah-buahan, biji padi-padian, sereal, kentang, daging, hati, susu dan kuning telur.

Fe yang dibebaskan dari proses degradasi Hb dan porfirin dapat secara cepat terlihat transferin dan dalam feritin serum pada plasma. Transferin mengangkut Fe kembali ke sumsum tulang untuk mensintesis Hb kembali atau di mana saja dibutuhkan. Feritin serum secara cepat diambil oleh hati dan mungkin oleh sel-sel lain. Besi feritin intraseluler juga dimobilisasi untuk diangkut kesumsum tulang Untuk mobilisasi tersebut Fe yang ada dalam pusat inti feritin harus direduksidifikasi dan dipindahkan kedalam plasma, di mana dioksidasi kembali menjadi Fe^{3+} untuk diangkut pada transferrin. Faktor yang berpengaruh pada absorpsi Fe antara lain: bentuk besi, asam organik, asam fitat, asam oksalat, tanin (pada teh), tingkat keasaman lambung, dan kebutuhan tubuh akan besi.

Kelebihan dan kekurangan dari zat besi dapat berdampak bagi kesehatan manusia. Kelebihan zat besi jarang terjadi karena makanan, tetapi dapat disebabkan oleh suplemen besi, gejalanya adalah rasa nek, muntah diare, denyut jantung meningkat, sakit kepala, mengigau dan pingsan. Pada konsisi kekurangan zat besi dapat menurunkan kemampuan kerja, kekurangan energi pada umumnya menyebabkan pucat, rasa lemah, letih pusing, kurang nafsu makan, menurunnya kebugaran kekebalan dan gangguan penyembuhan luka, dan kemampuan mengatur suhu tubuh menurun.

Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan unsur esensial yang bila kekurangan dapat menghambat pertumbuhan dan pembentukan hemoglobin. Tembaga sangat dibutuhkan dalam proses metabolisme, pembentukan hemoglobin, dan proses fisiologis dalam tubuh. Tembaga ditemukan dalam protein plasma, seperti seruloplasmin yang berperan dalam pembebasan besi dari sel ke

plasma. Tembaga juga merupakan komponen dari protein darah, antara lain eritrokuprin, yang ditemukan dalam eritrosit (sel darah merah) yang berperan dalam metabolisme oksigen. Selain itu berperan dalam sintesis hemoglobin, tembaga merupakan bagian dari enzim-enzim dalam sel jaringan. Tembaga berperan dalam aktivitas enzim pernapasan, sebagai kofaktor bagi enzim tirosinase dan sitokrom oksidase.

Sumber utama tembaga adalah tiram, kerang, hati, ginjal, kacang-kacangan, unggas, biji-bijian, serelia, dan cokelat. Air juga mengandung tembaga dan jumlahnya bergantung pada jenis pipa di gunakan sebagai sumber air. Sumber makanan yang mengandung tembaga diantaranya adalah susu dan sereal. Terdapat juga dalam hati, tiram, daging dan kacang-kacangan. Dalam saluran cerna, tembaga dapat diabsorpsi kembali dari tubuh bergantung kebutuhan tubuh

Tembaga berperan pada sejumlah proses fisiologi di dalam tubuh manusia yaitu: (1) Mencegah anemia dengan cara membantu absorbs besi, merangsang sintesis hemoglobin, melepas simpanan besi dari feritin dalam hati dan sebagai bagian dari enzim seruloplasmin. (2) Tembaga berperan dalam oksidasi besi bentuk ferrous menjadi feri. (3) Tembaga berperan dalam perubahan asam amino tirosin menjadi melanin, yaitu pigmen dan kulit. (4) Tembaga juga berperan dalam pengikatan silang kolagen yang diperlukan untuk menjaga kekuatannya. (5) Kompleks tembaga dengan klorofil Sodium Copper Chlorophyllin berfungsi sebagai pencegah kanker.

Dalam plasma darah, tembaga mula-mula diikat pada albumin dan suatu protein baru dan dibawa ke hati di mana akan mendapat proses: (a) Diinkorporasikan ke dalam seruloplasmin dan protein/enzim hati yang spesifik. (b) Hilang melalui empedu, seruloplasmin disekresi ke dalam plasma disamping kemungkinan fungsi enzimatisnya, juga mengangkut tembaga ke dalam sel seluruh tubuh. (c) Sebagian kecil Cu diangkut melalui transkuperin dan albumin; rendahnya berat molekul dari pool-cu dalam plasma mungkin tidak merupakan sumber Cu seluler yang nyata.

Kelebihan dan kekurangan tembaga berdampak pada sejumlah proses fisiologi di dalam tubuh manusia antara lain: 1) Menyebabkan nekrosis hati atau serosis hati. (2) Konsumsi sebanyak 10-15 mg tembaga sehari dapat menimbulkan muntah-muntah dan diare. Berbagai tahap perdarahan intravascular dapat terjadi, begitupun nekrosis sel-sel hati dan ginjal. (3) Konsumsi dosis tinggi dapat menyebabkan kematian. Apabila

kekurangan tembaga dapat menimbulkan gangguan pertumbuhan dan metabolisme, disamping itu terjadi demineralisasi tulang-tulang. Bayi gagal tumbuh kembang edema dengan serum albumin rendah, serta gangguan fungsi kekebalan.

Zinc (Zn)

Zinc (Zn) merupakan komponen penting pada struktur dan fungsi membran sel, sebagai antioksidan, dan melindungi tubuh dari serangan lipid peroksidase. Seng berperan dalam sintesis dan transkripsi protein, yaitu dalam regulasi gen. Pada suhu tinggi, tubuh banyak mengeluarkan keringat dan seng dapat hilang bersama keringat sehingga perlu penambahan. Ikatan enzim seng yang merupakan katalis reaksi hidrolitik melibatkan enzim pada bagian aktif yang bertindak "*suprefisien*." Enzim karbonik anhidrase mengkatalisis CO₂ dalam darah, enzim karboksi peptidase mengkatalisis protein dalam pankreas, enzim alkalin fosfatase.

Zn memegang peranan esensial dalam banyak fungsi tubuh, yaitu: (a) Zn sebagai bagian dari enzim atau sebagai kofaktor pada kegiatan lebih dari 200 enzim. (b) Zn berperan dalam berbagai aspek metabolisme seperti reaksi yang berkaitan dengan sintesis dan degradasi karbohidrat, protein, lipida, dan asam nukleat. (c) Zn berperan dalam pemeliharaan keseimbangan asam basa. (d) Zn sebagai bagian integral enzim DNA polymerase dan RNA polymerase yang diperlukan dalam sintesis DNA dan RNA. (e) Zn berperan dalam kekebalan yaitu, dalam sel T dan pembentukan antibody oleh sel B. Fungsi biokimia Zinc Sebagai kofaktor: (a) Carboxypeptidase A. (b) DNA polymerase dan RNA polymerase. (c) Superoxide dismutase dan (d) Carbonic Anhydrase.

Di dalam pankreas seng digunakan untuk membuat enzim pencernaan, yang pada waktu makan dikeluarkan ke dalam saluran pencernaan. Dengan demikian saluran cerna menerima seng dari dua sumber, yaitu dari makanan dan dari cairan pencernaan yang kembali ke pankreas dalam sirkulasi enteropankreatik. Bila dikonsumsi seng tinggi, di dalam sel dinding saluran cerna sebagian diubah menjadi metalotionein sebagai simpanan, sehingga absorpsi berkurang. Seperti halnya dengan besi, bentuk simpanan ini akan dibuang bersama sel-sel dinding usus halus yang umurnya adalah 2-5 hari. Metalotionein di dalam hati mengikat seng hingga dibutuhkan oleh tubuh. Metalotionein diduga mempunyai peranan dalam

mengatur kandungan seng didalam cairan intarseluler. Sumber utama Zeng adalah daging, unggas, telur, ikan, susu, keju, hati, lembaga gandum, ragi, selada, roti dan kacang-kacangan. Sumber paling baik adalah sumber protein hewani, terutama daging, hati, kerang, biji-bijian, serelia, leguminosa dan telur. Serelia tumbuk dan kacang-kacangan merupakan sumber yang terbaik namun mempunyai ketersediaan biologik yang rendah.

Kelebihan dan kekurangan Zn dapat berdampak pada fisiologi tubuh. Kelebihan Zn hingga 2 sampai 3 kali menurunkan absorpsi tembaga. Kelebihan sampai 10 kali mempengaruhi metabolisme kolesterol, mengubah nilai lipoprotein dan tampaknya dapat mempercepat timbulnya aterosklerosis. Kelebihan sampai sebanyak 2 gram atau lebih dapat menyebabkan muntah, diare, demam, kelelahan, anemia, dan gangguan reproduksi. Pada kondisi kekurangan Zn dapat berakibat pada pertumbuhan badan tidak sempurna (kerdil), gangguan dan keterlambatan pertumbuhan kematangan seksual, misalnya pencernaan terganggu, gangguan fungsi pankreas, gangguan pembentukan kilomikron dan kerusakan permukaan saluran cerna, gangguan sistem saraf pusat dan fungsi otak, mengganggu metabolisme dalam hal kekurangan vitamin A, gangguan kelenjar tiroid, gangguan nafsu makan serta memperlambat penyembuhan luka.

Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dan nomor atom 25. Mangan merupakan logam keras dan getas berwarna abu-abu merah muda. Logam ini sulit mencair, tapi mudah teroksidasi. Mangan murni bersifat amat reaktif dan dalam bentuk bubuk akan terbakar dengan oksigen, serta larut dalam asam encer. Mangan merupakan salah satu logam yang paling melimpah di tanah yang terutama berbentuk senyawa oksida dan hidroksida. Mangan terjadi terutama sebagai pyrolusite (MnO_2), dan pada jumlah lebih rendah sebagai rhodochrosite ($MnCO_3$). Sumber utama zinc antara lain sereal utuh, kacang-kacangan, buah-buahan, teh, kopi, sayur hijau, rempah-rempah, ikan, dan biji labu.

Dalam tubuh, Mn berperan sebagai katalisator dari beberapa reaksi metabolik yang penting pada protein, karbohidrat, dan lemak, dan sebagai kofaktor enzim aginase. Pada metabolisme protein, Mn mengaktifkan interkonversi asam amino dengan enzim spesifik seperti arginase, prolinase, dipeptidase. Pada metabolisme karbohidrat, Mn berperan aktif dalam

beberapa reaksi konversi pada oksidasiglukosa dan sintesis oligosakarida. Pada metabolisme lemak, Mn berperan sebagai kofaktor dalam sintesis asam lemak rantai panjang dan kolesterol. metabolisme energi dan sintesis lemak Mangan berperan sebagai konfaktor berbagai enzim yang membantu bermacam metabolisme. Enzim-enzim lain berkaitan dengan mangan juga berperan dalam sintesis uterus, pembentukan jaringan ikat dan tulang serta pencegahan peroksidasi lipid oleh radikal bebas akibat kekurangan mangan. Mangan diangkut oleh protein transmanganin dalam plasma, setelah diabsorpsi mangan masuk dalam empedu dan dikeluarkan melalui feses.

Iodium (I)

Iodin merupakan komponen esensial tiroksin dan kelenjar tiroid. Tiroksin berperan dalam meningkatkan laju oksidasi dalam sel sehingga meningkatkan *Basal Metabolic Rate* (BMR). Tiroksin juga berperan menghambat proses fosforilasi oksidatif sehingga pembentukan Adenosin Trifosfat (ATP) berkurang dan lebih banyak dihasilkan panas. Tiroksin juga mempengaruhi sintesis protein. Iodin secara perlahan-lahan diserap dari dinding saluran pencernaan ke dalam darah. Penyerapan tersebut terutama terjadi dalam usus halus, meskipun dapat berlangsung pula dalam lambung. Dalam usus, iodin bebas atau iodat mengalami reduksi menjadi iodida sebelum diserap tubuh. Dalam peredaran darah, iodida menyebar ke dalam cairan ekstraseluler seperti halnya klorida. Iodida yang masuk ke dalam kelenjar tiroid dengan cepat dioksidasi dan diubah menjadi iodin organik melalui penggabungan dengan tiroksin. Proses tersebut terjadi pula secara terbatas dalam ovum. Sumber iodium di antaranya adalah: sayur-sayuran, ikan laut, dan rumput laut. Sedangkan fungsi dari iodium di antaranya adalah sebagai komponen esensial tiroksin dan kelenjar tiroid.

Iodin (I) diperlukan tubuh untuk membentuk tiroksin, suatu hormon dalam kelenjar tiroid. Tiroksin merupakan hormon utama yang dikeluarkan oleh kelenjar tiroid. Setiap molekul tiroksin mengandung empat atom iodin. Sebagian besar iodin diserap melalui usus halus, dan sebagian kecil langsung masuk ke dalam saluran darah melalui dinding lambung. Sebagian iodin masuk ke dalam kelenjar tiroid, yang kadarnya 25 kali lebih tinggi dibanding yang ada dalam darah. Namun bila jumlah yang sedikit ini tidak terdapat dalam bahan pakan maka ternak akan kekurangan iodin. Lebih dari

setengah iodine dalam tubuh terdapat pada kelenjar perisai (tiroid). Meskipun sebagian besar iodine tubuh terdapat dalam kelenjar tiroid, iodine juga ditemukan dalam kelenjar ludah, lambung, usus halus, kulit, rambut, kelenjar susu, plasenta, dan ovarium.

Pembentukan dan sekresi tiroglobulin sebagai bahan dasar hormon tiroid dilakukan oleh sel-sel tiroid. Setiap molekul tiroglobulin mengandung 140 asam amino tirosin, dan tirosin merupakan substrat utama yang berikatan dengan yodium untuk membentuk hormon thyroid dimana hormon ini dibentuk dalam molekul tiroglobulin. Oksidasi ion yodida adalah langkah penting dalam pembentukan hormon thyroid yaitu perubahan ion yodida menjadi bentuk yodium teroksidasi yang kemudian mampu berikatan langsung dengan asam amino tirosin. Proses oksidasi ini dipermudah oleh enzim peroksidase dan hidrogen peroksida yang menyertainya. Pengikatan yodium dengan molekul tiroglobulin dinamai organifikasi tiroglobulin. Yodium yang telah dioksidasi dalam bentuk molekul akan terikat langsung tetapi perlahan-lahan dengan asam amino tirosin, tetapi bila yodium yang telah teroksidasi disertai dengan sistem enzim peroksidasi, maka proses ini dapat terjadi dalam beberapa detik atau menit. Stadium akhir dari yodinasi tirosin adalah pembentukan dua hormon thyroid yang penting yaitu tiroksin dan triyodotironin. Tirosin mula-mula dioksidasi menjadi monoyodotironin dan diyodotironin. Dua molekul diyodotironin bergabung membentuk tiroksin (T₄), dan satu molekul diyodotironin bergabung dengan satu molekul monoyodotironin membentuk triyodotironin (T₃).

Kelebihan dan kekurangan iodine dapat berdampak pada kesehatan manusia. Kekurangan iodine dapat menyebabkan Gondok, kretinisme, pembesaran kelenjar tiroid, hambatan mental dan pertumbuhan pada anak; gemuk pada orang dewasa. Kelebihan hormone iodine dapat menyebabkan pembesaran kelenjar tiroid yang menutupi jalan pernafasan.

C. RANGKUMAN

1. Vitamin merupakan nutrisi organik dengan fungsi metabolic esensial, yang umumnya dibutuhkan dalam jumlah sedikit pada makanan karena vitamin tidak dapat disintesis oleh tubuh.
2. Berdasarkan kelarutannya, vitamin terbagi menjadi 2 golongan yaitu vitamin yang larut dalam air dan vitamin yang larut dalam lipid.

3. Vitamin yang larut dalam air yaitu vitamin C, B1, B2, B6, B12, niasin, asam tetrathidofolat, asam pentotenat, dan biotin.
4. Vitamin yang larut dalam lipid yaitu vitamin A, D, E, dan K
5. Vitamin A berupa retinol dan β -karoten berperan sebagai pigmen penglihatan di retina, berperan pada regulasi ekspresi gen dan diferensiasi sel. β -karoten merupakan suatu antioksidan yang berperan dalam menangkal radikal bebas.
6. Vitamin D berperan dalam memelihara keseimbangan kalsium, meningkatkan penyerapan Ca^{2+} di usus dan memobilisasi mineral tulang, meregulasi ekspresi gen dan diferensiasi sel.
7. Vitamin E berperan sebagai antioksidan terutama membrane sel dan juga dalam pembentukan sinyal sel.
8. Vitamin K merupakan koenzim dalam pembentukan β -karboksiglutamat dalam enzim pembekuan darah dan matriks tulang.
9. Vitamin B1 merupakan koenzim dalam piruvat dan α -ketoglutarat dehydrogenase, dan transketolase, mengatur kanal Cl^- dalam hantaran saraf.
10. Vitamin B2 merupakan koenzim dalam reaksi oksidasi dan reduksi gugus prostetik flavoprotein.
11. Niasin merupakan koenzim dalam reaksi oksidasi dan reduksi bagian fungsional NAD dan NADP serta berperan dalam regulasi kalsium intrasel dan pembentukan sinyal sel.
12. Vitamin B6 berperan sebagai koenzim dalam transaminase dan dekarboksilasi asam amino dan glikogen fosforilase, modulasi kerja hormone steroid.
13. Asam folat berperan sebagai koenzim dalam pemindahan fragmen satu karbon
14. Vitamin B12 (Kobalamin) merupakan koenzim dalam pemindahan fragmen satu karbon dan metabolisme asam folat.
15. Vitamin C berperan sebagai koenzim dalam hidrosilasi prolin dan lisin pada sintesis kolagen, antioksidan dan meningkatkan penyerapan besi.
16. Mineral adalah senyawa non-organik yang tubuh Anda butuhkan agar bisa berkembang dan berfungsi dengan normal. Meskipun diperlukan dalam jumlah sedikit, fungsi mineral sangat beragam dan mencakup berbagai sistem dan organ tubuh.

17. Terdapat 2 kelompok mineral yaitu makromineral dan mikromineral. Makromineral adalah mineral yang diperlukan dalam jumlah besar. Rentang kebutuhan mineral makro berkisar dari beberapa belas hingga lebih besar dari 100 mg/hari.
18. Beberapa contoh makromineral yaitu Kalsium, Natrium, Kalium, Fosfor, Magnesium, Klor dan belerang. Mikromineral atau *trace elements* adalah mineral yang diperlukan dalam jumlah kecil, yakni kurang dari 100 miligram.
19. Beberapa mineral yang tergolong sebagai *trace elements* yaitu zat besi (Fe), tembaga, zinc, mangan, dan yodium.

D. TUGAS

1. Jelaskan fungsi dari vitamin-vitamin yang larut dalam air!
2. Jelaskan fungsi dari vitamin-vitamin yang larut dalam lipid!
3. Jelaskan gangguan yang dialami jika kekurangan vitamin A, D, E dan K!
4. Jelaskan gangguan yang dialami jika kekurangan vitamin B kompleks dan vitamin C!
5. Jelaskan fungsi dari makromineral yang dibutuhkan oleh tubuh manusia!
6. Jelaskan fungsi dari micromineral yang dibutuhkan oleh tubuh manusia!

E. REFERENSI

1. Agustini, Rudiana. (2019). MINERAL Fungsi dan Metabolismenya. Surabaya: Cahyawati, P. N. (2018). Transport, Metabolisme dan Peran Vitamin A dalam Imunitas. *WICAKSANA: Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 2(2), 43-47.
2. Penerbit Karunia.
3. Fiannisa, R. (2019). Vitamin D sebagai Pencegahan Penyakit Degeneratif hingga Keganasan. *Medula*, 9(3), 385-392.
4. Murray, Robert K. (2019). Biokimia harper. Jakarta: EGC.
5. Rahayu, A. (2020). BUKU AJAR: DASAR DASAR GIZI.
6. Rizal, S., & Raissa, N. (2017). Vitamin A Dan Perannya Dalam Siklus Sel.

F. GLOSARIUM

1. Vitamin merupakan sekelompok senyawa heterogen dengan berbagai fungsi metabolik yang harus ada pada makanan dalam jumlah kecil untuk mempertahankan integritas metabolik normal.
2. Mineral adalah senyawa non-organik yang tubuh Anda butuhkan agar bisa berkembang dan berfungsi dengan normal terdiri dari makromineral (Kalsium, Natrium, Kalium, Fosfor, Magnesium, Klor dan belerang) dan mikromineral (zat besi (Fe), tembaga, zinc, mangan, dan yodium).

BAB V
ENZIM DAN KOFAKTOR
Marnida Yusfiani, S.Pd., M.Pd.

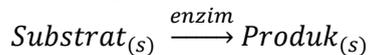
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Memahami enzim dan segala aktivitasnya
2. Memahami factor-faktor yang memengaruhi kerja enzim
3. Memahami inhibitor pada enzim

B. MATERI

1. Enzim Bagian Protein

Enzim termasuk ke dalam makromolekul, dengan memiliki berat dari 5000 – 5.000.000 molekul dan memiliki struktur yang kompleks. Enzim termasuk ke dalam protein katalitik aktif dilihat dari kemampuan mengaktifkan substrat dan mengubahnya menjadi produk.



Beberapa enzim tidak memerlukan gugus kimia selain residu asam amino dalam beraktifitas. Sedangkan lainnya memertlukan komponen kimia tambahan yang disebut Kofaktor.

Tabel 5.1. Unsur Anorganik yang berperan sebagai Kofaktor pada Enzim

Cu²⁺	Sitokrom oksidase
Fe²⁺ dan Fe³⁺	Sitokrom oksidase, katalase, peroksidase
K+	Piruvat Kinase
Mg²⁺	Heksokinase, Glukosa-6-fosfat, Piruvat kinase
Mn²⁺	Arginase, Ribonukleat reduktase
Mo	Dinitrogenase
Ni²⁺	Urease
Se	Glutation peroksidase
Zn²⁺	Karbonil anhidrase, alkohol dehidrogenase, Karboksipeptidase A dan B.

Satu atau lebih dari ion anorganik, contoh: Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , atau Zn^{2+} ; atau senyawa organik kompleks disebut dengan Koenzim, enzim berperan spesifik dalam katalisis tidak seperti bagian protein lainnya.

Tabel 5.2. Koenzim yang berperan dalam membawa atom atau gugus fungsi

Koenzim	Contoh pemindahan sementara gugus kimia	Terdapat pada bahan makanan mamalia
Biositin Koenzim A	CO_2 Group Asil	Biotin Asam pantotenat dan senyawa lainnya
5'- Deoksiadenosilcobalamin (Koenzim B_{12})	Atom H dan Group Alkil	Vitamin B_{12}
Flavin adenin dinukleotida	Elektron	Riboflavin (Vitamin B_2)
Lipoat	Elektron dan group Alkil	Tidak ditemukan dalam makanan
Nikotinamida adenin dinukleotida	Ion Hidrida ($:H^-$)	Asam nikotenat (Niacin)
Piridoksal fosfat	Group Amino	Piridoksin (Vitamin B_6)
Tetrahidrofolat	Kelompok Karbon-satu	Folat
Tiamin pirofosfat	Aldehida	Tiamin (Vitamin B_1)

Koenzim atau ion logam yang terikat sangat erat atau ikatan kovalen disebut kelompok prostetik untuk protein enzim. Enzim katalitik lengkap reaktif dan koenzim terikat dan/ atau ion logam dinyatakan holoenzim.

$$\text{Apoenzim} + \text{Kofaktor} = \text{holoenzim}$$

Bagian protein dari enzim tersebut dinyatakan apoenzim atau apoprotein. Koenzim berfungsi sebagai transien sebuah pembawa pada kelompok fungsional tertentu. Sebagian besar merupakan senyawa turunan pada vitamin, nutrisi organik yang dibutuhkan dalam jumlah kecil dalam tubuh. Protein enzim dimodifikasi secara ikatan kovalen melalui fosforilasi,

glikosilasi, serta proses lainnya. Perubahan ini berkaitan dengan aktivitas enzim.

2. Klasifikasi Enzim berdasarkan Reaksi Katalisis

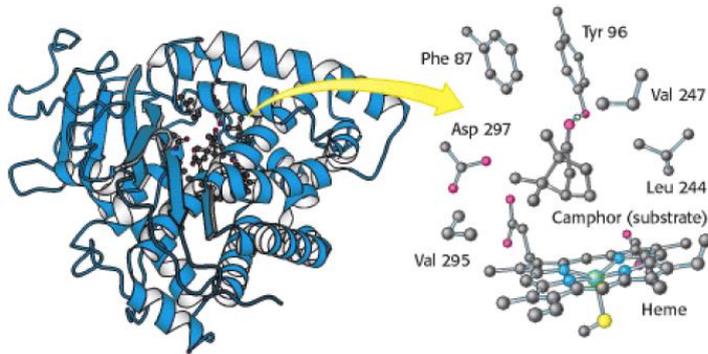
Penamaan enzim pada umumnya dengan menambahkan akhiran *-ase* dari nama substrat yang menggambarkan aktivitas enzim. Beberapa enzim lainnya dinamakan berdasarkan penemuan berbagai fungsi sebelum reaksi katalitik. Penamaan ini berdasarkan dari Enzyme Commission Number (E.C. Number).

Tabel 5.3. Klasifikasi Enzim Internasional

No.	Kelas	Jenis reaksi katalisis
1	Oksidoreduktase	Perpindahan elektron (Ion Hidrida atau atom H)
2	Transferase	Reaksi perpindahan gugus
3	Hidrolase	Reaksi hidrolisis (perpindahan gugus fungsional dalam air)
4	Liase	Penambahan ikatan rangkap dua di dalam kelompok, atau pembentukan dari ikatan rangkap dengan perpindahan kelompok.
5	Isomerase	Perpindahan kelompok molekul pada bentuk isomer
6	Ligase	Bentuk ikatan dari C – C, C – S, C – O, dan C – N dengan reaksi kondensasi pasangan elektron pada pemecahan ATP

3. Struktur dan Fungsi Katalisis Enzim

Enzim merupakan protein, tetapi tidak semua protein adalah enzim. Perbedaannya adalah enzim memiliki aktivitas katalitik. Bagian dari struktur tersier enzim. Bagian yang terlibat pada aktivitas katalitik disebut “situs aktif”. Bagian ini hanya 10 – 20% dari jumlah total enzim. Situs aktif biasanya berupa celah atau rongga hidrofilik.

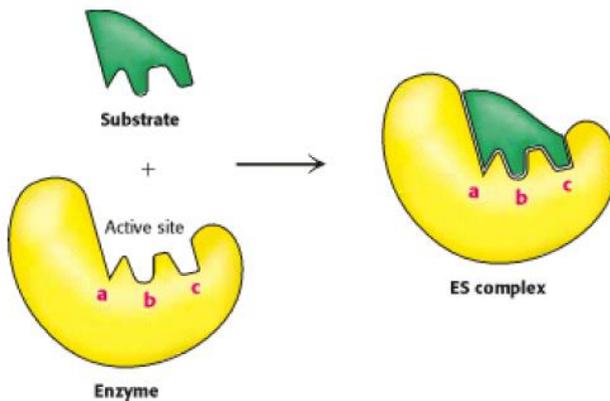


Gambar 5.1. Struktur Kompleks Enzim – Substrat

Sumber: Berg, 2002

Rantai samping asam amino yang mengikat substrat dan melakukan perawatan enzimatis. Dalam beberapa kasus, pusat aktif enzim mengikat satu atau lebih Kofaktor untuk membantu jenis katalisis tertentu.

Rantai samping asam amino yang mengikat substrat dan melakukan ikatan enzimatis Reaksi disajikan pada Gambar 5.2. Dalam beberapa kasus enzim dapat mengikat satu atau lebih Kofaktor untuk membantu jenis katalisis tertentu.



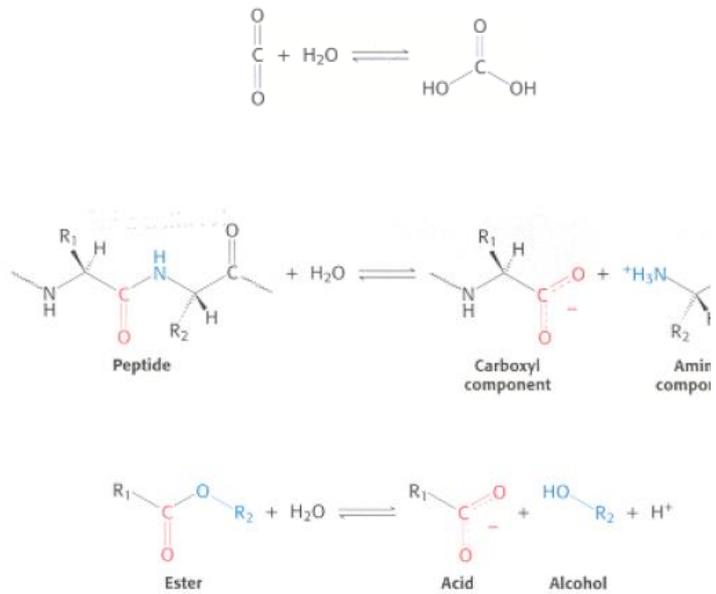
Gambar 5.2. Model Lock and Key, Ikatan Enzim Substrat

Sumber: Berg, 2002

Katalisis adalah selektivitas substratnya yang tinggi, yang disebabkan oleh banyak zat yang sangat spesifik. Enzim mempercepat reaksi lebih dari 1 juta kali. Faktanya, sebagian besar reaksi bersifat biologis Tanpa enzim,

sistem tidak muncul pada tingkat yang terlihat. Bahkan reaksi yang sederhana seperti hidrasi

Karbon dioksida dikatalisis oleh enzim yang disebut karbonat anhidrase. Perpindahan CO₂ dari tanpa enzim ini, jaringan ke darah, lalu jaringan ke udara alveoli, tidak sempurna. Faktanya, asam karbonat anhidrase adalah salah satu enzim yang paling cepat diketahui. Setiap molekul enzim dapat menghidrasi 106 molekul CO₂ per detik. Reaksi katalitik ini 107 kali lebih cepat daripada reaksi non-katalitik. Pertimbangkan mekanisme karbonasi enzim-enzim yang dikatalisis anhidrase sangat spesifik baik dalam reaksi yang dikatalisisnya maupun dalam pemilihannya. Sebuah reaktan disebut substrat. Enzim biasanya mengkatalisis reaksi kimia tunggal atau serangkaian reaksi



Gambar 5.3 Katalisis enzim proteolitik

Sumber: Berg, 2002

Katalisis enzim proteolitik pada Gambar 5.3., merupakan hidrolisis pada ikatan peptide. Pada umumnya enzim proteolitik di katalisis berbeda tetapi reaksi terjadi secara in vitro. Hidrolisis pada ikatan ester lebih mudah dari reaksi proteolisis itu sendiri. Enzim proteolitik ditandai berbeda pada tingkatan dengan substrat yang spesifik. Subtilisin, ditemukan pada bakteri

tertentu yang memotong ikatan peptide pada rantai sisi samping. Tripsin merupakan enzim pencernaan, sangat spesifik dan mengkatalis ikatan peptida yang terpisah pada sisi ikatan karboksil pada Lisin dan sisa Arginin. Trombin merupakan enzim yang berperan dalam darah.

4. Inhibitor Enzim

Aktivitas enzim dapat dihambat dengan mengikat molekul atau ion kecil tertentu. Penghambatan aktivitas enzim berfungsi sebagai mekanisme pengaturan utama sistem biologis. Penyesuaian alosterik enzim adalah tipikal dari pengontrolan. Selain itu banyak ditemukan obat dan racun bekerja dengan cara menghambat enzim.

Inhibitor tertentu sering digunakan dalam mengidentifikasi residu dalam katalisis. Keadaan transisi sebagai inhibitor. Penghambatan enzim dapat bersifat reversible atau irreversible. Inhibitor irreversible berdisosiasi sangat lambat dari inhibitor menargetkan enzim karena terikat dengan enzim, baik secara kovalen maupun non kovalen.

Beberapa irreversible inhibitor adalah obat yang penting. Penisilin bekerja dengan memodifikasi enzim transpeptidase secara kovalen. Akumulasi dinding sel bakteri dan dengan demikian membunuh bakteri. Aspirin bekerja dengan memodifikasi dengan ikatan kovalen enzim siklooksigenase mengurangi sintesis sinyal inflamasi. Berbeda dengan penghambatan irreversible, penghambatan reversible ditandai dengan disosiasi yang cepat dan penghambat enzim rumit. Dalam kasus penghambatan kompetitif, enzim dapat mengikat substrat atau inhibitor, atau tidak keduanya. Inhibitor kompetitif menyerupai substrat dan berikatan dengan sisi aktif enzim. Ini mencegah substrat dari mengikat ke situs aktif yang sama.

Inhibitor kompetitif katalisis dengan mengurangi proporsi molekul enzim yang mengikat substrat. Pada setiap konsentrasi inhibitor dengan meningkatkan konsentrasi substrat, penghambatan kompetitif dapat dibalik. Substrat bersaing dengan penghambat situs aktif. Methotrexate adalah analog struktural asam tetrahydrofolic, koenzim asam tetrahydrofolic. Dihydrofolate reductase, suatu enzim yang terlibat dalam biosintesis purin dan pirimidin. Ini mengikat 1000 kali lebih kuat melawan dihydrofolate reductase daripada substrat alami dan menghambat sintesis basa nukleotida.

Inilah yang digunakan untuk mengobati kanker. Dalam inhibisi non-kompetitif, yang juga reversibel, inhibitor dan substrat dapat mengikat enzim pada saat yang bersamaan. Molekul dengan situs pengikatan yang berbeda. Inhibitor non-kompetitif bekerja dengan mengurangi angka turnover alih-alih mengurangi proporsi molekul enzim yang mengikat substrat. penghambatan non-kompetitif, tidak seperti penghambatan kompetitif, itu tidak dapat diatasi dengan meningkatkan konsentrasi substrat. Hal-hal yang kompleks pola yang disebut penghambatan campuran terjadi ketika penghambat tunggal mengganggu dan mengurangi pengikatan substrat jumlah pergantian enzim.

C. RANGKUMAN

Enzim merupakan termasuk makromolekul protein dengan peran utama sebagai katalisator atau mempercepat reaksi di dalam tubuh. Penamaan enzim pada umumnya berdasarkan substratnya yang diberi akhiran -ase. Enzim bekerja pada substrat tertentu, dan dalam reaksinya berperan koenzim dan kofaktor. Kofaktor terbagi menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu: koenzim, gugus prostetik, dan ion metal. Berdasarkan reaksi katalisis, enzim digolongkan dalam 6 (enam) jenis reaksi, yaitu: Oksireduktase, Transferase, Hidrolase, Liase, Isomerae, dan Ligase.

D. TUGAS

Jawab pertanyaan berikut dengan benar

1. Enzim merupakan bagian dari protein, tetapi protein bukan bagian dari enzim. Jelaskan.
2. Sebutkan 5 (lima) enzim dan substratnya
3. Jabarkan klasifikasi dari reaksi katalisis pembentukan enzim.
4. Apakah perbedaan dari koenzim dan kofaktor
5. Sebutkan minimal 5 (lima) kofaktor serta perannya
6. Sebutkan minimal 5 (lima) koenzim beserta reaksi dan asal bahan pangan
7. Sebutkan 3 (tiga) bagian kofaktor
8. Jelaskan perbedaan holoenzim dan apoenzim.
9. Mengapa aktivitas enzim dapat dihambat?
10. Bagaimana proses penghambatan (inhibisi) enzim?
11. Jelaskan perbedaan inhibitor enzim reversible dan non reversible.

12. Jelaskan contoh penerapan inhibitor enzim

E. REFERENSI

- Berg, J., M., Tymoko, J., L., Stryer, L. 2002. Biochemistry. 5th Edition. W. H. Freeman and Company.
- Fennema, O., R. 1996. Food Chemistry. 3rd Edition. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Lehninger. 2005. Biochemistry. 4th Edition.
- Bug, T. 2004. Introduction to Enzyme and Co-enzyme Chemistry. 2nd Edition. Black Well. UK
- Palmer, T. 2007. Enzymes: Biochemistry, Biotechnology, and Clinical Chemistry, 2nd Edition. Woodhead Publishing. Cambridge.

F. GLOSARIUM

- Enzim : Biomolekul protein berperan sebagai katalisator dalam mempercepat reaksi biologis di dalam tubuh.
- Substrat : Molekul sebagai sasaran aktivitas enzim, dan berikatan pada situs aktif enzim.
- Koenzim : Zat yang membantu kerja protein dalam mengikat enzim pada proses pencernaan
- Kofaktor : Bagian dari enzim yang berfungsi dalam aktivitas katalitik
- Katalisis : Penambahan zat yang berfungsi untuk mempercepat reaksi
- Inhibitor : Penghambat aktivitas enzim.
- Holoenzim : Enzim yang komponennya terdiri dari protein dan gugus bukan protein
- Revesibel : Reaksi kimia yang membentuk hasil reaksi, dan dapat bereaksi kembali menghasilkan zat asal
- Ireversibel : Reaksi kimia yang menghasilkan zat baru dan tidak dapat kembali bereaksi membentuk zat asal.

G. INDEKS

Inhibitor, 78, 83

Katalisis, 79, 80, 81, 82

Koenzim, 79, 84

Kofaktor, 78, 79, 81, 84, 86

Substrat, 81, 83

BAB VI
HORMON DALAM METABOLISME
Ahmad Fauzan Lubis, S.Pi., M.Si.

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Agar mahasiswa memahami konsep hormon dalam metabolisme.

B. MATERI

Definisi Hormon

Sistem endokrin merupakan sistem yang unik karena terdiri dari kelompok berbagai kelenjar atau jaringan yang tersebar di seluruh tubuh. Kelenjar tubuh memiliki fungsi baik eksokrin atau endokrin. Kelenjar eksokrin, termasuk kelenjar keringat dan kelenjar lakrimal, bertanggung jawab untuk mengeluarkan zat langsung ke saluran yang mengarah ke daerah sasaran. Endokrin Istilah (endodalam, Crin-mensekresikan) ini menunjukkan bahwa sekresi dibentuk oleh kelenjar secara langsung masuk ke darah atau limfa sirkulasi dan perjalanan ke jaringan target, dan bukan diangkut melalui tuba atau duktus. Sekresi ini, disebut hormon, yang merupakan bahan kimia yang memicu atau mengontrol aktivitas organ, sistem, atau kelenjar lain di bagian tubuh lain (White, Duncan, & Baumle, 2013). Hormon juga memainkan peran penting dalam mengatur proses homeostasis seperti: metabolisme, tumbang, keseimbangan cairan dan elektrolit, proses reproduksi, dan siklus bangun dan tidur (Timby & Smith, 2010).

Hormon merupakan getah yang dihasilkan oleh suatu kelenjar dan langsung diedarkan oleh darah. Kelenjar tersebut tidak mempunyai saluran khusus dan disebut sebagai kelenjar endokrin atau kelenjar buntu. Kata hormon berasal dari kata hormaein yang yang berarti memacu atau menggiatkan. Hormon diperlukan oleh tubuh dalam jumlah sedikit, tetapi mempunyai pengaruh yang amat besar. Hormon mempunyai ciri-cirinya sebagai berikut:

1. Diproduksi dan disekresikan ke dalam darah oleh sel kelenjar endokrin dalam jumlah sangat kecil
2. Diangkut oleh darah menuju ke sel/jaringan target

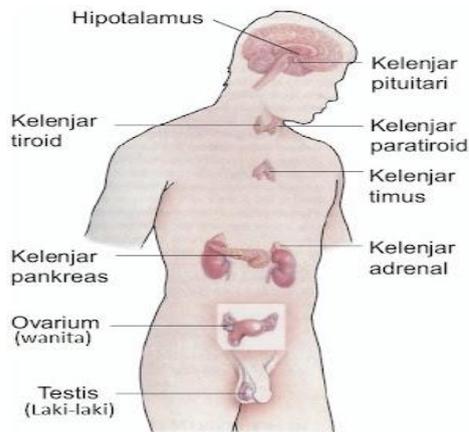
3. Mengadakan interaksi dengan reseptor khusus yang terdapat dalam sel target
4. Mempunyai pengaruh mengaktifkan enzim khusus
5. Mempunyai pengaruh tidak hanya terhadap satu sel target, tetapi dapat juga mempengaruhi beberapa sel target yang berlainan.

Secara umum Fungsi hormon (Tortora & Derrickson, 2014) adalah:

1. Membantu mengatur
 - a. Komposisi kimia dan volume cairan intersisial
 - b. Metabolism dan keseimbangan energi
 - c. Kontraksi otot halus dan jantung
 - d. Sekresi kelenjar
 - e. Aktivitas sistem kekebalan tubuh
2. Kontrol tumbuh dan kembang
3. Pengontrol sistem reproduksi
4. Membantu membentuk ritme sirkadian

Berdasarkan aktivitasnya, kelenjar endokrin dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu sebagai berikut.

1. Kelenjar yang bekerja sepanjang hayat, misalnya hormon yang memegang peranan dalam metabolisme
2. Kelenjar yang bekerja mulai masa tertentu, misalnya hormon kelamin
3. Kelenjar yang bekerja sampai masa tertentu saja, misalnya hormon pertumbuhan dan hormon timus.



Sumber: *Biology, Raven dan Johnson*

Gambar 6.1 Kelenjar Endokrin pada Manusia

Tabel 6.1 Macam-macam Kelenjar Endokrin
dan Hormon yang dihasilkan

No	Kelenjar	Letak	Hormon	Fungsi
1	Hipofisis/ Pituitari	Dasar otak Besar		
	a. Lobus Anterior		Hormon Adrenokortikotro- pik (ACTH): Suatu polipeptida yang mengandung 39 asam amino	<ul style="list-style-type: none"> • Merangsang korteks kelenjar adrenal untuk melepaskan beberapa hormonnya ke dalam aliran darah • Merangsang kelenjar adrenal untuk mensekresi glukokortikoid (Hormon yang dihasilkan untuk metabolisme karbohidrat)
			Hormon Pertumbuhan manusia (HGH)/ somatomedin: Rantai polipeptida yang mengandung 191 asam amino	<ul style="list-style-type: none"> • Merangsang pertumbuhan kerangka dan tubuh secara keseluruhan • Merangsang sintesis protein dan metabolisme lemak, serta merangsang pertumbuhan tulang otot, dan

				<p> jaringan ikat lainnya</p>
			<p>Hormon Perangsang Folikel (FSH): Bekerja pada gonad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Merangsang spermatogenesis • Merangsang pematangan folikel dalam ovarium • Menghasilkan hormone estrogen
			<p>Hormon Luteinizing (LH)</p>	<p>Menstimulasi pembentukan hormon progesteron</p>
			<p>Prolaktin (PRL)</p>	<p>Merangsang sekresi susu setelah kelahiran</p> <p>Meningkatkan reabsorpsi garam oleh ginjal - Pada wanita untuk retensi cairan tepat terjadinya menstruasi</p> <p>Pada laki -laki meningkatkan perkembangan kelenjar kelamin pelengkap (misalnya kelenjar prostat dan kantung mani) dan sekresi testostosterone.</p> <p>Pada vertebrata</p>

				<p>memicu kegiatan maternal yang tepat bagi spesies (misalnya pada beberapa burung merangsang sifat mengeram, yaitu kecenderungan duduk di sarang)</p> <p>Pada spesies salamander, merangsang hewan tersebut kembali ke air untuk meletakkan dan membuahi telur-telurnya</p>
			Hormon perangsang tiroid (TSH)	Merangsang kelenjar teroid dan mensekresi hormone tiroksin
			Beta –lipotropin (β - LPH): Suatu polipeptida yang mengandung 91 asam amino	Mingkatkan metabolisme lemak
	b. Intermedia		Hormon perangsang melanosit (MSH)	Mempengaruhi pembentukan warna kulit (Melamin)
	c. Lobus Posterior		Oksitosin	Merangsang kontraksi otot pada uterus saat proses kelahiran
			ADH (antidiuretic hormon)/	Mencegah pembentukan

			vasopresin	urine dalam jumlah banyak
2	Kelenjar Tiroid/gondok	Daerah leher dekat jakun	Tiroksin	Mempengaruhi proses metabolisme, pertumbuhan fisik, menurunkan kadar kalsium (Ca) dalam darah, dan mempengaruhi perkembangan mental
			Triyodotironin	Mempengaruhi distribusi air dan garam dalam tubuh
			Kalsitonin	Memacu pengendapan kalsium dalam tulang
3	Kelenjar Paratiroid/anak gondok	Daerah dorsal kelenjar gondok	Parathormon	Mengendalikan kadar kalsium dalam darah dan tulang
4	Adrenal/anak ginjal	Daerah diatas ginjal		
	a. Korteks		Glukokortikoid	Menaikkan kadar glukosa darah, mengubah glikogen menjadi glukosa
			Korteks Mineral	<ul style="list-style-type: none"> • Menyerap natrium darah • Mengatur reabsorpsi air

				pada ginjal
	b. Medula		Androgen	Membentuk sifat kelamin sekunder pria
			Adrenalin/epineprin	Mengubah glikogen dalam otot menjadi glukosa (dalam darah)
5	Prankreas/ Langer hans	Sebelah bawah lambung	Insulin	Mengubah glukosa menjadi glikogen dihati
			Glukagon	Mengubah glikogen menjadi glukosa
6	Gonad/Kelamin	Daerah perut (wanita)	Estrogen	Menentukan ciri pertumbuhan kelamin sekunder pada wanita
			Progesteron	Penebalan dan perbaikan dinding uterus
		Dalam buah dzakar (pria)	Testosteron	Menentukan ciri pertumbuhan kelamin sekunder pada pria
7	Timus	Daerah dada	Thymosin	Sistem imun (kekebalan)

Pada makhluk hidup, khususnya manusia hormon dihasilkan oleh kelenjar yang tersebar dalam tubuh. Cara kerja hormon di dalam tubuh tidak dapat diketahui secara cepat perubahannya, akan tetapi memerlukan waktu yang lama. Tidak seperti sistem saraf yang cara kerjanya dengan cepat dapat dilihat perubahannya. Hal ini karena hormon yang dihasilkan akan langsung diedarkan oleh darah melalui pembuluh darah, sehingga memerlukan waktu yang panjang.

Klasifikasi Biokimia Hormon

Secara struktur kimiawi, hormon diklasifikasikan ke dalam 3 (tiga) golongan, yaitu:

1. Steroid
2. Protein (100 asam amino) dan Polipeptida (kurang 100 asam amino)
3. Amina

Hormon kelompok steroid diproduksi oleh bagian kortek adrenal, testes, Ovarium, dan plasenta. Kelompok hormon ini disintesis dari bahan dasar kolesterol, bersifat larut dalam lipid, bersifat lipofilik atau hidrofobik sehingga hormon ini dapat melintasi membran sel dengan mudah dan terikat dengan reseptornya yang berada di intraseluler. Meskipun hormon ini hanya disimpan dalam jumlah sedikit di sel endokrin penghasilnya, sejumlah besar ester kolesterol yang tersimpan di vakuola sitoplasma dapat dengan cepat dimobilisasi untuk sintesis steroid setelah adanya stimulus. Kebanyakan kolesterol di dalam sel penghasil steroid berasal dari plasma, tapi sintesis *de novo* juga terjadi di sel penghasil steroid.

Hormon golongan protein dan peptida bersifat larut dalam air atau hidrofilik dan disintesis di retikulum endoplasma granuler (REG) pada sel endokrin dimulai dari prekursor hormon yang belum mempunyai aktivitas biologis sebagai hormon, kemudian menjadi prohormon dan dibawa ke badan Golgi dan dikemas dalam vesikel sekretorik pada akhirnya vesikel disimpan di sitoplasma, apabila dikeluarkan dengan cara eksositosis.

Hormon amina berasal dari tirosin. Dua kelompok hormon yang berasal dari tirosin adalah hormon-hormon kelenjar tiroid dan medulla adrenal, dibentuk oleh aksi enzim-enzim yang berada di kompartemen sitoplasmik sel kelenjar. Hormon tiroid disintesis dan disimpan di kelenjar tiroid dan berikatan dengan makromolekul protein tiroglobulin yang disimpan di folikel besar di kelenjar tiroid. Sekresi hormon terjadi ketika amina dipisahkan dari tiroglobulin dan hormon berbentuk bebas sekresi dalam aliran darah. Setelah memasuki peredaran darah, kebanyakan hormon tiroid berkombinasi dengan protein plasma, khususnya thyroxine-binding globulin, yang perlahan-lahan melepaskan hormon ke jaringan target.

Selain dibedakan berdasarkan sifat kelarutan, struktur kimiawi, hormon juga dibedakan berdasarkan fungsi umumnya, yaitu:

1. Hormon perkembangan atau growth hormone, yaitu hormon yang memegang peranan di dalam perkembangan dan pertumbuhan.
2. Hormon metabolisme, hormon yang termasuk golongan ini mengatur proses homeostasis glukosa dalam tubuh. Fungsi ini dikendalikan dan diatur bermacam-macam hormon, contoh glukokortikoid, glukagon, dan katekolamin.
3. Hormon tropik, hormon kelompok ini dihasilkan oleh struktur khusus dalam pengaturan fungsi endokrin yakni kelenjar hipofisis sebagai hormon perangsang pertumbuhan folikel (FSH) pada ovarium dan proses spermatogenesis (LH).
4. Hormon pengatur metabolisme air dan mineral, contoh kelompok hormon ini adalah kalsitonin dihasilkan oleh kelenjar tiroid untuk mengatur metabolisme kalsium dan fosfor.

Mekanisme Kerja Hormon

Untuk dapat memahami mekanisme kerja hormon, maka perlu diketahui konsep komunikasi sel. Sel berkomunikasi satu dengan yang lainnya melalui sinyal kimiawi. Sinyal kimiawi tersebut dapat berupa molekul kimia sederhana seperti derivat asam amino atau derivat asam lemak, atau senyawa yang lebih kompleks seperti peptida, protein, atau steroid. Komunikasi biasanya terjadi antar sel di dalam jaringan atau organ, juga dengan jarak tertentu dalam rangka integrasi aktivitas sel atau jaringan di organ yang berbeda. Untuk terjadi komunikasi antar sel, maka permukaan/membran sel harus melakukan kontak atau ada substansi kimia yang terpisah dari permukaan sel atau molekul yang dapat melintas dari sitosol sel ke sel yang lain melalui tautan (gap junction). Untuk komunikasi dengan sel dekatnya, sinyal kimiawi dibebaskan suatu sel di ekstraseluler menuju sel yang ada di sekitarnya. Mekanisme ini dinamakan parakrin atau sekresi lokal. Kadang-kadang respon sel yang timbul karena hasil sekresinya sendiri. Mekanisme komunikasi ini disebut autokrin. Namun apabila letak sel, jaringan/organ jauh dari sumber dilepaskannya sinyal kimiawi, maka molekul kimiawi pembawa pesan tadi dilewatkan pembuluh darah dan

menuju organ target. Metode komunikasi itu dinamakan endokrin atau sekresi internal, sementara hasil sekretnya disebut hormon.

Dalam bekerja terhadap sel target, hormon mempunyai tiga mekanisme kerja utama, yaitu:

1. Mengubah permeabilitas saluran (membran) dengan bekerja pada protein saluran (protein kanal) yang sudah ada;
2. Bekerja melalui sistem pembawa pesan kedua (second messenger) untuk mempengaruhi aktivitas sel;
3. Pengaktifan gen spesifik untuk sintesis protein baru. Hormon dalam bekerja juga memerlukan reseptor spesifik. Reseptor pada umumnya adalah molekul protein dengan struktur tertentu sehingga hanya melakukan pengikatan dengan hormon/analog dengan struktur hormon tertentu. Reseptor hormon terletak di membrane sel/sitoplasma sel. Dengan demikian hormon yang dibebaskan ke dalam darah hanya bekerja pada sel atau jaringan tertentu yang mempunyai reseptor spesifik terhadap hormon tersebut.

Berdasarkan lokasinya, reseptor hormon dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu:

1. Reseptor membran (secara umum untuk hormon protein, peptida, dan katekolamin)
2. Reseptor sitoplasma (steroid)
3. Reseptor nukleus (tiroid dan steroid)

Selain itu, reseptor hormon juga dibedakan berdasarkan hubungan dengan kanal ion, protein G, enzim intraseluler pada sel target, yakni:

1. Reseptor hormon terhubung dengan kanal ion Pada kenyataannya substansi neurotransmitter seperti asetilkolin, norepinephrine, berkombinasi dengan reseptor di membran post-sinapsis. Hal tersebut menyebabkan perubahan struktur reseptor, biasanya terjadi pembukaan atau penutupan kanal untuk satu atau lebih ion. Sebagai contoh, pembukaan atau penutupan ion kanal natrium yang terikat dengan reseptor, kanal lain kalium dan kalsium. Pergerakan ion melalui kanal selanjutnya menyebabkan efek bertahap pada sel post-sinapsis. Meskipun sejumlah hormon beraksi melalui aktivasi reseptor ion kanal, kebanyakan hormon membuka dan menutup kanal ion melakukannya dengan cara tidak langsung karena terhubung dengan protein G atau reseptor hormon terhubung enzim.

2. Reseptor hormon terhubung dengan protein G Banyak hormon mengaktivasi reseptor yang secara tidak langsung mengatur aktivitas protein target (contoh: enzim atau kanal ion) dengan melakukan pasangan dengan sekelompok protein membran sel yang disebut heteromerik GTP-binding protein (G protein). Ada lebih dari 1000 protein G terikat reseptor yang telah diketahui, semuanya mempunyai segmen transmembran keluar dan masuk membran sel. Sebagian sisi reseptor menembus membran sel (khususnya bagian ekor sitoplasmik dari reseptor) berikatan dengan protein G yang termasuk 3 bagian subunit (trimerik) yaitu subunit: α , β , dan γ . Pada saat ligand (hormon) berikatan bagian ekstraseluler reseptor, perubahan konformasi terjadi di reseptor yang akan mengaktivasi protein G dan menginduksi signal intraseluler baik membuka atau menutup kanal ion membran sel atau perubahan aktivitas enzim di sitoplasma sel. Protein G trimerik, dinamakan demikian karena kemampuan mengikat nukleotida guanosisin. Pada keadaan inaktif: subunit α , β , γ , dan protein G membentuk kompleks mengikat guanidine diphosphate (GDP) di subunit α . Pada saat reseptor aktif, terjadi perubahan konformasi yang menyebabkan kompleks GDP trimerik protein G berasosiasi dengan bagian sitoplasmik reseptor dan terbentuk guanidine triphosphate (GTP) dari GDP. Pemindahan GDP menjadi GTP menyebabkan subunit α mengalami disosiasi dari kompleks trimerik dan berasosiasi dengan protein signal intraseluler lain. Sebaiknya protein ini meningkatkan aktivitas kanal ion atau enzim intraseluler seperti adenyl cyclase atau phospholipase C yang kemudian meningkatkan fungsi sel. Terjadinya signal cepat berhenti saat hormon dipindahkan dan subunit α inaktif sendiri mengubah ikatan GTP menjadi GDP, kemudian subunit α akan bergabung dengan subunit β dan γ membentuk kondisi inaktif, protein G trimerik terikat membran. Beberapa hormon berikatan dengan protein G inhibitory (Gi protein), Sementara yang lain berikatan dengan protein G stimulatory (Gs protein). Sehingga, tergantung berikatan dengan Gi protein atau Gs protein, hormon bisa meningkatkan atau menurunkan aktivitas enzim intraseluler. Sistem kompleks protein G

membran menyediakan banyak potensial respon sel terhadap hormon berbeda di berbagai jaringan target dalam tubuh.

3. Reseptor hormon terhubung enzim Beberapa reseptor ketika diaktivasi, berfungsi langsung sebagai enzim atau berhubungan erat dengan enzim yang diaktifkan. Komplek reseptor enzim merupakan protein yang melintasi membran hanya sekali, berbeda dengan reseptor protein G tujuh transmembran. Reseptor kompleks enzim mempunyai sisi pengikatan hormon sendiri di bagian sisi luar membran sel dan sisi katalitik atau pengikatan enzim di sisi dalam. Pada saat hormon terikat di bagian ekstraseluler reseptor, enzim di dalam membran sel dengan segera diaktifkan (jarang inaktif). Meskipun banyak reseptor terikat enzim mempunyai aktivitas enzim intrinsik, yang lainnya tergantung pada enzim yang berhubungan erat dengan reseptor untuk menghasilkan perubahan fungsi sel.

Contoh reseptor terikat enzim adalah reseptor leptin. Leptin merupakan hormon yang disekresikan sel lemak dan mempunyai banyak efek fisiologi, terutama pada pengaturan keseimbangan energi. Reseptor leptin merupakan anggota keluarga besar reseptor cytokine. Pada reseptor leptin, satu dari jalur signal terjadi melalui tyrosine kinase dari keluarga janus kinase (JAK), JAK2. Reseptor leptin merupakan dimer (dua bagian) dan mengikat leptin di bagian ekstraseluler reseptor, memungkinkan fosforilasi dan aktivasi asosiasi intraseluler molekul JAK2. Molekul JAK2 yang aktif kemudian memfosforilasi residu tyrosine yang lain di dalam komplek reseptor leptin-JAK2 untuk mediasi signal intraseluler. Signal intraseluler termasuk fosforilasi protein signal transduser dan aktivator transkripsi (STAT = Signal Transducer and Activator Transcription) yang mengaktivasi transkripsi oleh gen target leptin untuk menginisiasi sintesis protein. Fosforilasi JAK2 memicu aktivasi jalur enzim intraseluler lain seperti mitogen-activated protein kinases (MAPK) dan phosphatidylinositol 3-kinase (PI3K). Beberapa efek leptin terjadi begitu cepat sebagaimana hasil aktivasi enzim intraseluler sementara yang lain terjadi lebih lambat dan membutuhkan sintesis protein baru

Jenis-jenis Hormon

Jenis-jenis hormon yang terdapat pada tubuh manusia dapat dibagi atas beberapa yaitu:

1. Hormon Saluran Pencernaan

a. Gastrin

Gastrin diproduksi oleh mukosa pilorik dan terbentuknya hormon ini dirangsang oleh adanya protein dari makanan atau mungkin juga oleh asam lambung. Rangsangan mekanik berupa gerakan lambung juga dapat meningkatkan produksi gastrin. Hormon ini dibawa oleh darah ke sel-sel tujuan dan mengakibatkan sel-sel tersebut mengeluarkan HD lebih banyak. Molekul gastrin adalah suatu heptapeptida

b. Sekretin

Sekretin diproduksi oleh mukosa usus, dan diangkut oleh darah ke pankreas. Hormon ini merangsang pankreas untuk mengeluarkan cairan pankreas yang mengandung banyak bikarbonat. Sekretin merupakan polipeptida yang kemungkinan juga merangsang aliran cairan usus dan merupakan salah satu faktor yang meningkatkan sekresi ampedu oleh hati.

c. Kolesistokinin

Kolesistokinin diproduksi oleh mukosa usus halus. Kolesistokinin merangsang pankreas untuk mengeluarkan cairan pankreas yang mengandung banyak enzim.

d. Pankreozimin

Pankreozimin diproduksi oleh mukosa usus halus bagian atas. Pengeluaran hormone pankreozimin dirangsang oleh adanya beberapa zat antara lain kasein, dekstrin, maltosa, laktosa, dan lain-lain. Pankreozimin merangsang keluarnya cairan pankreas yang mengandung banyak bikarbonat maupun enzim tinggi. Pankreozimin bersifat tahan terhadap panas, tidak dapat dirusak oleh asam, namun tidak stabil terhadap alkali.

2. Hormon Adenohipofisis

Sekresi hormon hipofisis selian dikontrol oleh hipotalamus, dipengaruhi banyak faktor antara lain oleh obat hormon alamiah, atau antagonis hormon. Hormon hipofisis mengatur sintesis dan

sekresi hormon serta zat-zat kimia di sel target, sebaliknya hormone yang disekresi tersebut juga mengatur sekresi hipofisis. Pada vertebrata dikenal 10 hormon yang dihasilkan kelenjar hipofisis, 6 diantaranya sudah diketahui kegunaannya pada manusia, sisanya belum diketahui peranannya. Pada saat ini susunan asam amino semua hormon hipofisis telah diketahui dan beberapa telah dapat disintesis sebagian maupun keseluruhan. Sehingga memudahkan pembuatan hormon secara masal dalam waktu cepat dengan metode rekayasa genetik. Proses ini penting sebab pada umumnya hormon hipofisis sangat spesifik untuk tipe spesies, sehingga sumber untuk penggunaan klinis yang memenuhi syarat hanya mungkin didapat dari ekstrak hipofisis manusia.

a. Hormon Pertumbuhan

Hormon pertumbuhan merupakan polipeptida dengan berat molekul 22.000 atau sekitar 10% dari berat kelenjar hipofisis kering. Fungsi hormon pertumbuhan jelas untuk pertumbuhan, defisiensi hormon ini pada anak-anak menyebabkan kekerdilan (dwarfisme) sedangkan kelebihan hormon ini menyebabkan gigantisme pada anak atau akromegali pada orang dewasa. Hormon pertumbuhan terutama mempengaruhi metabolisme karbohidrat dan lemak, dengan mekanisme kerja yang belum jelas. Hormon pertumbuhan memperlihatkan efek antiinsulin yaitu meninggikan kadar gula darah, tetapi disamping itu juga berefek seperti insulin yaitu menghambat penglepasan asam lemak dan merangsang penyerapan asam amino oleh sel. Pada keadaan lapar hormon pertumbuhan menyebabkan mobilisasi lemak dari depot lemak untuk masuk ke peredaran darah. Hormon ini agaknya mengalihkan sumber energi dari karbohidrat ke lemak. Sekresi hormon pertumbuhan secara fisiologis diatur oleh hipotalamus. Hipotalamus menghasilkan faktor penglepas hormon pertumbuhan (GHRF = growth hormone releasing factor) yang merangsang sekresi hormon pertumbuhan. Selain itu dalam hipotalamus juga menghasilkan somatostatin (GH-RIH = growth hormone releasing inhibitory hormone) yang menghambat sekresi beberapa hormon salah satunya hormon pertumbuhan. Pada waktu istirahat sebelum

makan pagi kadar hormon pertumbuhan sekitar 1-2 ng/ml, sedangkan pada keadaan puasa meningkat perlahan mencapai 8 ng/ml. Kadar ini meningkat segera setelah seseorang tertidur. Pada orang dewasa hormon pertumbuhan meningkat hanya ketika tidur, namun pada anak dan remaja hormon pertumbuhan juga meningkat pada waktu bangun tidur. Kerja fisik, stress dan rangsangan emosi merupakan stimulus fisiologi untuk meningkatkan sekresi hormon ini.

b. Prolaktin

Pada manusia satu-satunya fungsi prolaktin yang jelas adalah untuk masa laktasi. Prolaktin mempengaruhi fungsi kelenjar susu dalam mempersiapkan, memulai, dan mempertahankan laktasi. Sekresi Prolaktin adalah hisapan bayi saat menyusui (suckling) sekresi prolaktin menghambat gonadotropin yang selanjutnya mempengaruhi fungsi ovarium. Itu semua menjelaskan infertilitas sementara pada ibu menyusui. Pengaturan sekresi prolaktin diatur oleh hipotalamus. Kadar prolaktin dalam darah 5-10 ng /ml, pada pria sedikit lebih rendah. Kadar meningkat pada masa hamil, pada saat stress, dan hipoglikemia.

c. Gonadotropin

Hipofisis menghasilkan 2 jenis gonadotropin yang mengatur alat reproduksi, yaitu FSH dan LH. Keduanya diatur oleh hipotalamus melalui satu hormon pelepas LHRH (LH releasing hormone) atau nama lainnya GnRH (Gonadotropin releasing hormone). Pada wanita FSH menyebabkan perkembangan folikel primer menjadi folikel Graaf. Setelah folikel berkembang maka LH akan merangsang folikel untuk mensekresi estrogen dan progesteron. Pada pria FSH berfungsi menjamin terjadinya spermatogenesis, kemudian LH merangsang sel leydig untuk mensekresi testosteron.

3. Hormon Insulin

Pulau Pankreas mensekresikan paling sedikit empat jenis hormon yaitu:

a. Isulin

- b. Glukagon
- c. Somastotatin
- d. Polipeptida Pankreas

Gen insulin manusia terdapat pada lengan pendek dari kromosom 11. Insulin disekresikan sebagai preproinsulin. Preproinsulin suatu peptida rantai panjang dengan BM 11.500. Rangkain pemandu atau sequence yang bersifat hidrofobik berfungsi untuk signal mengarahkan molekul ini ke endoplasma retikulum dan kemudian dikeluarkan. Disini terjadi proses pembelahan molekul preproinsulin oleh enzim-enzim mikrosomal menghasilkan molekul proinsulin (BM kira-kira 9000). Proinsulin diangkut ke badan golgi dimana berlangsung proses pengemasan menjadi granula-granula sekretorik berlapis klatrin. Granula-granula ini matang, mengandung insulin yang terdiri dari 51 asam amino ;terkandung dalam rantai A 21 asam amino dan rantai B 30 asam amino serta C-Peptida. Insulin disekresikan dari pankreas 40-50 unit/hari (15-20% dari penyimpanan). Sekresi insulin dapat berlangsung secara:

- a. Sekresi insulin basal: terjadi tanpa adanya rangsangan eksogen
Ini merupakan jumlah insulin yang disekresikan dalam keadaan puasa.
- b. Sekresi insulin yang dirangsang: sekresi insulin karrena adanya respon terhadap rangsang eksogen. Sejumlah zat yang terlibat dalam pelepasan insulin disini adalah:
 1. Glukosa rangsang pelepasan insulin paling poten. Glukosa dapat masuk kedalam sel β pankreas secara difusi pasif yang diperantarai protein membran yang spesifik disebut Glukosa Transpoter 2 \rightarrow rangsang sekresi insulin.
 2. Asam Amino, Asam lemak, Badan keton
 3. Faktor hormonal Preparat β adrenergik merangsang pelepasan insulin yang mungkin dengan cara peningkatan cAMP intrasel.Paparanyang terus menerus dengan hormon pertumbuhan, kortisol, laktogen plasenta, estrogen, progesterin dalam jumlah yang berlebihan juga meningkatkan sekresi insulin
 4. Preparat farmalologik, yaitu senyawa Sulfonilurea dan Tolbutamid

Fungsi insulin adalah merangsang sintesis enzim – enzim kinase dalam hati ,misalnya kinase piruvat, glukokinase, dan Fosfofruktokinase. Di samping itu insulin juga berfungsi sebagai penghambat atau penekan terbentuknya enzim–enzim glukoneogenik, misalnya glukosa-6 fosfatase, Fruktosa-1,6-difosfatase dan karboksilase piruvat .Dengan demikian insulin dapat mengendalikan proses metabolisme karbohidrat dan karenanya kadar glukosa dalam darah orang normal relatif konstan. Insulin adalah suatu protein dengan bobot molekul sebesar 5734 dan mempunyai titik isolistrik pada 5,3 sampai 5,36. Hormon itu dengan alkali dapat beraksi dan dapat menimbulkan amoniak. Kekurangan hormon insulin dalam tubuh mengakibatkan penurunan aktivitas enzim dalam proses glikolisis dan dengan demikian kadar glukosa menjadi lebih tinggi daripada keadaan normal. Di samping peranannya dalam penggunaan glukosa bagi tubuh ,insulin juga mempunyai pengaruh pada metabolisme protein dan asam nukleat, sebagai contoh insulin mempermudah masuknya asam amino ke dalam sel ,meningkatkan sintesis protein dalam ribosom

4. Glukagon

Hormon ini juga di produksi oleh sel sel langerhans dalam pankreas .glukagon mempunyai efek yang berlawanan dengan insulin yaitu dapat meningkatkan kadar glukosa dalam darah dengan jalan meningkatkan glikogenolisis dalam hati. Glukagon juga berfungsi mengaktifkan enzim siklase adnil yang mengubah ATP menjadi AMP siklik. Adanya AMP siklik dpapat meningkatkan aktivitas enzim fosforilase yang bekerja sebagai katalis dalam proses penguraian glikogen menjadi glukosa -6-fosfat. Hal ini mengakibatkan kenaikan kadar glukosa dalam darah

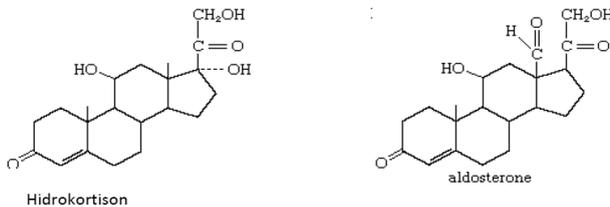
5. Hormon-hormon Adrenokortikoid

Hormon-hormon ini diproduksi pada kelenjar adrenal. Binatang yang telah diambil kelenjar adrenal hanya dapat bertahan hidup satu sampai dua minggu dan hal ini disebabkan oleh tidak adanya jaringan adrenokortikal. Pada Binatang yang tidak memiliki kelenjar adrenal terdapat gejala berikut.

a. Gangguan Keseimbangan air dan elektrolit.

- b. Kadar Urea darah naik ,disebabkan antara lain fungsi ginjal menurun
- c. Kelemahan pada otot yang merupakan akibat gangguan metabolisme karbohidrat serta keseimbangan air dan elektrolit
- d. Penurunan jumlah glikogen dalam hati
- e. Kemampuan mengatasi pengaruh luar berkurang
- f. Ada Hambatan pertumbuhan tubuh sebagai akibat terhambatnya anabolisme protein

Hormon adrenokortikoid terbagi menjadi dua golongan yaitu mineralokortikoid yang terutama bekerja pada metabolisme elektrolit atau mineral dan glukokortikoid yang mempunyai pengaruh terhadap metaolime karbohidrat.



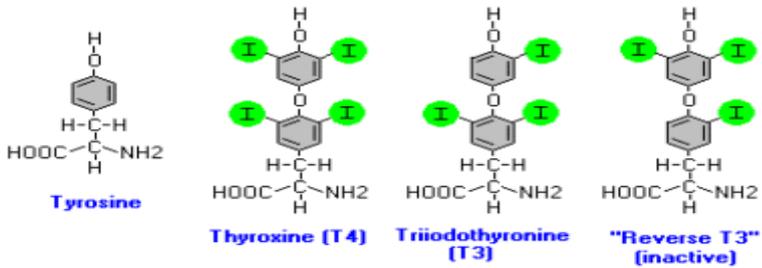
Gambar 6.2 Hormon adrenokortikoid

17-Hidroksikortikosteron adalah hormon yang mempunyai peranan sangat penting dalam metabolisme karbohidrat dan protein sedangkan deoksikortikosteron dan aldosteron adalah contoh dari mineral kortikoid. Aldosteron 30 lebih aktif dari pada deoksikortikosteron .penurunan volume darah atau penurunan tekanan darah akan merangsang peningkatan sekresi aldosteron yang selanjutnya kan mengembalikan volume dan tekanan darah pada keadan normal .Diatas telah diberikan beberapa rumus struktur hormon adrenokortikal.

6. Hormon Kelenjar Tiroid

Hormon yang di dikeluarkan dari kelenjar tiroid mengandung iodium dan lebih dari setengah jumlah keseluruhan iodium tubuh terdapat dalam kelenjar tiroid. Pengeluaran hormon tiroid di pengaruhi oleh persediaan iodium dalam kelenjar tiroid berkurang. Dalam keadaan demikian kelenjar tiroid berusaha mengambil iodium dari iodida yang terdapat dalam darah. Apabila defisit iodium menjadi makin besar, maka pengeluaran hormon berkurang. Kekuarang iodium

dalam tubuh akan mengakibatkan terjadinya penyakit gondok. Beberapa hormon yang di produksi oleh kelenjar tiroid antara lain adalah tiroksin dan 3,5 diiodotirosin, triiodotirosin.



Gambar 6.3 Struktur Hormon Tiroid

C. RANGKUMAN

1. Hormon merupakan getah yang dihasilkan oleh suatu kelenjar dan langsung diedarkan oleh darah. Kelenjar tersebut tidak mempunyai saluran khusus, sehingga sering disebut sebagai kelenjar endokrin atau kelenjar buntu.
2. Sistem hormon dan syaraf berkaitan dengan proses menyampaikan informasi. Pada syaraf penyampaian informasi melalui sinapsis listrik, sedangkan pada sistem hormon melalui zat kimia disebut neurotransmitter. Kerjasama antara sistem hormon dan sistem syaraf antara lain tampak pada keadaan yang menyebabkan seseorang kekurangan air atau dehidrasi. Keadaan ini akan dilacak oleh syaraf tertentu pada hipotalamus, terus ke hipofisis. Selanjutnya, hipofisis akan menghasilkan antidiuretik yang menghambat produksi urine.
3. Hormon dinyatakan pada konsentrasi yang sangat rendah didalam cairan ekstraseluler, umumnya antara 10^{-15} hingga 10^{-9} mol/L. Beberapa interaksi ini penting dalam interaksi hormon reseptor yang ada hubungannya terhadap psikologi: ikatan harus spesifik yaitu dapat bergantian antara agonist atau antagonist, ikatan harus penuh, dan ikatan harus terjadi pada rentang konsentrasi respon biologi yang diharapkan.
4. Mekanisme kerja sistem endokrin dikendalikan hipotalamus (suatu organ tubuh yang terletak di bawah otak, sebesar biji kacang yang mempunyai saraf tertentu). Hipotalamus mempunyai kelenjar pituitari atau hipofisis yang dapat mengeluarkan beberapa macam hormon.

Sebagian hormon tersebut merangsang kelenjar lain untuk mengeluarkan hormon tertentu. Sistem pengendalian hormon terjadi pada metabolisme karbohidrat dan sistem pengendalian air

D. TUGAS

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Kelenjar Buntu/Endokrin!
2. Apa yang Anda ketahui tentang Hormon?
3. Jelaskan hormon apa sajakah yang dihasilkan oleh Kelenjar Tiroid!
4. Jelaskan apa peran sel Beta Pulau-Pulau Langerhans pada Pankreas!
5. Bagaimanakah cara kerja insulin?
6. Apa yang Anda ketahui tentang Testosteron?
7. Jelaskan apa fungsi ovarium!

E. DAFTAR PUSTAKA

1. Hamid A, Abdul. 2005. Biokimia:Metabolisme Biomolekul. Manokwari: Alfabeta
2. Hutagalung, Halomoan. 2004. Karbohidrat. Sumatra Utara: Usu
3. Kimbal, John. 1983. Biologi Jilid I. Jakarta: Erlangga.
4. Lim, Ming Yeong. 2013. Metabolisme and Nutrition. China: Mosby Elsevier
5. Rachmadiarti, Fida dkk. 2007. Biologi Umum. Surabaya: Unesa University Press.
6. Raven, Johnson. 2004. Biology. United States of America: Holt, Rinehart and Winston
7. White, L., Duncan, G., & Baumle, W. (2013). Medical-Surgical Nursing: An Integrated Approach (3rd ed.). Clifton Park, USA: Delmar, Cengage Learning.
8. Timby, B. K., & Smith, N. E. (2010). Introductory Medical Surgical Nursing (10th ed.). 2010: Lippincott Williams & Wilkins.
9. Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2014). Principles Of Anatomy and Physiology (14th ed., p. 400). Hoboken USA: Wiley.

F. INDEX

Melamin 91

Polipeptida 91, 94, 100

Prolaktin 99,110

Sekresi 90, 100

Steroid 94, 95

Sekretin 99

Tiroid 91, 92, 94

Thymosin 93

Timus 93

BAB VII

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KERJA ENZIM

Ayu Diana, S.Pi., M.P.

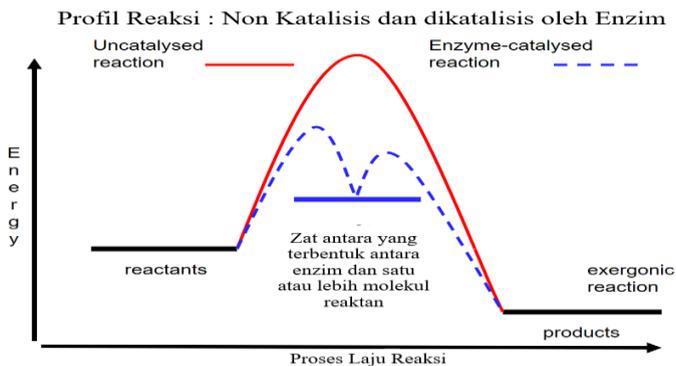
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu memahami konsep Kerja Enzim meliputi Fungsi dan Struktur, cara kerja, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya
2. Mampu menerapkan aplikasi cara kerja enzim
3. Mampu menganalisa faktor yang mempengaruhi enzim
4. Mampu mengevaluasi aktivitas kerja enzim dan faktor yang mempengaruhinya.

B. PENJELASAN MATERI DENGAN ILUSTRASI DAN CONTOH

1. Fungsi dan Struktur

Secara umum Enzim ialah suatu katalis yang sangat efisien pada reaksi biokimia, dan juga akan meningkatkan reaksi dengan memfasilitasi jalur reaksi alternatif energi aktivasi yang lebih rendah.



Seperti semua katalis, enzim mengambil bagian dalam reaksi, begitulah cara enzim menyediakan jalur reaksi alternatif. Tetapi laju reaksi enzim tidak berpengaruh permanen serta bersifat tetap hingga akhir reaksi dan hanya bisa merubah laju reaksi bahkan bukan posisi kesetimbang. Sebagian besar katalis kimia mengkatalisis macma-macam reaksi.

Enzim bersifat selektif, hanya mengkatalisis reaksi spesifik. Reaksi spesifik oleh molekul enzim. Mayoritas enzim mengandung protein dan

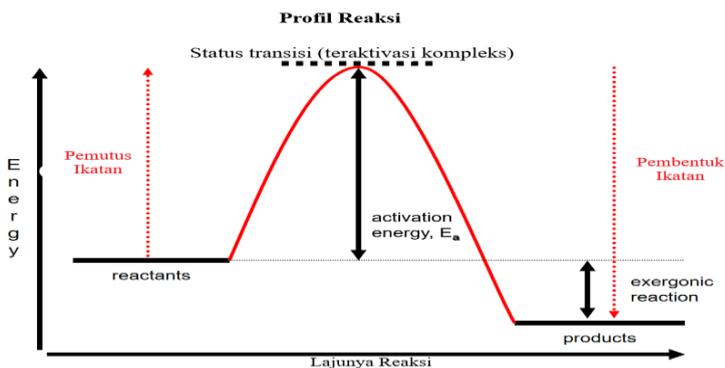
non-protein (kofaktor). Protein dalam enzim umumnya berbentuk bulat. Ikatan intra dan antar molekul yang menahan protein didalam struktur sekunder, tersiernya dapat dipengaruhi suhu dan pH yang berubah-ubah. Aktivitas katalitik suatu enzim peka terhadap pH dan suhu.

Kofaktor mungkin:

- 1) Kelompok organik yang secara mutlak terhubung pada enzim (kelompok prostetik)
- 2) Activator (kation - ion logam bermuatan positif) : mengikat sisi aktif pada enzim, untuk sementara, menghasilkan muatan positif kuat terhadap protein enzim
- 3) Koenzim (molekul organik yang berasal dari vitamin itu sendiri) : tidak terhubung secara mutlak pada molekul enzim, akan tetapi menyatu sementara dengan kompleks enzim-substrat.

2. Cara Kerja Enzim

Tabrakan dengan arah yang benar (orientasi) dan energi yang cukup menghasilkan dua molekul yang bereaksi. Energi aktivasi yaitu kecukupan energi yang dimiliki oleh energi dalam mengatasi hambatan energi untuk bereaksi. Enzim mempunyai situs aktif, dimana merupakan bagian pada molekul yang mempunyai bentuk dan gugus fungsi yang sesuai untuk mengikat salah satu molekul yang sedang bereaksi. Substrat disebut Molekul pereaksi yang berikatan dengan enzim.



Reaksi dikatalisis oleh enzim yang mengambil 'jalur' berbeda. Intermediet reaksi dibentuk oleh substrat dan enzim. Pembentukannya mempunyai energi aktivasi lebih rendah dibandingkan reaksi antara reaktan non katalis.

Jalur A Reaktan 1 + reaktan 2 \longrightarrow produk

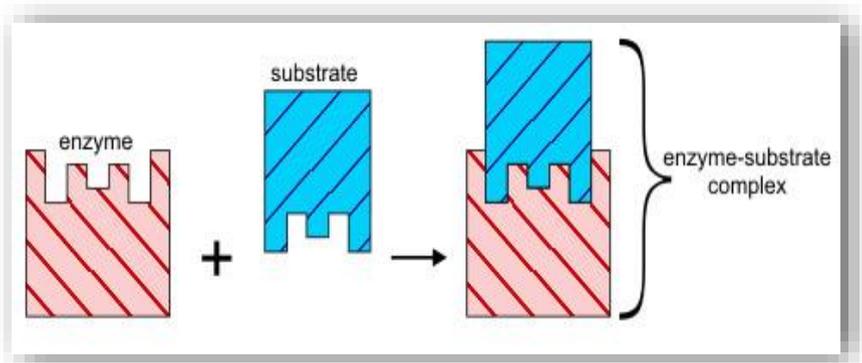
Jalur B Reaktan 1 + enzim \longrightarrow intermediat

antara + reaktan 2 \longrightarrow produk + enzim

Jadi enzim digunakan untuk membentuk zat antara reaksi, tetapi ketika ini bereaksi dengan reaktan lain, enzim berubah.

Hipotesis kecocokan yang diinduksi

Dalam model ini molekul enzim berubah bentuk ketika molekul substrat mendekat. Perubahan bentuk 'diinduksi' oleh molekul substrat yang mendekat. Model yang lebih canggih ini bergantung pada fakta bahwa molekul bersifat fleksibel karena ikatan kovalen tunggal bebas untuk berputar.



cara kerja enzim mewakili Model paling sederhana dan substrat hanya cocok ke situs aktif untuk membentuk reaksi antara

Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim

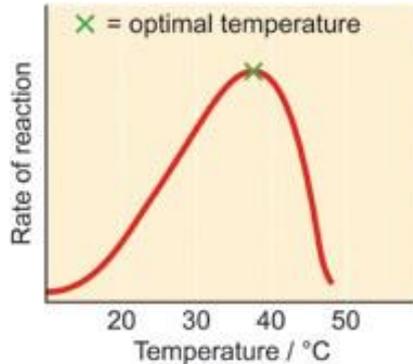
Studi tentang perubahan laju reaksi dengan eksperimen parameter seperti pH, suhu, konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, pengaruh konsentrasi produk dan pengaruh aktivator disebut juga kinetika enzim.

1. Efek Suhu

- 1) Dengan kenaikan suhu, energi kinetik molekul yang bereaksi meningkat. Peluang tumbukan molekul meningkat sehingga laju reaksi meningkat.
- 2) Kecepatan reaksi enzim meningkat dengan kenaikan suhu hingga maksimum yang disebut suhu optimal dan kemudian menurun.
- 3) Kurva berbentuk lonceng diamati.

- 4) Suhu optimum untuk sebagian besar enzim adalah antara 40° sampai 45°c. ▪ Ini hampir 35,5 °C untuk enzim tubuh manusia.
- 5) enzim mengalami denaturasi dan menjadi tidak aktif pada saat suhu diatas optimum.

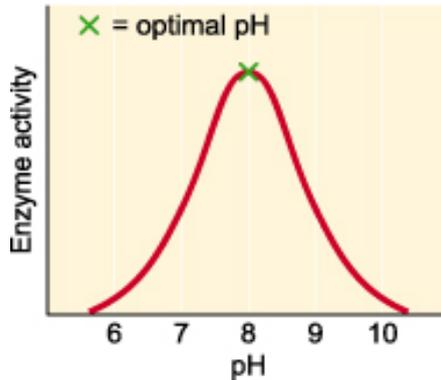
Energi kinetik lebih banyak dimiliki ketika molekul bereaksi pada saat suhu naik. Proses ini menambah kemungkinan keberhasilan pada tabrakan dan peningkatan kecepatan. Aktifitas katalitik enzim akan mencapai puncaknya pada suhu tertentu.



Enzim dalam sel manusia memiliki suhu optimal sekitar 37,5°C (suhu tubuh manusia). Suhu meningkat struktur enzim mulai rusak (mengubah sifat sesuatu benda) karena pada suhu yang lebih tinggi ikatan intra dan antar molekul terputus karena molekul enzim memperoleh lebih banyak energi kinetik.

2. Pengaruh pH

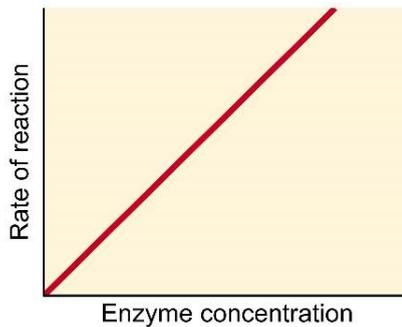
- 1) Katalisis enzim membutuhkan interaksi yang tepat antara enzim dan substrat. Saat pH berubah, muatan substrat dan residu asam amino pada sisi aktif berubah, sehingga menurunkan interaksi antara enzim dan substrat yang mengakibatkan penurunan katalisis.
- 2) Jadi peningkatan pH konsentrasi ion hidrogen sangat mempengaruhi aktivitas enzim., Kurva berbentuk lonceng biasanya diperoleh.
- 3) Setiap enzim memiliki pH optimum untuk katalisis di mana kecepatan maksimum.
- 4) Sebagian besar enzim organisme tingkat tinggi menunjukkan aktivitas optimum di sekitar pH netral (6-8).



Setiap enzim bekerja dalam kisaran pH yang cukup kecil. Ada pH di mana aktivitasnya paling besar (pH optimal). Hal ini karena perubahan pH dapat membuat dan memutuskan ikatan intra dan antar molekul, mengubah bentuk enzim dan, oleh karena itu, efektivitasnya.

3. Pengaruh konsentrasi enzim

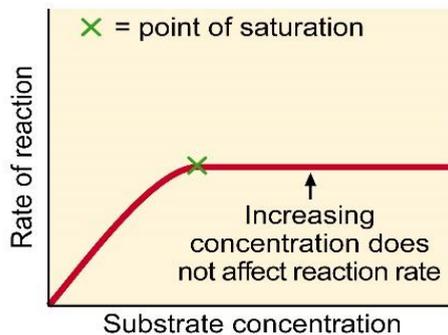
- 1) Ketika konsentrasi enzim meningkat, kecepatan atau laju reaksi yang dikatalisis enzim meningkat secara proporsional.
- 2) Sebenarnya sifat enzim ini digunakan dalam menentukan aktivitas enzim serum untuk diagnosis penyakit.



Laju reaksi yang dikatalisis enzim bergantung pada konsentrasi enzim dan substrat. Ketika konsentrasi keduanya meningkat, laju reaksi meningkat.

4. Pengaruh konsentrasi substrat

- 1) Peningkatan konsentrasi substrat secara bertahap meningkatkan kecepatan reaksi enzim dalam kisaran terbatas tingkat substrat yaitu pada konsentrasi enzim yang diberikan laju reaksi meningkat dengan peningkatan konsentrasi substrat hingga titik yang disebut titik jenuh.
- 2) Sebuah hiperbola persegi panjang diperoleh ketika kecepatan diplot terhadap konsentrasi substrat.
- 3) Pada titik jenuh, peningkatan lebih lanjut dalam konsentrasi substrat tidak menghasilkan perubahan yang signifikan dalam laju reaksi karena situs pengikatan enzim pada saat tertentu semuanya jenuh dengan substrat.
- 4) Jika suhu dan pH dijaga konstan dan konsentrasi substrat tinggi, laju reaksi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi enzim.



Untuk konsentrasi enzim tertentu, laju reaksi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi substrat hingga suatu titik, di atas mana setiap peningkatan lebih lanjut dalam konsentrasi substrat tidak menghasilkan perubahan yang signifikan dalam laju reaksi. Ini karena situs aktif molekul enzim pada saat tertentu hampir jenuh dengan substrat. Kompleks enzim/substrat harus berdisosiasi sebelum situs aktif bebas untuk mengakomodasi lebih banyak substrat.

Asalkan konsentrasi substrat tinggi dan suhu serta pH dijaga konstan, laju reaksi sebanding dengan konsentrasi enzim.

5. Pengaruh Konsentrasi Produk

- 1) Akumulasi produk reaksi umumnya menurunkan kecepatan enzim.

- 2) Untuk enzim tertentu, produk bergabung dengan situs aktif enzim dan membentuk kompleks longgar, sehingga menghambat aktivitas enzim.
- 3) Dalam sistem kehidupan, jenis penghambatan ini umumnya dicegah dengan penghilangan cepat produk yang terbentuk.

6. Efek Aktivator

- 1) Beberapa enzim memerlukan kation logam anorganik tertentu seperti Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Na^+ , K^+ dan sebagainya.
- 2) Untuk aktivitas optimal disebut **kofaktor**.
- 3) Jarang anion juga dibutuhkan untuk aktivitas enzim. Misalnya. Ion klorida (Cl^-) untuk amylase.

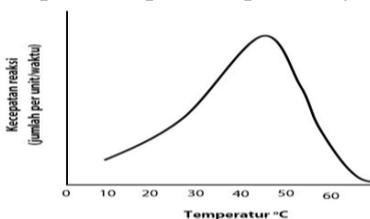
C. RANGKUMAN

Enzim merupakan katalis atau agen kimia yang mempercepat reaksi kimia tanpa ikut habis oleh reaksi tersebut. Sebagian besar enzim adalah protein yang berfungsi untuk mengurangi energi aktivasi dalam reaksi kimia. Enzim bekerja pada reaktan yang disebut substrat; enzim menempel pada substrat dan kemudian enzim mengubah substrat menjadi produk sementara enzim tetap tidak terpengaruh. Faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim termasuk konsentrasi substrat, pH, kekuatan ion dan sifat garam yang ada, dan suhu. Aktivitas diukur sebagai tingkat awal pemanfaatan substrat ketika tidak ada produk. Ada banyak senyawa yang dapat bertindak sebagai inhibitor yang mampu menekan aktivitas yang seharusnya tidak ada.

D. TUGAS

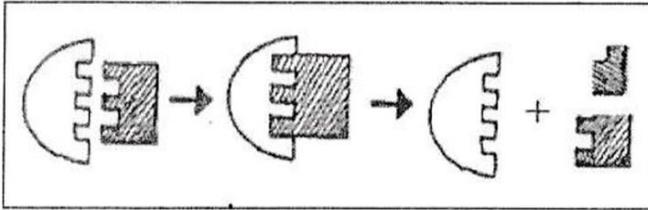
Pilihlah jawaban dibawah ini dengan Benar!

- 1) Temperatur optimum pada kerja enzim tersebut adalah

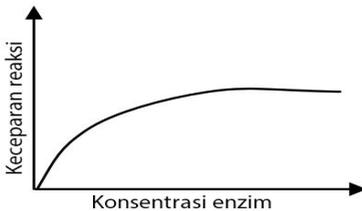


- A. berkisar $50^{\circ}C - 60^{\circ}C$
- B. berkisar $40^{\circ}C - 50^{\circ}C$
- C. berkisar $30^{\circ}C - 40^{\circ}C$
- D. berkisar $10^{\circ}C - 20^{\circ}C$
- E. berkisar $20^{\circ}C - 30^{\circ}C$

2) Sesuai gambar dibawah ini Sifat enzim ialah



- A. Terlaksana dua arah
 - B. Kerja enzim secara spesifik
 - C. Butuh energy untuk bekerja
 - D. Menghalangi proses reaksi kimia
 - E. Mendukung proses reaksi kimia
- 3) Pada gambar dibawah ini bisa kita simpulkan mengenai konsentrasi enzim pada aktifitasnya didasarkan pada grafik ialah peningkatan konsentrasi enzim



- A. menambah laju reaksinya
- B. mampu menambah kecepatan reaksi hingga level diatas optimum
- C. tidak berdampak pada kecepatan reaksi
- D. Berlawanan terhadap kecepatan reaksi
- E. Sejalan terhadap kecepatan reaksi

E. Daftar Pustaka

- [1] Reece, Jane B., Michael L ,Lisa A. Urry,. Robert B.Jackson Campbell,Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky,. Biologi. edisi ke-9 Boston: Benjamin Cummings/ Pearson Education, 2011.
- [2] Petersen, Chris E., dan Barbara J. Anderson.Penyelidikan di Laboratorium Biologi 1151. Champaign, IL: Stipes LLC, 2005.
- [3] Conant, Richard T. "Sebuah teknik bubuk smpah menjelaskan peran kunci dari produksi enzim dan dinamika mikroba dalam sensitivitas

- suhu dekomposisi bahan organik."Biologi dan Biokimia Tanah47 (2012).
- [4] Nelson, D. L. and Cox, M. M. 2004. *Lehninger Principles of Biochemistry, 4th Edition*. New York: W. H. Freeman and Company
- [5] Robert K Scopes, Enzyme Activity and Assays La Trobe University, Bundoora, Victoria, Australia ENCYCLOPEDIA OF LIFE SCIENCES / & 2002 Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group / www.els.net.
- [6] John Eed , Factors Affecting Enzyme Activity ESSAI, Vol. 10 [2013], Art. 19 (Biology 1151) Produced by The Berkeley Electronic Press, 2013.
- [7] Dr. Mamta Gupta , *BIO-ORGANIC CHEMISTRY. PAPER CODE H-3011*.28-29 July.2020.

F. Glosarium

Enzim	: Katalis yang membantu mempercepat reaksi biologis
Katalis	: Zat yang memicu reaksi lebih cepat
Konvaktor	: Non-protein (senyawa kimia) yang digunakan untuk kegiatan biologis protein
Kelompok prostetik	: Sub faktor yang berikatan erat dengan enzim dan membantu mengkatalisasi reaksi kimia
Koenzim	: Zat yang membantu kerja enzim
Substrat	: Suatu molekul yang menjadi sasaran aksi enzim

G. Indeks

Aktivator	110
Hipotesis	110
Kurva	110, 111
Reaktan	110
Substrat	111

BAB VIII

MAKANAN KITA

Robert G. Marpaung

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Menjelaskan manfaat pengetahuan gizi bagi masyarakat
2. Menjelaskan kegunaan makanan sumber karbohidrat, lemak, protein, mineral dan serat makanan bagi tubuh
3. Menghubungkan pengetahuan biokimia dengan gizi dan kesehatan
4. Menganalisis penyebab kekurangan gizi yang timbul dimasyarakat.

B. MATERI

Berdasarkan pengalaman mengajar Biokimia di Fakultas Pertanian Universitas Darma Agung terpikir dengan materi makanan di Indonesia.

Dengan pola makanan di Indonesia perlu dikaji dalam bentuk harapan untuk diberikan penelitian bersaing oleh Kemendikbud Riset Dikti, maka pola makanan di Indonesia terhindar dari penyakit diabetes (gula).

Makanan yang tersedia bagi suatu kelompok masyarakat tertentu tergantung dari lingkungan geografinya, iklim, letak daerah, apakah termasuk daerah pantai, hutan atau padang rumput. Perkembangan ilmu dan teknologi, khususnya teknologi pangan, teknologi komunikasi, adanya mobilitas masyarakat dan pengembangan pengetahuan tentang manfaat makanan akhirnya mengakibatkan terjadinya perubahan makanan masyarakat menjadi lebih beraneka ragam.

Mula-mula memang cita rasa saja yang memegang peran, yang selanjutnya menjadi kebiasaan dan kepuasan bagi manusia. Pengetahuan tentang gizi lahir pada akhir abad ke-19, tetapi mula-mula hanya merupakan bagian dari fisiologi, kemudian merupakan bagian dari biokimia.

Dalam sejarah umat manusia, fungsi makanan ialah menghilangkan rasa lapar, tanpa diketahui bagaimanakah nilai gizinya. Antonie Lavoisier yang dikenal sebagai Bapak Ilmu Gizi mengadakan percobaan mengenai pernapasan dan membuat pengukuran tentang metabolisme makanan secara kuantitatif. Pendapatnya yang terkenal adalah “la vie est une fonction chimique” atau kehidupan adalah fungsi kimia.

Pada saat itu yang dipelajari terutama hanyalah hal-hal yang berhubungan dengan metabolisme energi saja, karena pengetahuan tentang mineral masih sangat sedikit, sedangkan vitamin belum ditemukan.

Magendeie pada tahun 1816 ditemukan bahwa binatang yang diberi makan protein, karbohidrat dan lemak yang murni serta mineral, ternyata terhambat pertumbuhannya, bahkan mati. Disimpulkan bahwa ada suatu zat dalam makanan yang biasa dimakan sehari-hari, misalnya susu, daging, keju yang dapat melngsungkan pertumbuhan dan melindungi binatang tersebut dari penyakit sehingga tidak mati. Akhirnya setelah zat-zat tersebut ditemukan dan diketahui fungsinya, diberi nama vitamin.

Sejak ditemukannya asam-asam amino esensial yang dipelopori oleh penemuan-penemuan Mendel, Mc Collum, Elvehjem, dan Vigneaud, Steenbock dan lain-lain pada tahun 1920, kemudian ditemukan vitamin-vitamin, mineral-mineral yang penting bagi tubuh, juga setelah asam lemak esensial berhasil diisolasi, maka pada awal tahun 1930 gizi telah merupakan disiplin ilmu yang berhak berdiri sendiri.

Penyelidikan di bidang obat-obatan dan makanan, pengaruhnya terhadap tubuh, serta proses yang terjadi di dalamnya, dapatlah dikatakan telah membentuk cabang ilmu baru tersebut.

Gizi dan kesehatan dibicarakan di buku ini karena dipandang merupakan aplikasi dari biokimia. Gizi menjadi lebih terkenal dengan ucapan Dr. Yaumans yang menyatakan bahwa: "Nutrition is the most important single environmental factor effecting human health".

Dewasa ini gizi atau nutrisi merupakan ilmu yang mempelajari zat-zat makanan yang dimakan oleh organisme hidup serta segala proses yang dialami oleh zat-zat tersebut untuk memelihara kehidupan dan mempertahankan aktivitas organisme.

Di samping itu gizi juga berarti segala proses yang dialami oleh bahan yang kita makan untuk memenuhi semua kebutuhan tubuh, yaitu membangun sel-sel baru baik untuk pertumbuhan tubuh. Makanan yang bergizi mengandung zat-zat yang lazimnya disebut zat-zat gizi dan yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tubuh.

Status gizi merupakan faktor yang penting untuk menilai berarti ia tidak menderita penyakit gangguan gizi atau malnutrisi dan sehat baik mental maupun fisik.

Dilihat dari fungsinya untuk menjaga kelangsungan hidup seseorang dalam keadaan sehat, makanan kita dapat di kelompokkan menjadi dua bagian.

1. Makanan yang menghasilkan energi, yaitu karbohidrat, lemak dan protein.
2. Makanan yang mengatur dan menjaga agar proses metabolisme makanan dan proses-peorses lainnya dalam tubuh dapat berlangsung

secara optimal. Kelompok makanan ini adalah vitamin, mineral, serat dan air.

Masalah Gizi di Indonesia

Di negara-negara yang sedang berkembang, pangan merupakan masalah penting yang harus ditanggulangi. Telah diketahui bahwa kekurangan gizi pada manusia akan menyebabkan gangguan fisik maupun mental dan mengurangi daya tahan tubuh terhadap kemampuan dan inisiatif seseorang sehingga dapat menyebabkan menurunnya produktivitas kerja dalam berbagai bidang.

Di Indonesia kekurangan gizi di kalangan masyarakat meliputi antara lain.

1. Kekurangan makanan sumber energi dan sumber protein
2. Kekurangan vitamin A yang dapat menyebabkan kebutaan pada anak-anak
3. Kekurangan iodium yang menimbulkan gondok endemik
4. Kekurangan unsur besi yang menyebabkan anemia gizi.

Di samping itu terdapat keadaan kesehatan yang termasuk tidak sakit dan sehat. Keadaan ini banyak dijumpai pada anak-anak dengan tanda-tanda antara lain: Berat badannya mengurang bila dibandingkan dengan umurnya.

Adapun yang dimaksud dengan perbaikan menu makanan rakyat ialah lebih menganeekaragamkan jenis dan meningkatkan kualitas makanan rakyat.

Pada suatu golongan makanan tertentu, tetapi seimbang antara karbohidrat, sumber protein, sumber mineral dan vitamin sesuai dengan kebutuhan tubuh.

Apabila dalam usaha peningkatan gizi masyarakat, pemberian susu atau makanan bergizi lainnya sebagai makanan tambahan tidak didampingi dengan pendidikan gizi yang tepat, maka setelah bantuan makanan tambahan dihentikan besar kemungkinan kelompok tersebut akan kembali pada pola makan semula, meskipun keadaan ekonomi keluarga sebenarnya memungkinkan untuk mengadakan perubahan.

Dewasa ini kita tidak hanya memikirkan masalah gizi di atas yang berkaitan dengan kemiskinan, namun harus memikirkan masalah gizi baru yang berkaitan dengan penyakit degeneratif yang pada umumnya berkaitan dengan gaya hidup masyarakat berkecukupan.

Pada manusia usia produktif dan usia lanjut, misalnya banyaknya masyarakat yang menderita diabetes melitus, penyakit jantung, penyakit kanker, obesitas dan lain-lain.

Keadan gizi yang rendah di kalangan masyarakat kita disebabkan oleh faktor, antara lain: Keadan sosial-ekonomi yang rendah, adanya takhayul atau pantangan terhadap jenis makanan tertentu, tidak hanya kesadaran akan pentingnya gizi karena tidak mengetahui, adanya keinginan untuk mengutamakan membeli barang mewah dari pada makanan yang bergizi demi meningkatkan status sosial, karena pengaruh perubahan sosial yang datang dari luar.

Kewajiban para pelaksana pendidikan gizi, yaitu para pengajar atau para penyuluh, adalah mencari metode dan teknik penyampaian yang tepat bagi kelompok yang diberi pendidikan, yang disesuaikan dengan macam pendidikannya sendiri, apakah dilaksanakan melalui pendidikan sekolah (pendidikan formal) atau pendidikan luar sekolah.

Kecukupan Bahan Makanan

Sebagaimana kita ketahui pola makanan kita sehari-hari itu banyak macam ragamnya. Namun secara umum dapat kita kelompokkan ke dalam tiga golongan besar yaitu:

- a. Makanan pokok atau makanan utama, yang berupa beras, dan jagung, sagu dan singkong.
- b. Lauk-pauk yang terdiri atas ikan, daging, tempe, tahu, dan kacang-kacangan
- c. Sayuran dan buah-buahan seperti bayam, kangkung, wortel, tomat dan lain lain

Apabila ditinjau dari zat-zat gizi yang terkandung dalamnya, maka berbagei macam makanan itu dapat kita bagi dalam beberapa golongan yaitu, makanan yang banyak mengandung karbohidrat, lemak, dan protein dan mineral. Air merupakan pelarut makanan yang merupakan bagian terbesar dalam tubuh kita yaitu kurang lebih 70%, di Indonesia makanan pokok yaitu beras, jagung, singkong dan sagu merupakan sumber energi utama yang telah berlangsung dari generasi ke generasi dan lebih murah bila di dibandingkan dengan lemak.

Pada umumnya masyarakat di kota makan tiga kali sehari, yaitu makan pagi atau sarapan, makan siang dan makan malam. Di daerah pedesaan ada kebiasaan makan dua kali sehari atau dua kali ditambah satu kali makanan selingan berupa ubi atau singkong rebus atau jenis makanan lainnya. Makanan selingan sangat berguna bagi anak-anak, karena anak-anak belum mampu makan sekaligus dalam jumlah banyak. Makanan selingan ini juga dipilih sesuai kebetulan anak-anak. Pemberian bubur

kacang hijau misalnya, dapat melengkapi kebutuhan protein dan vitamin B. Susu segar atau susu bubuk sebagai sumber protein dapat diberikan kepada anak-anak, ibu yang sedang hamil atau yang sedang menyusui.

Sebagaimana kita ketahui sebenarnya protein dalam laupauk itu dapat pula memberikan energi bagi tubuh kita, tetapi apabila karbohidrat dan lemak, maka protein digunakan untuk hal yang lebih penting, yaitu membangun tubuh. Sayuran dan buah-buahan mengandung vitamin dan mineral yang dibutuhkan oleh walaupun dalam jumlah yang sedikit. Vitamin diperlukan karena dapat membantu kelancaran jalannya metabolisme dalam sel-sel tubuh. Mineral yang terdapat dalam makanan diperlukan untuk pembentukan tubuh dan juga berperan dalam proses metabolisme bersama-sama dengan vitamin.

Energi Makanan

Energi makanan digunakan untuk aktivitas di dalam tubuh dan aktivitas luar. Yang dimaksud dengan aktivitas luar ialah berjalan, berlari, menulis, berolahraga dan lain-lain. Energi ini dihasilkan dari makanan sumber energi melalui proses metabolisme dalam sel. Besar kecilnya energi yang dihasilkan, disesuaikan dengan kebutuhan energi pada waktu itu. Paru-paru dan jantung akan bekerja lebih keras pula. Sebaliknya seseorang yang sedang dalam keadaan berbaring istirahat, tidak tidur, dalam suasana atau lingkungan yang nyaman, pada waktu dua belas jam setelah makan, maka energi yang dihasilkan hanya digunakan untuk keperluan berlangsungnya aktifitas di dalam tubuh saja.

Tabel 8.1 Jumlah yang dianjurkan sehari bagi Indonesia untuk mempertahankan kesehatan

Golongan	Berat Badan (kg)	Kalori (kal)	Protein (g)	Ca (mg)	Fe (mg)	A (SI)	B1 (mg)	Vitamin		C (mg)
								B2 (mg)	Niasin (mg)	
<i>Pria dewasa</i>										
<i>bekerja sedang:</i>										
20-39 tahun	55	2600	65	0,5	10	4000	1,0	1,4	17	60
40-59 tahun	55	2400	65	0,5	10	4000	1,0	1,3	16	60
60 tahun ke atas	55	2400	65	0,5	10	4000	0,8	1,1	13	60
<i>Wanita dewasa</i>										
<i>bekerja sedang:</i>										
20-39 tahun	47	2000	55	0,5	12	4000	0,8	1,1	13	60
40-59 tahun	47	1900	55	0,5	12	4000	0,8	1,0	13	60
60 tahun ke atas	47	1600	55	0,5	12	4000	0,6	0,9	9	60
<i>Wanita hamil</i>										
20 minggu terakhir *)		300	10	0,5	5	500	0,2	0,2	2	30
Wanita menyusukan *)		800	25	0,5	5	2500	0,4	0,4	5	30
<i>Pria remaja</i>										
13-15 tahun	42	2900	58	0,7	12	4000	1,1	1,6	19	60
16-19 tahun	50	3000	65	0,6	12	4000	1,2	1,7	20	60
<i>Wanita remaja</i>										
13-15 tahun	42	2400	58	0,7	12	4000	1,0	1,3	16	60
16-19 tahun	45	2100	57	0,6	12	4000	0,8	1,1	14	60
<i>Anak-anak</i>										
1-3 tahun	12	1200	25	0,5	8	1500	0,5	0,7	8	30
4-6 tahun	18	1600	30	0,5	10	1800	0,6	0,9	9	40
7-9 tahun	27	1900	42	0,5	10	2400	0,8	1,0	13	50
10-12 tahun	35	2300	50	0,7	12	3450	0,9	1,3	18	60
Bayi: 6-12 bulan	8	900	20	0,6	8	1200	0,4	0,5	6	25

*) Jumlah ini ditambahkan pada jumlah yang dianjurkan untuk wanita dewasa pada keadaan tidak hamil dan tidak menyusukan.

1. Protein berdasarkan anggapan NPU untuk menu nasi sebesar 60.
2. Vitamin A berdasarkan anggapan di dalam menu Indonesia 100% beta karoten.
3. Dhitung untuk *niacin equivalent*, jadi termasuk triptofan.
4. Bayi umur 0-6 bulan dianggap semuanya mendapat air susu ibu.

Sumber: Workshop on Food: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia - National Academy of Sciences, Washington, USA Jakarta, Mei 1968.

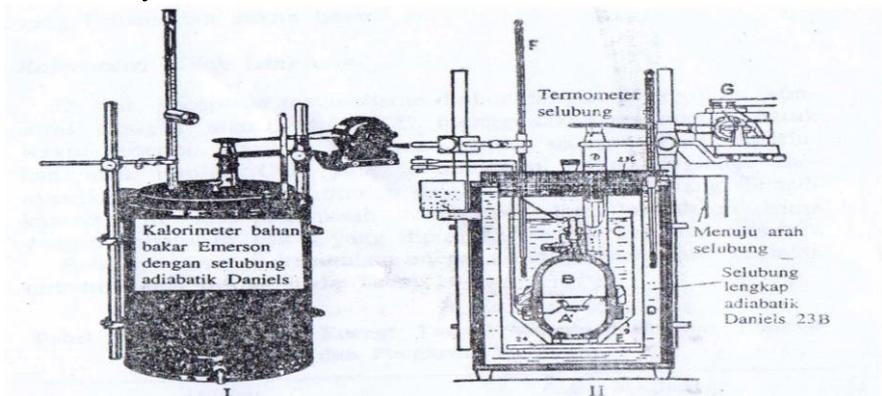
Proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh yang sedang berada dalam keadaan istirahat yang disebutkan tadi, dinamakan metabolisme basal. Energi untuk metabolisme basal ini untuk orang yang sehat boleh dianggap tetap, yaitu bagi orang dewasa pria di butuhkan kira-kira satu kalori per kilogram berat badan per jam. Seseorang yang kekurangan makanan sumber karbohidrat, biasanya juga akan kekurangan sumber protein, lemak, vitamin, dan mineral. Akibatnya seseorang akan menderita keadaan yang disebut kurang energi protein (KEP) atau protein energi malnutrisi (PEM).

Marasmus yang disebabkan oleh kekurangan energi yang parah banyak melanda anak-anak di dunia. Penderita marasmus tidak mempunyai jaringan adipose, biasanya berkulit kering dan berkerut-kerut. Tekanan darah, nadi dan suhu badan biasanya di bawah normal. Mudah menangis (cengeng) dan renta terhadap suhu rendah.

Energi makanan hanya sebagian ditransformasi menjadi energi lagi, seperti energi kimia, energi mekanik. Sebagian lagi di ubah menjadi panas.

Dengan demikian dapat dipahami bahwa selama melakukan kerja otot suhu tubuh akan naik. Besarnya energi yang di hasilkan oleh sejumlah makanan tertentu dapat diukur dengan kalorimeter bom (bomb calorimeter) yang dalam perhitungannya menggunakan satuan kalori (1 kalori adalah energi panas yang di gunakan untuk menaikkan suhu 1 kilogram air sebesar satu derajat celcius).

Tiap jenis makanan memiliki nilai kalori tertentu, artinya apabila sejumlah makanan tertentu mengalami metabolisme, akan menghasilkan sejumlah kalori tertentu, yang tergantung dari kandungan protein, lemak dan karbohidratnya.



Di dalam tubuh, beberapa makanan tidak dapat di absorpsi secara sempurna. Biasanya karbohidrat, lemak dan protein dapat diabsorpsi 98%, 95% dan 92%. Jumlah kalori yang dihasilkan oleh karbohidrat dan lemak dalam tubuh kurang-lebih sama dengan jumlah yang dihasilkan melalui kalorimeter, karena karbohidrat dan lemak dioksidasi sempurna hingga CO₂ dan H₂O.

Dalam hal protein gugus amino dari asam amino dari asam amino tidak dioksidasi seperti dalam kalorimeter, tetap dekskresi dalam urine terutama sebagai urea, kreatinin, asam urat dan lain lain.

Nilai energi dan zat-zat gizi dalam makanan

<i>Kilo Kalori per Gram</i>			
	<i>Protein</i>	<i>Lemak</i>	<i>Karbohidrat</i>
Kalorimeter bom	5,65	9,45	4,10
Kehilangan energi dalam bentuk urea (dalam urea)	1,30	0	0
Jumlah nilai energi	4,35	9,45	4,10
Nilai energi praktis	4,00	9,00	4,00

Internasional organization for standardization (IOS) menyarankan penggunaan joule (J) sebagai unit yang dikehendaki untuk perhitungan energi dalam seluruh cabang ilmu. Dengan demikian 1 kalori = 4,184 joule. Jumlah panas yang dihasilkan oleh tubuh dapat ditentukan melalui cara langsung ataupun tidak langsung.

Korimetri langsung

Cara ini menggunakan prinsip pengukuran dengan kalorimeter bom. Cara ini sangat mahal karena harus menggunakan kalorimeter yang khusus dan cukup besar.

Kalorimetri Tidak Langsung

Disini kecepatan metabolisme di ukur dengan mengukur konsumsi oksigen atau produksi CO₂ menggunakan spirometer untuk waktu tertentu. Hasil pengukuran jumlah CO₂ yang dikeluarkan untuk kegiatan menyetrika ini kemudian diubah dalam jumlah panas yang dihasilkan tiap m² luas permukaan tubuh per jam.

<i>Aktivitas</i>	<i>Kalori per Jam</i>
Naik sepeda cepat	7,6
Mencuci piring	1,0
Mengendarai mobil	0,9
Berlari	7,0
Menjahit dengan mesin kaki	0,6
Tiduran	0,1

Untuk menentukan jumlah energi yang diperlukan sehari bagi berbagai golongan umur, diperhitungkan hal-hal seperti: (a) Energi untuk metabolisme basal. (b) Energi untuk mengolah makanan yang disebut *specific action*. (c) Energi untuk pertumbuhan (d) Energi untuk melaksanakan berbagai macam kerja.

Gambar seorang wanita menyetrika dengan memakai spirometer untuk mengukur kebutuhan kalori yang diperlukan.



Secara empirik luas permukaan tubuh seseorang dapat dihitung dengan mengukur berat badan dan tinggi badan dengan menggunakan rumus Du Bois:

$$L = B^{0,425} \times T^{0,725} \times 71,84$$

L = Luas permukaan tubuh (cm^2)

Para ahli FAO mengemukakan rumus sederhana untuk menghitung jumlah kalori:

$$E = a \times B^{0,73}$$

Jumlah energi yang diperlukan seseorang tiap m^2 permukaan tubuh dalam keadaan basal disebut nilai metabolisme basal atau Basal Metabolisme Rate (BMR).

Kecepatan metabolisme atau metabolic rate yang disebabkan oleh metabolisme makanan dalam *tauber's Clyclopedia Medical Dictionary* disebut *Specific dynamic action*, disingkat SDA. Untuk protein besarnya

kira-kira 30%, untuk karbohidrat dan lemak masing masing 7% dan 4%. Pada menu sehari hari yang merupakam campuran sumber sumber energi, SDA diambil kira-kira 10% dari energi yang terkandung dalam makanan menu kita.

Pada masa pertumbuhan ada keperluan tambahan energi, khususnya pada masa anak-anak hingga dewasa muda.

BAB IX
BIOMEMBRAN DAN METABOLISME
Luh Putu Desy Puspaningrat, S.KM., M.Si.

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mampu memahami :

1. pengertian biomembran
2. Komposisi biomembran
3. Pembentukan Bio membrane
4. Fungsibiomembran
5. Pengertian metabolisme
6. Dasar-dasar metabolisme
7. Energi dalam system
8. Kontrol Hormonal Metabolisme
9. Bahan Bakar secara selektif dalam metabolisme

B. MATERI

1. Pendahuluan

Biomembran adalah suatu susunan yang teratur dari molekul-molekul protein, lipid dan kadang-kadang kolesterol, yang tebalnya antara 7,5- 10 nm. Fungsi biomembran dapat dikatakan sebagai alat pengontrol transfer dan difusi dari ion-ion atau molekul-molekul, sebagai kerangka penyusunan enzim, kendaraan transpor antar organel sel, tempat pembentukan beberapa makromolekul dan sebagai sumber informasi. Organel sel ada yang mempunyai setengah membran, membran tunggal dan membran ganda.

Sebelum menjelaskan biomembran, alangkah baiknya dijelaskan dahulu tentang membrane. Membran adalah suatu alat pemisah yang berupa penghalang memiliki sifat selektif yang mana dapat memisahkan dua fase dari berbagai campuran. Campuran tersebut dapat berupa padatan, cairan, atau gas yang memiliki sifat homogen ataupun heterogen. Driving force merupakan suatu yang menyebabkan proses transportasi pada membran yang berupa konveksi atau difusi dari masing-masing molekul, serta adanya Tarik menarik antar muatan atau konsentrasi larutan dan juga perbedaan suhu serta tekanan.

2. Biomembran

Sebuah membran biologis, biomembran atau membran sel adalah membran selektif permeabel yang memisahkan sel dari lingkungan eksternal atau menciptakan kompartemen intraseluler. Membran biologis, dalam bentuk membran sel eukariotik, terdiri dari lapisan ganda fosfolipid dengan protein yang tertanam, integral dan perifer yang digunakan dalam komunikasi dan transportasi bahan kimia dan ion. Sebagian besar lipid dalam membran sel menyediakan matriks cairan bagi protein untuk berputar dan berdifusi ke lateral untuk fungsi fisiologis. Protein beradaptasi dengan lingkungan fluiditas membran yang tinggi dari lipid bilayer dengan adanya cangkang lipid annular, yang terdiri dari molekul lipid yang terikat erat pada permukaan protein membran integral. Membran sel berbeda dari jaringan isolasi yang dibentuk oleh lapisan sel, seperti membran mukosa, membran basal, dan membran serosa.

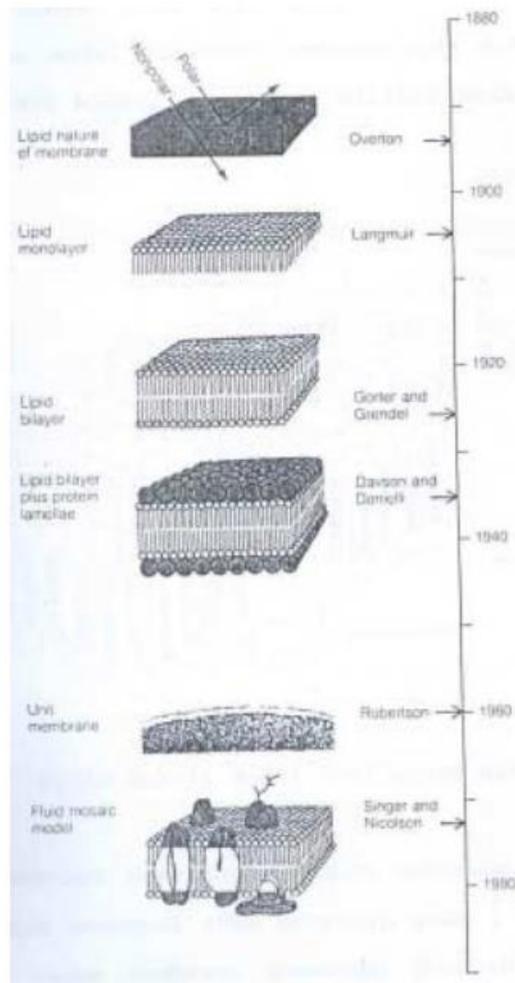
3. Sejarah Penemuan Biomembran

- 1895 - Ernest Overton berhipotesis bahwa membran sel terbuat dari lipid.
- 1925 - Evert Gorter dan François Grendel menemukan bahwa membran sel darah merah dibentuk oleh lapisan lemak setebal dua molekul, yaitu mereka menggambarkan sifat bilipid membran sel.
- 1935 - Hugh Davson dan James Danielli mengusulkan bahwa membran lipid adalah lapisan yang tersusun oleh protein dan lipid dengan struktur seperti pori yang memungkinkan permeabilitas spesifik untuk molekul tertentu. Kemudian, mereka menyarankan model untuk membran sel, yang terdiri dari lapisan lipid yang dikelilingi oleh lapisan protein di kedua sisinya (Beck. 1980).
- 1957 - J. David Robertson, berdasarkan studi mikroskop elektron, menetapkan "Hipotesis Membran Unit". Ini, menyatakan bahwa semua membran dalam sel, yaitu membran plasma dan organel, memiliki struktur yang sama: lapisan ganda fosfolipid dengan lapisan tunggal protein di kedua sisinya

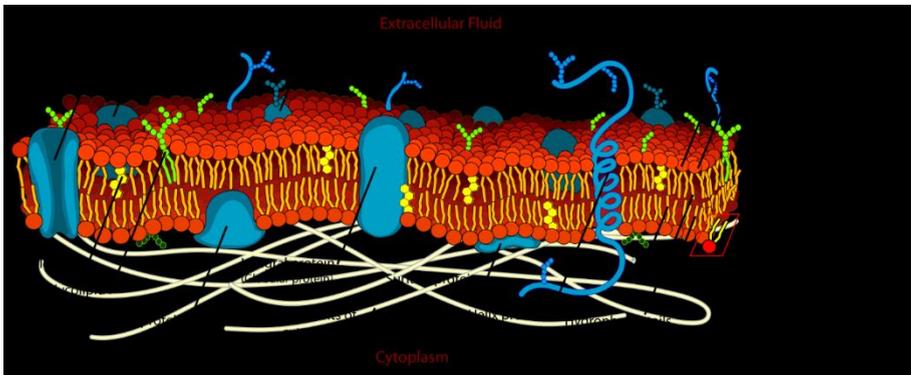
- 1972 - SJ Singer dan GL Nicolson mengusulkan model mosaik fluida sebagai penjelasan untuk data dan bukti terbaru mengenai struktur dan termodinamika membran sel.

Pada tahun 1890 Charles E. Overton mempelopori sejarah penemuan biomembran. Dia menyatakan bahwa sel terbungkus oleh beberapa lapisan permeabel yang selektif, kemungkinan tersusun dari kolesterol dan lechitin. Kemudian Irving Langmuir pada tahun 1900 mengemukakan hasil penelitiannya tentang struktur membran lipid monolayer. Struktur inilah yang menjadi dasar struktur membran pada abad ke-20. Pada tahun 1925 E. Gorter dan F. Grendel menemukan bahwa rata-rata jumlah lapisan tunggal (monolayer) pada masing-masing membran ada dua, sehingga timbul konsep lipid bilayer (Becker, 1986). Ilustrasi kronologis dari pengetahuan tentang biomembran dapat dilihat pada Gambar 1. Model dari struktur membran yang lain diajukan oleh Hugh Davson dan Danielli pada tahun 1935. Mereka menyatakan bahwa pada kedua sisi lapisan lipid ada suatu lapisan yang terdiri dari protein. Kemudian Robertson pada tahun 1959 dengan menggunakan mikroskop elektron melihat adanya 2 garis gelap setebal 2 nm yang dipisahkan oleh antara selebar 3,5 nm, sehingga tebal seluruhnya 7,5 nm. Struktur ini dinamakannya sebagai unit membran (Ting, 1982)

Gambar 1. Ilustrasi Kronologis Tentang Biomembran (Becker, 1986).



Pada tahun 1972 S.J. Singer dan G.N.Nicholson mengusulkan model struktur membran yang dikenal dengan Fluid Mozaik Model, yang dapat dilihat pada Gambar 2.



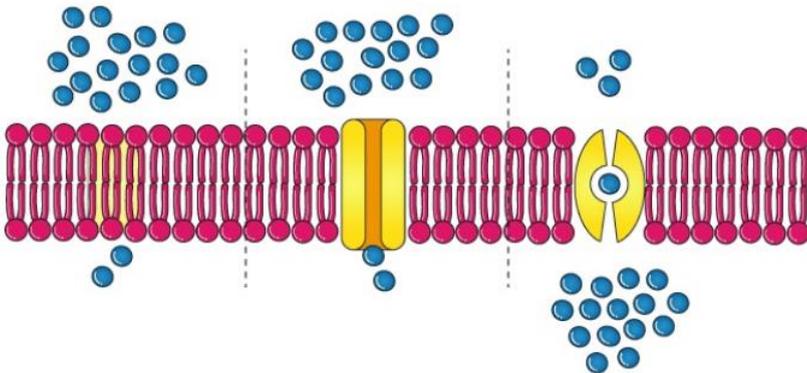
Gambar 2. Fluid Mosaik Model

Model tersebut menunjukkan bahwa beberapa molekul protein seolah menempel atau menyisip pada 2 lapisan lipid penyusun utama membran. Beberapa protein atau bagian molekul protein yang bersifat hidrofobik akan menyusup ke bagian dalam membran. Selain itu ada pula molekul protein yang menembus kedua lapisan lipid tersebut (Lakitan, 1993). Dengan menggunakan mikroskop elektron dapat dilihat bahwa kebanyakan membran biologis itu sama, apapun jenis sel atau organel yang diselimutinya. Umumnya membran mempunyai ketebalan 7,5 nm – 10,0 nm. Senyawa utama penyusun membran adalah protein dan lipid. Protein biasanya mencakup setengah sampai dua pertiga dari total berat kering membran (Salisbury dan Ross, 1995). Jenis dan proporsi molekul protein dan lipid yang terkandung pada membran beragam, tergantung pada jenis membran dan kondisi fisiologis dari sel yang bersangkutan. Perbedaan ini dapat dilihat diantara membran plasma, tonoplast, retikulum endoplasma, diktiosom, kloroplast, nukleus, mitokondria dan benda mikro (peroksisom dan glioksisom). Komposisi membran berbeda-beda tergantung pada spesies dan lingkungan tempat tumbuhnya (Lakitan, 1993). Jenis lipid yang umum dijumpai adalah fosfolipid, glikolipid dan sterol. Empat jenis fosfolipid yang paling banyak dijumpai adalah : fosfatidil kolin, fosfatidil etanolamin, fosfatidil gliserol dan fosfatidil inositol. Dua jenis glikolipid yang banyak didapati adalah: monogalaktosidil gliserida (mengandung satu molekul galaktosa) dan digalaktosidil gliserida (mengandung dua molekul galaktosa). Glikolipid terutama terdapat pada kloroplast, dimana fosfolipid jarang dijumpai (Beck, 1990). Jumlah sterol dalam membran sangat beragam sesuai dengan spesiesnya, misalnya pada membran plasma, nisbah

sterol terhadap fosfolipid pada akar jelai sebesar 2,2 tetapi pada daun bayam sebesar 0,1 (Salisbury dan Ross, 1995). Sterol juga bersifat amfipatik sebab mempunyai bagian hidrofobik panjang yang kaya akan karbon dan hidrogen, sedangkan bagian hidrofilik yang pendek berupa gugus hidroksil (Lakital, 1993). Molekul lipid tersusun sedemikian rupa sehingga merupakan lapisan bagian dalam. Bagian molekul lipid yang bersifat polar berikatan dengan molekul protein. Sedangkan bagian non polar berada dibagian dalam bersama dengan cairan yang terdapat di lapisan tengah. Adanya lapisan protein di bagian luar menjadikan membran sel bersifat hidrofil, artinya molekul air dapat dengan mudah menempel pada membran (Pudjiadi, 1990). Struktur semua lipid ini memiliki karakteristik yang khas, yakni lipid tersebut memiliki gliserol dengan 3 atom karbon sebagai tulang punggung. Pada 2 dari 3 atom tersebut akan teresterifikasi asam-asam lemak dengan 16 atau 18 atom karbon (Lakitan, 1993). Semua asam lemak bersifat hidrofobik (takut air), sedangkan gliserol dengan atom oksigennya lebih bersifat hidrofilik (suka air), karena oksigen dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Pada atom karbon gliserol yang tidak mengikat asam lemak akan berasosiasi dengan molekul lain yang bersifat hidrofilik karena molekul tersebut bermuatan listrik atau mengandung banyak atom oksigen. Molekul yang mengandung bagian hidrofilik dan hidrofobik yang jelas ini disebut molekul-molekul amfipatik (Salisbury dan Ross, 1995). Pada semua membran bagian lipid yang bersifat hidrofilik akan terikat pada molekul-molekul air dan berada pada permukaan kedua sisi membran, sedangkan bagian asam lemak akan terdorong ke bagian internal dari membran. Asam-asam lemak pada bagian internal membran akan saling tarik menarik oleh tenaga penarik Waals. Hal itulah yang menyebabkan membran tersusun dari dua lapisan lipid (Lakitan, 1993). Protein membran mempunyai peran biologis yang penting, misalnya sebagai reseptor, karier, transpor, enzim dan lain-lain (Manitto, 1981). Jadi protein pada membran dikenal ada 3 jenis : protein katalis (enzim), protein pembawa atau pengangkut (carrier) dan protein struktural. Protein katalis (enzim) pada membran kebanyakan adalah enzim yang memacu hidrolisis ATP menjadi ADP dan H_2PO_3 . Enzim ini disebut ATP-ase. Selain ATP-ase pada membran dapat pula ditemukan berbagai jenis protein lainnya, Protein pembawa pada membran bergabung untuk mengangkut berbagai ion atau molekul melintasi membran. Beberapa jenis protein pada membran yang

tidak mempunyai aktifitas enzimatik dan tidak berfungsi sebagai pengangkut ion atau molekul disebut sebagai protein struktural (Lakitan, 1993). Komponen membran penting lainnya adalah Ca^{2+} , dimana tanpa ion ini membran akan kehilangan kemampuannya untuk mengangkut bahan-bahan terlarut kedalam sitoplasma atau organel-organel sel. Tanpa ion Ca^{2+} membran akan menjadi bocor, dimana bahan-bahan yang sudah dibawa kedalam sitoplasma atau organel akan dapat merembes keluar. Fungsi Ca^{2+} belum diketahui dengan baik, tapi diperkirakan berperan mengikat bagian hidrofilik satu sama lain dan dengan bagian protein yang bermuatan negatif di dalam membran (Salisbury dan Ross, 1995). Protein-protein yang bergabung dengan 2 lapisan lipid ada 2 tipe, yakni protein integral (intrinsik) dan protein perifer (protein ekstrinsik) (Taiz dan Zeiger, 1991). Protein integral merupakan protein yang terikat kuat pada membran, dan hanya dapat dipisahkan jika ikatan hidrogen diantara masing-masing komponen membran telah terputus. Protein perifer terikat lebih lemah pada salah satu sisi permukaan membran dan dapat dilepaskan dengan larutan garam encer atau dengan deterjen. Tidak ada protein yang hanya sebagian terikat pada lapisan rangkap lipid, artinya semua tersebar atau semua hanya menempel di permukaan (Becker, 1986). Beberapa protein perifer dalam membran plasma, tonoplas, retikulum endoplasma dan diktiosom mengandung polisakarida pendek yang sering bercabang atau menempel pada permukaan membran bagian luar. Protein itu disebut glikoprotein. Fungsi utama polisakarida dalam membran plasma adalah sebagai faktor pengenalan. Secara khusus polisakarida mengenali protein luar dan berbagai macam polisakarida lain. Jadi fungsi utama glikoprotein adalah memberi sifat pengenalan pada molekul yang terlibat dalam lalu lintas didalam sel (Salisbury dan Ross, 1995).

Difusi Terfasilitasi



Gambar 3 Difusi Terfasilitasi Pada Biomembran

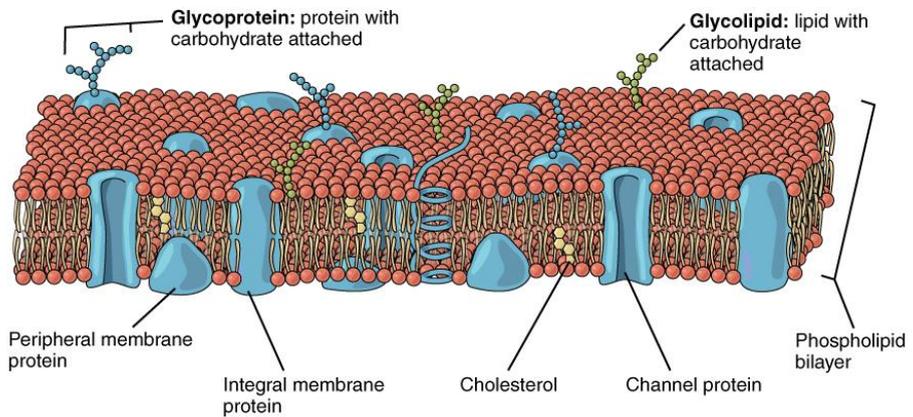
4. Komposisi Biomembran

Konsep dari membran biologis telah berkembang dengan berkembangnya dan digunakannya metoda kimia dan morfologi. Sekarang disepakati bahwa biomembran adalah suatu susunan yang teratur dari molekul-molekul protein, fosfolipid dan kadang-kadang kolesterol, yang tebalnya kira-kira 10 nm. Biomembran terbagi dengan tepat kedalam 3 kategori : - Membran plasma - Membran sitoplasma - Membran nukleus Kategori ini dapat dibedakan oleh hubungan geometri dari sel, komposisi kimia, ultrastruktur dan tingkah laku fisiologi (Beck, 1990).

Model membran cairan dari lapisan ganda fosfolipid. Lapisan ganda lipid terdiri dari dua lapisan - selebaran luar dan selebaran dalam.[1] Komponen bilayer terdistribusi tidak merata antara dua permukaan untuk menciptakan asimetri antara permukaan luar dan dalam.[2] Organisasi asimetris ini penting untuk fungsi sel seperti pensinyalan sel.[3] Asimetri membran biologis mencerminkan fungsi yang berbeda dari dua selebaran membran.[4] Seperti yang terlihat pada model membran cairan dari lapisan ganda fosfolipid, selebaran luar dan selebaran dalam membran tidak simetris dalam komposisinya. Protein dan lipid tertentu hanya terletak pada satu permukaan membran dan tidak pada permukaan lainnya.

Baik membran plasma dan membran internal memiliki permukaan sitosol dan ekstraseluler • Orientasi ini dipertahankan selama perdagangan membran – protein, lipid, glikokonjugat yang menghadap lumen RE dan Golgi diekspresikan pada sisi ekstraseluler membran plasma. Dalam sel

eukariotik, fosfolipid baru diproduksi oleh enzim yang terikat pada bagian membran retikulum endoplasma yang menghadap sitosol.[5] Enzim-enzim ini, yang menggunakan asam lemak bebas sebagai substrat, menyimpan semua fosfolipid yang baru dibuat ke dalam setengah sitosol bilayer. Untuk memungkinkan membran secara keseluruhan tumbuh secara merata, setengah dari molekul fosfolipid baru kemudian harus dipindahkan ke lapisan tunggal yang berlawanan. Transfer ini dikatalisis oleh enzim yang disebut flippases. Dalam membran plasma, flippases mentransfer fosfolipid spesifik secara selektif, sehingga jenis yang berbeda menjadi terkonsentrasi di setiap lapisan tunggal.[5]



Gambar 3. Model membran cairan dari lapisan ganda fosfolipid.

Namun, menggunakan flippases selektif bukan satu-satunya cara untuk menghasilkan asimetri dalam lapisan ganda lipid. Secara khusus, mekanisme yang berbeda beroperasi untuk glikolipid—lipid yang menunjukkan distribusi asimetris yang paling mencolok dan konsisten dalam sel hewan.[5]

Lemak

Membran biologis terdiri dari lipid dengan ekor hidrofobik dan kepala hidrofilik. Ekor hidrofobik adalah ekor hidrokarbon yang panjang dan saturasinya penting dalam mengkarakterisasi sel.[7] Rakit lipid terjadi ketika spesies lipid dan protein berkumpul dalam domain di membran. Ini membantu mengatur komponen membran ke dalam area lokal yang terlibat dalam proses tertentu, seperti transduksi sinyal.

Sel darah merah, atau eritrosit, memiliki komposisi lipid yang unik. Lapisan ganda sel darah merah terdiri dari kolesterol dan fosfolipid dalam proporsi berat yang sama.[7] Membran eritrosit berperan penting dalam pembekuan darah. Dalam bilayer sel darah merah adalah fosfatidylserine. Ini biasanya di sisi sitoplasma membran. Namun, itu dibalik ke membran luar untuk digunakan selama pembekuan darah.[8]

Protein

Bilayer fosfolipid mengandung protein yang berbeda. Protein membran ini memiliki berbagai fungsi dan karakteristik dan mengkatalisis reaksi kimia yang berbeda. Protein integral menjangkau membran dengan domain berbeda di kedua sisi.[6] Protein integral memiliki hubungan yang kuat dengan lapisan ganda lipid dan tidak dapat dengan mudah terlepas.[9] Mereka akan terdisosiasi hanya dengan perlakuan kimia yang merusak membran. Protein perifer tidak seperti protein integral karena memiliki interaksi yang lemah dengan permukaan bilayer dan dapat dengan mudah dipisahkan dari membran.[6] Protein perifer terletak hanya pada satu permukaan membran dan menciptakan asimetri membran.

Oligosakarida

Oligosakarida adalah gula yang mengandung polimer. Di dalam membran, mereka dapat terikat secara kovalen dengan lipid untuk membentuk glikolipid atau terikat secara kovalen dengan protein untuk membentuk glikoprotein. Membran mengandung molekul lipid yang mengandung gula yang dikenal sebagai glikolipid. Dalam lapisan ganda, kelompok gula glikolipid terpapar pada permukaan sel, di mana mereka dapat membentuk ikatan hidrogen.[9] Glikolipid memberikan contoh paling ekstrim dari asimetri dalam lapisan ganda lipid. Glikolipid melakukan sejumlah besar fungsi dalam membran biologis yang terutama komunikatif, termasuk pengenalan sel dan adhesi sel-sel. Glikoprotein adalah protein integral.[2] Mereka memainkan peran penting dalam respon imun dan perlindungan.[11]

5. Pembentukan Biomembran

Lapisan ganda fosfolipid terbentuk karena agregasi lipid membran dalam larutan berair.[4] Agregasi disebabkan oleh efek hidrofobik, di mana

ujung hidrofobik bersentuhan satu sama lain dan dipisahkan dari air.[6] Susunan ini memaksimalkan ikatan hidrogen antara kepala hidrofilik dan air sambil meminimalkan kontak yang tidak menguntungkan antara ekor hidrofobik dan air.[10] Peningkatan ikatan hidrogen yang tersedia meningkatkan entropi sistem, menciptakan proses spontan.

6. Fungsi Biomembran

Molekul biologis bersifat amfifilik atau amfipatik, yaitu secara bersamaan hidrofobik dan hidrofilik.[6] Lapisan ganda fosfolipid mengandung gugus kepala hidrofilik bermuatan, yang berinteraksi dengan air polar. Lapisan juga mengandung ekor hidrofobik, yang bertemu dengan ekor hidrofobik dari lapisan pelengkap. Ekor hidrofobik biasanya asam lemak yang berbeda panjangnya.[10] Interaksi lipid, terutama ekor hidrofobik, menentukan sifat fisik lipid bilayer seperti fluiditas.

Membran dalam sel biasanya mendefinisikan ruang tertutup atau kompartemen di mana sel dapat mempertahankan lingkungan kimia atau biokimia yang berbeda dari luar. Misalnya, membran di sekitar peroksisom melindungi sisa sel dari peroksida, bahan kimia yang dapat menjadi racun bagi sel, dan membran sel memisahkan sel dari media sekitarnya. Peroksisom adalah salah satu bentuk vakuola yang ditemukan di dalam sel yang mengandung produk sampingan dari reaksi kimia di dalam sel. Sebagian besar organel ditentukan oleh membran seperti itu, dan disebut organel terikat membran.

Biomembran bukan hanya sekedar kulit inert yang membungkus sel dan bukan pula sekedar struktur yang tetap, karena membran menjalankan fungsi dinamis yang kompleks dan memiliki sifat-sifat biologi yang agak menonjol (Lehninger, 1993). Biomembran sering dikatakan bersifat semipermeabel, berarti molekul air dapat menembus biomembran tersebut, sedangkan bahan-bahan yang terlarut dalam air tersebut tidak dapat menembus membran tersebut. Biasanya bersamasama molekul air akan pula ikut ion-ion atau senyawa tertentu yang terlarut didalamnya juga bergerak menembus membran. Berdasarkan kenyataan ini dikatakan bahwa sesungguhnya biomembran itu bersifat permeabel diferensial (tembus terkendali) (Lakitan, 1993). Hampir semua biomembran mengandung sistem kompleks yang memindahkan moleku-molekul organik tertentu atau membiarkan ion anorganik spesifik untuk masuk kedalam dan produk-

produk tertentu keluar sel. Sistem transpor membantu mempertahankan keadaan seimbang yang terus menerus pada medium internal sel (Lehninger, 1993). Molekul-molekul air akan lebih leluasa untuk melewati biomembran dibandingkan dengan ion-ion atau senyawa-senyawa lainnya. Ada 4 teori untuk menjelaskan mengapa air lebih mudah melewati biomembran dibandingkan dengan ion atau senyawa lainnya, yakni : 1. Membran tersusun dari bahan yang lebih mudah berasosiasi dengan molekul air dibanding dengan senyawa lain yang terlarut didalam air, sehingga dengan demikian air akan lebih mudah melewati membran. 2. Adanya gelembung udara yang mengisi celah-celah membran, sehingga hanya molekul atau unsur yang mudah menguap yang dapat melewati membran. Molekul air merupakan senyawa yang mudah menguap. 3. Pada membran terdapat pori-pori yang sangat kecil, sehingga hanya dapat dilalui oleh molekul-molekul air dan tidak cukup besar untuk dapat dilalui oleh molekul-molekul lain. Disini membran berfungsi sebagai saringan atau tapis. 4. Air bergerak lebih cepat karena pergerakannya melewati membran disebabkan oleh difusi yang cepat pada bidang temu (interface) antara air dalam pori membran dengan cairan sitoplasma, karena adanya perbedaan potensial air yang sangat besar antara cairan sitoplasma dengan air dalam pori membran. Difusi yang sangat cepat pada bidang temu ini menyebabkan tarikan (tension) bagi molekul-molekul air yang berada dalam pori membran, sehingga menimbulkan aliran massa molekul-molekul air di dalam pori membran menuju sitoplasma (Lakitan, 1993). Untuk lebih jelasnya beberapa model pergerakan air melewati membran dapat dilihat pada Gambar 3. Fungsi lain dari membran sel adalah dapat sebagai tempat berlangsungnya reaksi metabolisme, karena pada membran terdapat sejumlah enzim dan berfungsi sebagai katalis dalam beberapa metabolisme (Pudjiadi, 1994).

7. Permeabilitas selektif

Mungkin fitur yang paling penting dari biomembran adalah bahwa itu adalah struktur selektif permeabel. Ini berarti bahwa ukuran, muatan, dan sifat kimia lainnya dari atom dan molekul yang mencoba melintasinya akan menentukan apakah mereka berhasil melakukannya. Permeabilitas selektif sangat penting untuk pemisahan efektif sel atau organel dari sekitarnya. Membran biologis juga memiliki sifat mekanik atau elastis tertentu yang memungkinkannya berubah bentuk dan bergerak sesuai kebutuhan.

Umumnya, molekul hidrofobik kecil dapat dengan mudah melintasi lapisan ganda fosfolipid dengan difusi sederhana.

Partikel yang diperlukan untuk fungsi seluler tetapi tidak dapat berdifusi secara bebas melintasi membran masuk melalui protein transpor membran atau diambil melalui endositosis, di mana membran memungkinkan vakuola bergabung ke dalamnya dan mendorong isinya ke dalam sel. Banyak jenis membran plasma khusus dapat memisahkan sel dari lingkungan eksternal: yang apikal, basolateral, prasinaptik dan postsinaptik, membran flagela, silia, mikrovili, filopodia dan lamellipodia, sarkolema sel otot, serta myelin khusus dan membran tulang belakang dendritik dari neuron. Membran plasma juga dapat membentuk berbagai jenis struktur "supramembran" seperti caveolae, densitas postsinaptik, podosom, invadopodium, desmosom, hemidesmosom, adhesi fokal, dan sambungan sel. Jenis membran ini berbeda dalam komposisi lipid dan protein.

Jenis membran yang berbeda juga menciptakan organel intraseluler: endosom; retikulum endoplasma halus dan kasar; retikulum sarkoplasma; aparatus Golgi; lisosom; mitokondria (selaput dalam dan luar); nukleus (selaput dalam dan luar); peroksisom; vakuola; butiran sitoplasma; vesikel sel (fagosom, autofagosom, vesikel berlapis clathrin, vesikel berlapis COPI dan COPII) dan vesikel sekretori (termasuk sinaptosom, akrosom, melanosom, dan butiran kromafin). Berbagai jenis membran biologis memiliki komposisi lipid dan protein yang beragam. Isi membran menentukan sifat fisik dan biologisnya. Beberapa komponen membran memainkan peran kunci dalam pengobatan, seperti pompa penghabisan yang memompa obat keluar dari sel.

8. Ketidakstabilan

Inti hidrofobik dari lapisan ganda fosfolipid terus bergerak karena rotasi di sekitar ikatan ekor lipid.[13] Ekor hidrofobik dari lipatan bilayer dan saling mengunci. Namun, karena ikatan hidrogen dengan air, gugus kepala hidrofilik menunjukkan gerakan yang lebih sedikit karena rotasi dan mobilitasnya dibatasi.[13] Hal ini menyebabkan peningkatan viskositas lipid bilayer lebih dekat ke kepala hidrofilik.

Di bawah suhu transisi, lapisan ganda lipid kehilangan fluiditas ketika lipid yang sangat mobile menunjukkan gerakan yang lebih sedikit menjadi padatan seperti gel.[14] Suhu transisi tergantung pada komponen lipid

bilayer seperti panjang rantai hidrokarbon dan saturasi asam lemaknya. Fluiditas yang bergantung pada suhu merupakan atribut fisiologis penting bagi bakteri dan organisme berdarah dingin. Organisme ini mempertahankan fluiditas konstan dengan memodifikasi komposisi asam lemak lipid membran sesuai dengan suhu yang berbeda.

Dalam sel hewan, fluiditas membran dimodulasi oleh masuknya kolesterol sterol. Molekul ini hadir dalam jumlah yang sangat besar di membran plasma, di mana ia merupakan sekitar 20% dari berat lipid dalam membran. Karena molekul kolesterol pendek dan kaku, mereka mengisi ruang di antara molekul fosfolipid tetangga yang ditinggalkan oleh kekusutan di ekor hidrokarbon tak jenuhnya. Dengan cara ini, kolesterol cenderung membuat lapisan ganda menjadi kaku, membuatnya lebih kaku dan kurang permeabel.[5]

9. Biomembran Organel Sel

Retikulum Endoplasma Pada banyak sel, retikulum endoplasma menyerupai kantong kempis yang berlapis-lapis. Retikulum endoplasma yang ditempelinya banyak ribosom disebut retikulum endoplasma kasar, sedangkan yang tidak ber-ribosom dan sering berbentuk pipia disebut retikulum endoplasma halus (Lehninger, 1993). Retikulum endoplasma banyak mensintesis dirinya sendiri, termasuk sterol dan fosfolipid yang menjadi bagian penting dari semua membran. Dengan kata lain retikulum endoplasma merupakan sumber dari sebagian besar membran yang dibuat di sel. Fungsi lainnya adalah mengangkut enzim tertentu dan protein lain menembus membran plasma dan keluar dari sitoplasma dalam proses sekresi (Salisbury dan Ross, 1995). Nukleus dikelilingi oleh dua membran, dimana ketebalan membran luar adalah 7,5-10 nm, sedikit lebih tebal dari membran dalam yang tebalnya 7,5 nm. Kedua lapis membran ini dipisahkan oleh ruang perinukleus yang lebarnya 10-40 nm, sehingga tebal seluruh membran nukleus ialah 25-57 nm (Salisbury dan Ross, 1995). Retikulum endoplasma sering terlihat berhubungan dengan membran nukleus dan ruang perinukleus bersambungan dengan ruang diantara membran retikulum endoplasma dan dengan melalui plasmodesmata yang bersambungan dari sel ke sel. Ketika inti membelah membran nukleus rusak dan menghilang. Membran nukleus (paling tidak membran sebelah dalamnya) mengandung banyak sekali asam nukleat dengan ikatan molekul yang kuat (Becker, 1986). Membran nukleus mempunyai banyak pori

(bersegi delapan dan berdiameter kira-kira 70 nm). Membran dalam dan membran luar menyatu membentuk © 2003 Digitized by USU digital library 7 pinggiran pori, yang dipertahankan bentuknya oleh suatu bahan sehingga terjadi struktur yang disebut anulus. Bahan itulah yang mengisi pori dan ada terowongan sempit di tengah-tengahnya. Terowongan ini nampak seperti terisi oleh sejumlah partikel yang seukuran dengan subunit ribosom, yang tersangkut dalam perjalanannya dari nukleus ke sitoplasma. Partikel yang lebih besar dari 10 nm tidak dapat melewati pori tersebut (Salisbury dan Ross, 1995). Vakuola atau Tonoplas Membran tunggal yang sangat penting pada sel tumbuhan dan sel cendawan adalah membran yang menyelimuti vakuola atau tonoplas. Tonoplas berfungsi mengangkut zat terlarut keluar-masuk vakuola, jadi mengendalikan potensial air. Potensial air pada sel penjaga dari perangkat stomata. Kalium dan ion lain dipompa ke dalam dan keluar vakuola sel penjaga; air mengikutinya secara osmotik, sehingga sel itu mengembang atau mengempis. Hasilnya stomata membuka atau menutup. Pada dasarnya tonoplas berasal dari retikulum endoplasma, tapi diduga melalui perangkat Golgi. Kadang retikulum endoplasma mengembang, langsung membentuk vakuola (Salisbury dan Ross, 1995). Benda Mikro Benda mikro adalah organel bulat yang terbungkus oleh hanya satu membran. Diameternya kira-kira 0,5-1,5 nm dan berbutir-butir disebelah dalamnya, kadang disertai kristal protein. Dua jenis benda mikro yang penting adalah peroksisom dan glioksisom. Peroksisom menguraikan asam glikolat yang dihasilkan dari fotosintesis, mendaur ulang molekul kembali ke kloroplas. Glioksisom menguraikan lemak menjadi karbohidrat selama dan sesudah perkecambahan (Becker, 1986). Oleosom Oleosom berbentuk bulat dan diselubungi oleh setengah membran yang mungkin berasal dari retikulum endoplasma. Kisaran diameternya antara 0,5-2,0 nm. Oleosom sebagian besar berisi bahan berlemak dan menjadi pusat sintesis dan penyimpanan lemak (Salisbury dan Ross, 1995). Mitokondria Mitokondria memiliki sistem membran dalam yang berlipat-lipat, diselubungi oleh membran luar yang halus. Membran luar dan membran dalam sangat berbeda. Membran luar yang halus memiliki bagian lipid yang besar dan sangat permeabel terhadap banyak senyawa yang masuk-keluar mitokondria. Membran dalam yang berlipat-lipat sangat rumit mempunyai beberapa bentuk, diantaranya tonjolan pipih atau membulat panjang yang disebut krista. Krista mengandung hampir semua enzim yang berperan

dalam memacu sistem pengangkutan elektron yang dihasilkan dari reaksi-reaksi pada siklus Krebs (Lakitan, 1993 dan Lehninger, 1993). Plastid Plastid merupakan struktur khusus, diselimuti oleh sistem membran rangkap. Membran dalamnya tidak berlipat-lipat. Plastid ada yang berwarna dan ada yang tidak berwarna. Plastid yang berwarna adalah kloroplas (mengandung pigmen hijau) dan kromoplas (mengandung pigmen lain) (Lakitan, 1993). Kloroplas mengandung suatu sistem membran yang bernama tilakoid, yang sering sambung menyambung membentuk tumpukan membran yang disebut grana. Grana terbenam dalam stroma. Enzim yang mengendalikan fotosintesis terdapat di membran tilakoid dan di stroma (Salisbury dan Ross, 1995).

10. Metabolisme

Metabolisme terdiri dari serangkaian reaksi yang terjadi di dalam sel organisme hidup untuk mempertahankan kehidupan. Proses metabolisme melibatkan banyak jalur seluler yang saling berhubungan untuk akhirnya menyediakan sel dengan energi yang dibutuhkan untuk menjalankan fungsinya. Pentingnya dan keuntungan evolusioner dari jalur ini dapat dilihat karena banyak yang tetap tidak berubah oleh hewan, tumbuhan, jamur, dan bakteri. Pada eukariota, jalur metabolisme terjadi di dalam sitosol dan mitokondria sel dengan pemanfaatan glukosa atau asam lemak yang menyediakan sebagian besar energi seluler pada hewan. Metabolisme diatur ke dalam jalur metabolisme yang berbeda untuk memaksimalkan penangkapan energi atau meminimalkan penggunaannya. Metabolisme dapat dipecah menjadi serangkaian reaksi kimia yang terdiri dari sintesis dan degradasi makromolekul kompleks yang masing-masing dikenal sebagai anabolisme atau katabolisme. Prinsip-prinsip dasar konsumsi dan produksi energi dibahas, di samping jalur biokimia yang membentuk proses metabolisme mendasar bagi kehidupan.

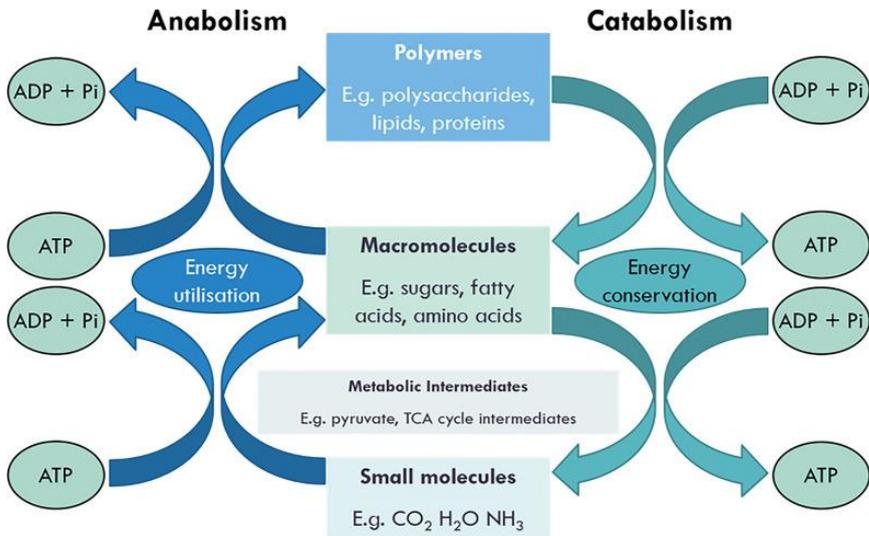
a. Dasar-Dasar Metabolisme

Ketika banyak orang berpikir tentang metabolisme, mereka memikirkan makanan dan minuman atau diagram jalur metabolisme besar dengan ribuan koneksi. Namun, memahami metabolisme adalah kunci untuk memahami kehidupan dan hal ini telah menjadi subjek ketertarikan para ahli biokimia selama lebih dari 150 tahun. Ilmuwan

besar pemenang Hadiah Nobel Hans Krebs terinspirasi untuk mempelajari metabolisme oleh profesor universitasnya Prof France Knoop (yang menemukan -oksidasi asam lemak). Dia membongkar dan menggambarkan siklus asam sitrat dan siklus urea yang terletak sebagai proses dasar metabolisme. Prof Franz Knoop berkata:

“Tujuan akhir dari kimia fisiologis/(metabolisme)” adalah untuk “menyajikan skema yang menyatukan serangkaian persamaan yang tidak terputus dari semua reaksi dari bahan makanan yang secara terus menerus memasok kebutuhan energinya ke organisme, sampai ke terak yang sekali lagi meninggalkan organisme sebagai produk oksidasi akhir yang tidak berenergi.”
Prof Franz Knoop 1931 - Hans Krebs: Pembentukan kehidupan ilmiah 1900–1933 oleh F.L. Holmes.

Meskipun mungkin menakutkan untuk memikirkan setiap jalur metabolisme yang terjadi, kita dapat memecahnya dan memahami aspek-aspeknya yang lebih kecil. Kata-kata Knoop mendukung arti sebenarnya dari metabolisme dan salah satu peran sentralnya dalam biokimia dan kimia fisiologis. Metabolisme berasal dari kata Yunani, *metabol* yang berarti 'berubah' dan terdiri dari total semua reaksi kimia yang terjadi di dalam sel yang penting bagi kehidupan. Reaksi kimia ini terdiri dari sintesis dan degradasi makromolekul kompleks dan dapat dibagi menjadi katabolisme atau anabolisme (Gambar 1 – katabolisme vs anabolisme). Katabolisme adalah degradasi makromolekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana seperti karbon dioksida, air, dan amonia. Anabolisme adalah jalur biosintetik yang menghasilkan makromolekul kompleks seperti asam nukleat, protein, polisakarida, dan lipid.



Gambar 2. Penggabungan jalur anabolik dan katabolic Anabolisme memanfaatkan energi untuk membuat makromolekul dan polimer biomolekuler. Katabolisme melepaskan energi ketika ini dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana.

Jalur metabolisme sangat penting dalam menangkap energi yang berguna. Ini berbeda dengan pembakaran yang tidak terkendali, di mana energi dilepaskan dengan cepat ke lingkungan, sebagai panas dan cahaya, yang tidak akan berkelanjutan untuk kehidupan. Metabolisme diatur ke dalam jalur metabolisme yang berbeda untuk memaksimalkan penangkapan energi atau meminimalkan penggunaannya. Dalam katabolisme, jalur metabolisme diatur sedemikian rupa sehingga energi dilepaskan perlahan dalam kuantum energi diskrit, yang ditangkap oleh sintesis adenosin trifosfat (ATP), guanosin trifosfat (GTP), NAD(P)H (nikotinamida adenin nukleotida (fosfat)) atau oleh rantai transpor elektron (ETC). Dalam anabolisme, jalur metabolisme menggunakan kuantum energi diskrit ini dalam bentuk ATP dan NADPH untuk melakukan pekerjaan, seperti sintesis biomolekul.

Tindakan jalur metabolisme dalam sel sangat mengesankan dengan kemampuan untuk mengatur beberapa ratus reaksi metabolisme yang terjadi secara bersamaan di dalam sel dan terjadi pada suhu yang relatif rendah. Sebagian besar ini dicapai oleh enzim spesifik dan kompartementalisasi reaksi dan enzim. Kadang-kadang

kompartementalisasi ini dicapai dengan memisahkan reaksi menjadi organel yang berbeda, atau dengan menggabungkan reaksi bersama-sama, untuk mencegah pembakaran yang tidak terkendali. Enzim memungkinkan reaksi diskrit terjadi, yang bila digabungkan memberikan efek keseluruhan yang sama seperti pembakaran, tetapi dengan cara yang terkendali. Dalam ulasan ini, kita akan membahas energi reaksi, peran enzim metabolisme, jalur metabolisme utama, dan kemudian organel vital untuk pembangkit energi.

b. Energi dalam sistem

Salah satu biomolekul terpenting dalam sel adalah nukleotida; ATP. ATP memiliki struktur trifosfat linier yang menyediakan empat muatan negatif dan karena itu ada sebagai molekul bermuatan tinggi. Karena muatan negatif ini, ikatan ini dapat menyimpan sejumlah besar energi, yang dapat dengan mudah dibebaskan di tempat kerja. Bersamaan dengan ATP, NAD^+ juga bertindak sebagai penyimpan energi dalam bentuk tereduksinya, $\text{NADH} + \text{H}^+$. NAD^+ bertindak sebagai pembawa elektron universal dalam sel, mengangkut elektron dari tempat katabolisme ke ETC.

Milie du Châtelet mengusulkan hukum kekekalan, yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan; sebaliknya, itu hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Ini terkait dengan hukum pertama termodinamika dan membantu kita menjelaskan bagaimana energi mengalir melalui sistem biologis. Hukum termodinamika juga membantu kita untuk memprediksi apakah suatu reaksi mungkin terjadi dan berapa banyak energi yang dibutuhkan atau dilepaskan dalam proses tersebut. Ini membawa kita ke konsep penting: peran kesetimbangan kimia, di mana reaksi dapat dibalik (lihat Gambar 2). Pada kesetimbangan, tidak ada reaksi bersih karena kedua reaksi maju dan mundur bergerak sama cepatnya. Sistem bertujuan untuk membawa reaksi ke kesetimbangan. Namun, keseimbangan sejati tidak sesuai dengan kehidupan, karena tidak ada lagi aliran energi.

Deterjen adalah molekul amfifilik yang banyak digunakan untuk melarutkan membran biologis dan/atau mengekstrak komponennya. Namun demikian, karena komposisi biomembran yang kompleks,

kelarutannya oleh deterjen belum dipelajari secara sistematis. Dalam ulasan ini, kami membahas solubilisasi eritrosit, yang menyediakan biomembran yang relatif sederhana, kuat dan mudah ditangani, dan model biomimetik, untuk menekankan peran komposisi lipid pada proses solubilisasi. Pertama, hasil studi sistematis tentang pelarutan membran eritrosit manusia dengan berbagai seri deterjen non-ionik (Triton, CxEy, Brij, Renex, Tween), anionik (garam empedu) dan zwitterionic (ASB, CHAPS) ditampilkan. Pendekatan kuantitatif semacam itu memungkinkan kami untuk mengusulkan Re_{sat} —rasio molar deterjen/lipid yang efektif dalam membran untuk permulaan hemolisis sebagai parameter baru untuk mengklasifikasikan efisiensi pelarutan deterjen. Kedua, membran tahan-detergen (DRM) yang diperoleh sebagai hasil dari pelarutan parsial eritrosit oleh deterjen TX-100, C12E8 dan Brij diperiksa. DRM dicirikan oleh kandungan kolesterol, sphingolipid dan protein spesifiknya, serta pengemasan lipid. Akhirnya, lapisan ganda lipid dari komposisi lipid yang disetel membentuk liposom digunakan untuk menyelidiki proses pelarutan membran dari berbagai komposisi / fase yang diinduksi oleh Triton X-100. Mikroskop optik vesikel unilamellar raksasa mengungkapkan bahwa membran fosfolipid murni sepenuhnya larut, sedangkan keberadaan kolesterol membuat campuran sebagian atau bahkan sepenuhnya tidak larut, tergantung pada komposisi. Selain itu, Triton X-100 menginduksi pemisahan fase dalam campuran seperti rakit, dan hanya pelarutan selektif fase fluida.

c. **Kontrol Hormonal Metabolisme**

Pada mamalia, metabolisme juga dapat dikendalikan oleh interaksi antara hormon peptida kecil: insulin dan glukagon. Keduanya diproduksi di pulau Langerhans di dalam pankreas, insulin di dalam sel pankreas dan glukagon di dalam sel pankreas. Baik insulin dan glukagon disimpan dalam vesikel di sel masing-masing, menunggu sinyal untuk dilepaskan ke aliran darah. Setelah kadar glukosa darah meningkat, misalnya setelah makan, insulin dilepaskan dari vesikelnya ke dalam darah. Efek insulin tersebar luas. Seiring dengan mengatur fungsi metabolisme di hati, ia juga mampu secara signifikan meningkatkan pengambilan glukosa di jaringan perifer. Insulin

berikatan dengan reseptor insulin (reseptor tirosin kinase) pada permukaan sel yang melakukan autofosforilasi dan merekrut substrat reseptor insulin (IRS). IRS kemudian memulai jalur transduksi pensinyalan, yang akhirnya mengarah pada fosforilasi AKT (juga dikenal sebagai PKB), protein yang memediasi atau mengarahkan kerja insulin.

Insulin memiliki efek jangka pendek dan jangka panjang, tergantung pada keadaan metabolisme organisme. Di otot rangka, jantung, dan jaringan adiposa, pensinyalan insulin menyebabkan translokasi transporter glukosa (GLUT4) ke membran plasma, dari penyimpanan vesikel internal. Ini secara signifikan meningkatkan potensi penyerapan glukosa ke dalam sel-sel ini. Seperti dibahas secara singkat nanti, insulin juga mampu mengatur ekspresi gen untuk meningkatkan pemanfaatan glukosa, penyimpanan sebagai glikogen, penyerapan asam lemak, dan penyimpanan sebagai TAG. Kerja insulin di jaringan adiposa juga untuk meningkatkan lipogenesis *de novo*, atau pembentukan asam lemak baru dari glukosa.

Ketika kadar glukosa darah menurun, glukagon dilepaskan dari sel α . Insulin dan glukagon berada dalam keseimbangan yang halus, dan rasio keduanya penting dalam menentukan jalur metabolisme yang aktif pada waktu tertentu. Kurangnya insulin, dibandingkan dengan efek glukagon, bisa menjadi sinyal yang kuat. Misalnya, insulin menghambat aksi hormon-sensitif lipase (HSL) di jaringan adiposa. Peran HSL adalah untuk merangsang lipolisis (pemecahan TAG) dengan menghidrolisis asam lemak dari TAG, tetapi ini dihambat oleh pensinyalan lanjutan oleh insulin. Ketika kadar glukosa darah menurun, sinyal penghambatan ini dihilangkan dan HSL memungkinkan terjadinya proses lipolisis. Area kerja utama glukagon adalah di hati, dengan reseptor glukagon terbatas yang ditemukan di jaringan lain seperti jaringan adiposa. Glukagon bekerja melalui reseptor berpasangan G-protein, yang mengatur adenilat siklase dan menyebabkan peningkatan AMP siklik. Glukagon mengubah hati dari pengimpor glukosa, menjadi pengeksport bersih dengan merangsang pembentukan glukosa baru dalam glukoneogenesis dan menekan penggunaan glukosa dalam glikolisis dan penyimpanan sebagai glikogen.

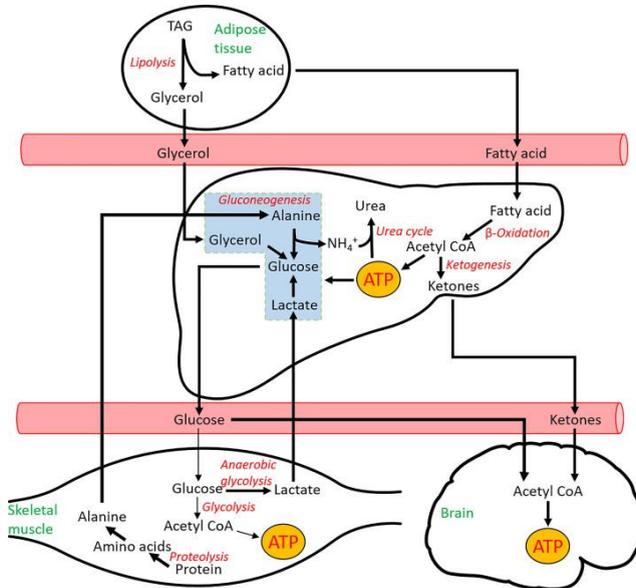
d. Bahan Bakar Metabolik Dimetabolisme Secara Selektif

Jaringan tubuh menunjukkan kemampuan yang berbeda untuk memanfaatkan berbagai bahan bakar metabolik, dan sebagian besar menunjukkan fleksibilitas dalam pemilihan bahan bakar. Untuk beberapa jaringan, glukosa adalah bahan bakar utama, tetapi yang lain, termasuk jantung, dapat menggunakan berbagai bahan bakar. Otak manusia hampir sepenuhnya bergantung pada glukosa untuk memenuhi permintaan energi yang tinggi, dengan sejumlah kecil keton yang digunakan selama kelaparan. Diperkirakan bahwa saat istirahat otak menggunakan hampir dua pertiga dari konsumsi glukosa, dengan eritrosit (sel darah merah) dan otot rangka menggunakan sebagian besar sisanya. Eritrosit hanya bergantung pada glukosa karena mereka tidak memiliki mitokondria, oleh karena itu hanya dapat menjalani glikolisis anaerobik, menyoroti pentingnya menjaga kadar glukosa darah normal. Selama latihan, otot rangka akan meningkatkan kebutuhan glukosanya, memecah simpanan glikogen yang ekstensif (~300 g) untuk mempertahankan keluaran puncak.

Asam lemak merupakan sumber energi utama bagi manusia dan sebagian besar hewan darat, karena kemampuannya untuk berkemas padat menjadi TAG, yang berarti mol untuk mol mereka menghasilkan lebih banyak ATP daripada glukosa. TAG bersifat hidrofobik dan memungkinkan penyimpanan asam lemak yang efisien dalam tetapan lipid, seperti di jaringan adiposa. Setelah lipolisis (pemecahan TAG), asam lemak bebas dilepaskan ke dalam darah, di mana mereka dapat dioksidasi oleh beberapa jaringan. Saat istirahat, jantung memperoleh 60-70% kebutuhannya dari asam lemak, yang menyoroti pentingnya sumber bahan bakar ini. Namun, peningkatan kadar asam lemak terkait dengan kondisi seperti diabetes tipe 2 (yang akan dibahas lebih rinci nanti). Hati menggunakan asam lemak, baik sebagai sumber bahan bakar dan, pada saat puasa dan kelaparan, untuk pembentukan keton (juga disebut badan keton). Hati dapat menghasilkan dua keton utama, asetoasetat dan -hidroksibutirat, menggunakan asetil Koenzim A (CoA) dari -oksidasi dalam proses yang dikenal sebagai ketogenesis. Hati kekurangan enzim suksinil CoA transferase untuk menggunakan keton sebagai sumber bahan bakar dan oleh karena itu melepaskannya untuk jaringan lain, seperti jantung, otot rangka, dan otak. Keton dapat

melewati sawar darah-otak dan dapat menawarkan sumber energi tambahan untuk glukosa di otak, meskipun mereka tidak dapat sepenuhnya menggantikan glukosa. Keton dioksidasi dalam jaringan ini dalam proses yang dikenal sebagai ketolisis, untuk menghasilkan 20 dan 22,5 ATP (masing-masing asetoasetat dan -hidroksibutirat). Dalam darah, keton ada dalam bentuk asam dan pada konsentrasi rendah (biasanya di bawah 0,6 mmol.l-1) tidak mungkin membahayakan tubuh. Namun, selama ketoasidosis diabetikum (komplikasi akut diabetes tipe 1), terjadi produksi keton yang berlebihan secara cepat dan tidak terkontrol ($\geq 3,1$ mmol.l-1) yang mengakibatkan penurunan pH darah dan berpotensi menyebabkan koma. Gambaran interaksi jaringan pada keadaan kelaparan dapat dilihat pada Gambar 6.

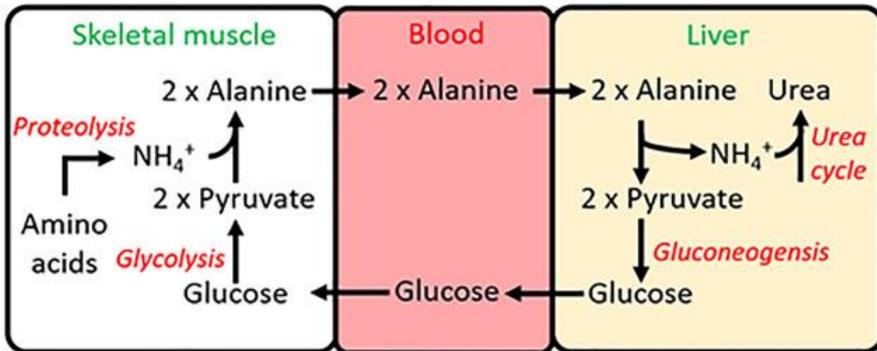
Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa ada kebutuhan untuk cross-talk antar jaringan untuk bertahan hidup selama masa kelaparan. Hal yang sama berlaku untuk keadaan makan, di mana regulasi dan integrasi metabolik jaringan sangat penting untuk mempertahankan fungsi normal. Setiap organ bertanggung jawab untuk melakukan berbagai transformasi metabolisme dan pemrosesan molekul tertentu pada setiap tahap. Hal ini penting untuk mengurangi kemungkinan siklus sia-sia, di mana jaringan mensintesis dan memecah metabolit pada saat yang sama, yang menyebabkan hilangnya energi bersih.



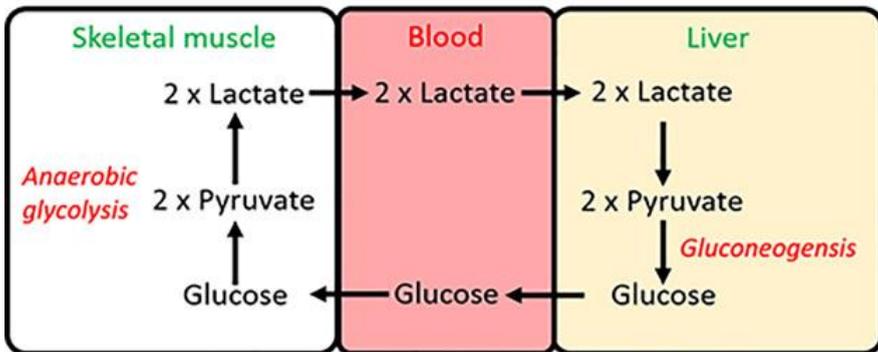
Gambar 6 Ringkasan jalur metabolisme yang aktif selama puasa (Ayesha Judge and Michael S. Dodd, 2020)

Ada tiga jalur interorgan utama untuk meregenerasi glukosa atau untuk mengontrol penggunaan glukosa di otot. Siklus Cori (Gambar 7) diaktifkan di bawah latihan berat ketika otot rangka (atau jantung iskemik) berkontraksi menggunakan glikolisis anaerobik, yang menyebabkan akumulasi laktat. Laktat diangkut ke hati di mana ia meregenerasi glukosa (glukoneogenesis), yang kemudian dapat digunakan oleh otot yang berolahraga lagi. Seperti yang akan Anda lihat nanti, sementara penggunaan glikolisis anaerobik menghasilkan ATP jauh lebih sedikit daripada oksidasi glukosa, proses ini tidak memerlukan oksigen, yang dapat dibatasi dalam olahraga berat.

Glucose – alanine cycle



Cori cycle



Gambar 7. Dua jalur utama metabolisme untuk mendaur ulang laktat atau alanin dari otot dan meregenerasi glukosa di hati (Ayesha Judge and Michael S. Dodd, 2020)

Selama masa kelaparan, siklus glukosa-alanin dapat meregenerasi glukosa dan membuang kelebihan nitrogen yang terbentuk dalam pemecahan asam amino (Gambar 7). Selama proteolisis, asam amino yang dibebaskan dapat menyediakan kerangka karbon untuk menambah jalur yang berbeda, tetapi harus membuang gugus amino. Gugus amino ini ditransfer ke piruvat oleh alanin aminotransferase untuk membentuk alanin. Alanin adalah asam amino utama yang dilepaskan oleh otot. Dalam siklus, glukosa yang diambil oleh otot digunakan untuk menghasilkan piruvat, sehingga membantu proteolisis, tanpa kehilangan glukosa. Alanin dilepaskan oleh otot dan diambil oleh hati, di mana ia diubah menjadi piruvat, dan kembali menjadi glukosa untuk memulai siklus lagi. Akhirnya,

gugus amino yang dibebaskan oleh konversi alanin kembali menjadi piruvat memasuki siklus urea untuk dibuang.

C. RANGKUMAN

1. Biomembran atau membran sel adalah membran selektif permeabel yang memisahkan sel dari lingkungan eksternal atau menciptakan kompartemen intraseluler. Membran biologis, dalam bentuk membran sel eukariotik, terdiri dari lapisan ganda fosfolipid dengan protein yang tertanam, integral dan perifer yang digunakan dalam komunikasi dan transportasi bahan kimia dan ion. Membran adalah suatu alat pemisah yang berupa penghalang memiliki sifat selektif yang mana dapat memisahkan dua fase dari berbagai campuran.
2. Pada tahun 1890 Charles E. Overton mempelopori sejarah penemuan biomembran. Dia menyatakan bahwa sel terbungkus oleh beberapa lapisan permeabel yang selektif, kemungkinan tersusun dari kholesterol dan lechitin. Kemudian Irving Langmuir pada tahun 1900 mengemukakan hasil penelitiannya tentang struktur membran lipid monolayer. Struktur inilah yang menjadi dasar struktur membran pada abad ke-20. Pada tahun 1925 E. Gorter dan F. Grendel menemukan bahwa rata-rata jumlah lapisan tunggal (monolayer) pada masing-masing membran ada dua, sehingga timbul konsep lipid bilayer (Becker, 1986).
3. Pada tahun 1972 S.J. Singer dan G.N. Nicholson mengusulkan model struktur membran yang dikenal dengan Fluid Mozaik Model, yang dapat dilihat pada Gambar 2. Model tersebut menunjukkan bahwa beberapa molekul protein seolah menempel atau menyisip pada 2 lapisan lipid penyusun utama membran. Beberapa protein atau bagian molekul protein yang bersifat hidrofobik akan menyusup kebagian dalam membrane.
4. Membran biologis terdiri dari lipid dengan ekor hidrofobik dan kepala hidrofilik. Ekor hidrofobik adalah ekor hidrokarbon yang panjang dan saturasinya penting dalam mengkarakterisasi sel. Penyusunan lipid terjadi ketika spesies lipid dan protein berkumpul dalam domain di membran. Ini membantu mengatur komponen membran ke dalam area lokal yang terlibat dalam proses tertentu, seperti transduksi sinyal.

5. Fungsi lain dari membran sel adalah dapat sebagai tempat berlangsungnya reaksi metabolisme, karena pada membran terdapat sejumlah enzim dan berfungsi sebagai katalis dalam beberapa metabolisme.
6. Bilayer fosfolipid mengandung protein yang berbeda. Protein membran ini memiliki berbagai fungsi dan karakteristik dan mengkatalisis reaksi kimia yang berbeda. Protein integral menjangkau membran dengan domain berbeda di kedua sisi (Voet. 2012). Protein integral memiliki hubungan yang kuat dengan lapisan ganda lipid dan tidak dapat dengan mudah terlepas (Lein, *et al.* 2015). Mereka akan terdisosiasi hanya dengan perlakuan kimia yang merusak membran. Protein perifer tidak seperti protein integral karena memiliki interaksi yang lemah dengan permukaan bilayer dan dapat dengan mudah dipisahkan dari membran. Protein perifer terletak hanya pada satu permukaan membran dan menciptakan asimetri membran.
7. Oligosakarida adalah gula yang mengandung polimer. Di dalam membran, mereka dapat terikat secara kovalen dengan lipid untuk membentuk glikolipid atau terikat secara kovalen dengan protein untuk membentuk glikoprotein.
8. Biomembran bukan hanya sekedar kulit inert yang membungkus sel dan bukan pula sekedar struktur yang tetap, karena membran menjalankan fungsi dinamis yang kompleks dan memiliki sifat-sifat biologi yang agak menonjol (Lehninger, 1993). Biomembran sering dikatakan bersifat semipermeabel, berarti molekul air dapat menembus biomembran tersebut, sedangkan bahan-bahan yang terlarut dalam air tersebut tidak dapat menembus membran tersebut. Biasanya bersamaan molekul air akan pula ikut ion-ion atau senyawa tertentu yang terlarut didalamnya juga bergerak menembus membran.
9. Ada 4 teori untuk menjelaskan mengapa air lebih mudah melewati biomembran dibandingkan dengan ion atau senyawa lainnya, yakni :
 1. Membran tersusun dari bahan yang lebih mudah berasosiasi dengan molekul air dibanding dengan senyawa lain yang terlarut didalam air, sehingga dengan demikian air akan lebih mudah melewati membran.
 2. Adanya gelembung udara yang mengisi

celah-celah membran, sehingga hanya molekul atau unsur yang mudah menguap yang dapat melewati membran. Molekul air merupakan senyawa yang mudah menguap. 3. Pada membran terdapat pori-pori yang sangat kecil, sehingga hanya dapat dilalui oleh molekul-molekul air dan tidak cukup besar untuk dapat dilalui oleh molekul-molekul lain. Disini membran berfungsi sebagai saringan atau tapis. 4. Air bergerak lebih cepat karena pergerakannya melewati membran disebabkan oleh difusi yang cepat pada bidang temu (interface) antara air dalam pori membran dengan cairan sitoplasma, karena adanya perbedaan potensial air yang sangat besar antara cairan sitoplasma dengan air dalam pori membran.

D. TUGAS

1. Apa yang dimaksud dengan kesalahan metabolisme bawaan?
2. Jelaskan factor -faktor penyebab kesalahan metabolisme bawaan?
3. Apapun kondisi penyakit KMB, memenuhi kebutuhan nutrisi pasien sangat penting, jelaskan mengapa demikian?
4. Hasil klinis anak-anak dengan KMB tergantung pada banyak factor, sebutkan factor-faktor tersebut?
5. Bayi dan anak-anak dengan KMB dapat menderita ensefalopati metabolic. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ensefalopati metabolik?
6. Banyak dari anak-anak ini mampu mempertahankan hidup lebih lama tetapi banyak yang mungkin berisiko mengalami defisit neurologis progresif, ketidakmampuan belajar, dan keterbelakangan mental. Apa yang dimaksud dengan neurologis progresif?
7. Apa yang dimaksud dengan hepatomegaly?
8. Apa penyebab dari kelainan Mucopolysaccharidosis?
9. Kesalahan metabolisme bawaan adalah kelainan gen tunggal, jelaskan apa yang dimaksud dengan kelainan gen tunggal?
10. Banyak kondisi KMB hadir dengan penyakit kuning, koagulopati, nekrosis hepatoseluler dengan peningkatan kadar transaminase serum, hipoglikemia, asites dan edema umum yang mengakibatkan gagal hati. Jelaskan apa yang dimaksud dengan transaminase serum?

E. DAFTAR PUSTAKA

1. Murate, Motohide; Kobayashi, Toshihide (2016). "Revisiting transbilayer distribution of lipids in the plasma membrane". *Chemistry and Physics of Lipids*. **194**: 58–71. doi:[10.1016/j.chemphyslip.2015.08.009](https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2015.08.009). PMID 26319805.
2. ^ Jump up to:^{a b} Nickels, Jonathan D.; Smith, Jeremy C.; Cheng, Xiaolin (2015). "Lateral organization, bilayer asymmetry, and inter-leaflet coupling of biological membranes". *Chemistry and Physics of Lipids*. **192**: 87–99. doi:[10.1016/j.chemphyslip.2015.07.012](https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2015.07.012). PMID 26232661.
3. ^ Chong, Zhi-Soon; Woo, Wei-Fen; Chng, Shu-Sin (2015-12-01). "Osmoporin OmpC forms a complex with MlaA to maintain outer membrane lipid asymmetry in Escherichia coli". *Molecular Microbiology*. **98** (6): 1133–1146. doi:[10.1111/mmi.13202](https://doi.org/10.1111/mmi.13202). PMID 26314242.
4. ^ Jump up to:^{a b} Forrest, Lucy R. (2015-01-01). "Structural Symmetry in Membrane Proteins". *Annual Review of Biophysics*. **44** (1): 311–337. doi:[10.1146/annurev-biophys-051013-023008](https://doi.org/10.1146/annurev-biophys-051013-023008). PMC 5500171. PMID 26098517.
5. ^ Jump up to:^{a b c d e} Alberts, Bray, Hopkin, Johnson, Lewis, Raff, Roberts, Walter, Bruce, Dennis, Karen, Alexander, Julian, Martin, Keith, Peter (2010). *Essential Cell Biology third edition*. 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, USA, and 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, OX14 4RN, UK: Garland Science, Taylor & Francis Group, LLC, an informa business. p. 370. ISBN 978-0815341291.
6. ^ Jump up to:^{a b c d e f g} Voet, Donald (2012). *Fundamentals of Biochemistry: Life at the Molecular Level (4 ed.)*. Wiley. ISBN 978-1118129180.
7. ^ Jump up to:^{a b} Dougherty, R. M.; Galli, C.; Ferro-Luzzi, A.; Iacono, J. M. (1987). "Lipid and phospholipid fatty acid composition of plasma, red blood cells, and platelets and how they are affected by dietary lipids: a study of normal subjects from Italy, Finland, and the USA". *The American Journal of Clinical Nutrition*. **45** (2): 443–455. doi:[10.1093/ajcn/45.2.443](https://doi.org/10.1093/ajcn/45.2.443). PMID 3812343. S2CID 4436467.
8. ^ Jump up to:^{a b} Lentz, Barry R. (2003). "Exposure of platelet membrane phosphatidylserine regulates blood coagulation". *Progress*

- in *Lipid Research*. **42** (5): 423–438. [doi:10.1016/s0163-7827\(03\)00025-0](https://doi.org/10.1016/s0163-7827(03)00025-0). [PMID 12814644](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12814644/).
9. ^ Jump up to:^a ^b *Lein, Max; deRonde, Brittany M.; Sgolastra, Federica; Tew, Gregory N.; Holden, Matthew A. (2015-11-01). "Protein transport across membranes: Comparison between lysine and guanidinium-rich carriers". *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*. **1848** (11, Part A): 2980–2984. [doi:10.1016/j.bbamem.2015.09.004](https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2015.09.004). [PMC 4704449](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26342679/). [PMID 26342679](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26342679/).*
 10. ^ Jump up to:^a ^b ^c *Alberts, Bruce; Johnson, Alexander; Lewis, Julian; Raff, Martin; Roberts, Keith; Walter, Peter (2002-01-01). "The Lipid Bilayer".*
 11. ^ *Daubenspeck, James M.; Jordan, David S.; Simmons, Warren; Renfrow, Matthew B.; Dybvig, Kevin (2015-11-23). "General N-and O-Linked Glycosylation of Lipoproteins in Mycoplasmas and Role of Exogenous Oligosaccharide". *PLOS ONE*. **10** (11): e0143362. [Bibcode:2015PLoSO..1043362D](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143362). [doi:10.1371/journal.pone.0143362](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143362). [PMC 4657876](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26599081/). [PMID 26599081](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26599081/).*
 12. ^ *Brown, Bernard (1996). Biological Membranes (PDF). London, U.K.: The Biochemical Society. p. 21. [ISBN 978-0904498325](https://www.isbn-international.org/product/978-0904498325). Archived from the original (PDF) on 2015-11-06. Retrieved 2014-05-01.*
 13. ^ Jump up to:^a ^b *Vitrac, Heidi; MacLean, David M.; Jayaraman, Vasanthi; Bogdanov, Mikhail; Dowhan, William (2015-11-10). "Dynamic membrane protein topological switching upon changes in phospholipid environment". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **112** (45): 13874–13879. [Bibcode:2015PNAS..11213874V](https://doi.org/10.1073/pnas.1512994112). [doi:10.1073/pnas.1512994112](https://doi.org/10.1073/pnas.1512994112). [PMC 4653158](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26512118/). [PMID 26512118](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26512118/).*
 14. ^ *Rojko, Nejc; Anderluh, Gregor (2015-12-07). "How Lipid Membranes Affect Pore Forming Toxin Activity". *Accounts of Chemical Research*. **48** (12): 3073–3079. [do](https://doi.org/10.1021/acs.accounts.5b01111)*
 15. Beck, James S. 1980. Biomembrans. Fundamentals in relation to human biology.
 16. Hemisphere Publishing Corporation. Washington New York London. pp. 114-121

17. Becker, Wayne M. 1986. *The World of The Cell*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Menlo Park, California. pp. 286-305.
18. Lakitan, Benyamin. 1993. *Dasar-dasar fisiologi tumbuhan*. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta. Hal. 7-17.
19. Lehninger, Albert L. 1993. *Dasar-dasar biokimia*. Erlangga, Jakarta. Hal. 349-367.
20. Manitto, Paulo. 1981. *Biosintesis Produk Alami*. IKIP Semarang. Hal. 158.
21. Pudjiana, Anna. 1994. *Dasar-dasar biokimia*. Universitas Indonesia. Jakarta. Hal. 190-198.
22. Salisbury, Frank B. dan Ross, Cleon W. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid I. Terjemahan. ITB. Bandung. Hal. 3-16 dan 156-160.
23. Taiz, Lincoln dan Zeiger Eduardo. 1991. *Plant physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California. pp. 9-15.
24. Ting, Irwin P. 1982. *Plant Physiology*. Addison-Wesley, Publishing Company, Manlo Park, California. pp 10-20
25. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.8b04616>
26. <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/17/4264/htm>
27. Essays in Biochemistry (2020) 64 607–647
<https://doi.org/10.1042/EBC20190041> Received: 08 June 2020 Revised: 23 July 2020 Accepted: 29 July 2020 Version of Record published: 24 August 2020 Review Article Metabolism .Ayesha Judge and Michael S. Dodd

TENTANG PENULIS



Daimon Syukri S.Si., M.Si., Ph.D. Lahir di Padang, 26 Juni 1981; merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Alumni Sekolah Menengah Analis Kimia Padang, Akademi Kimia Analisis Bogor, Jurusan Kimia Analisis di Sekolah Tinggi MIPA Bogor, Pasca Sarjana di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas dan Doktoral dibidang Kimia Terapan di United Graduate School of Agricultural Science Gifu University. Saat ini mengajar di Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian (TPHP) Universitas Andalas. Buku ini adalah karya keempat penulis. Semoga buku ini bermanfaat sebagai bahan referensi dalam pembelajaran.

Drs. Mhd. Yusuf Nasution, M.Si, tempat tanggal lahir Medan, 09 Desember 1963. Penulis menempuh pendidikan Strata-1 (S1) di IKIP Medan tahun 1983-1988 dan Magister (S2) IPB Bogor tahun 1996-2002. Penulis memiliki buku dengan judul Bahan Ajar Etnobotani tahun 2020 dan memiliki Hak Kekayaan Intelektual dengan judul Keanekaragaman Fungsi Mikoriza Arbuskula pada RHIZOSFER Ekosistem Hutan Mangrove Belawan Sumatera Utara.

Kriaman Uumbu Henggu, S.Pi., M.Si penulis lahir di Waingapu Pulau Sumba, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Penulis menyelesaikan Strata-1 (S1) di Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Kristen Artha Wacana Kupang. Selanjutnya, di tahun 2016 melanjutkan studi (S2) di Program Studi Teknologi Hasil Perairan, IPB *University* dan lulus pada tahun 2019. Sejak tahun 2019 hingga kini aktif sebagai dosen tetap di Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Kegiatan keilmuan yang pernah penulis jalani sebagai *assistant trainer* dalam program “*Extraction and Analysis Courses of Fish Protein and Peptide (Collagen)*” kerja sama program studi Teknologi Hasil Perairan IPB *University* dan Balai Riset dan Standardisasi Industri (BARISTAND) Ambon. Mengikuti pelatihan *British Retail Consortium (BRC)* dan *Good Laboratory Practice (GLP)*. Selain itu,

158

terlibat dalam kegiatan *International Symposium on Education and Research in Global Environmental Studies*” yang diselenggarakan oleh Kyoto University dan *3rd International Conference on Climate Change and Culture 2021*. Bidang keahlian penelitian yang ditekuninya adalah *biomaterials*, pengolahan hasil perikanan dan pemanfaatan hasil samping perikanan.

Martina Kurnia Rohmah, S.Si., M.Biomed. Lahir di Tulungagung pada tanggal 1 April 1989, saat ini menjadi Dosen Tetap di Departemen Farmasi Klinis Program Studi Sarjana Farmasi, Universitas Anwar Medika. Penulis menempuh pendidikan Sarjana Biologi FMIPA Universitas Negeri Malang, dan Magister Ilmu Biomedik Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya serta pernah mendapatkan beasiswa Riset dari JASSO Scholarship di Graduated School of Science and Technology (GSST) Kumamoto University, Japan. Bidang keahlian yang dimiliki penulis adalah biologi sel dan molekular, biokimia, bioteknologi, imunologi, dan biomedis.

Marnida Yusfiani, S.Pd., M.Pd. Lahir di Tanjungbalai, 29 Maret 1984; merupakan anak pertama dari lima bersaudara. Alumni S1 dan S2 – Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan. Saat ini mengajar di Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan (TPHP) Politeknik Tanjungbalai. Buku ini adalah karya pertama penulis, Semoga buku ini bermanfaat sebagai bahan referensi dalam pembelajaran.

Ahmad Fauzan Lubis, S.Pi, M.Si, tempat lahir Medan, 24 April 1981. Penulis adalah anak keempat dari Empat bersaudara. Merupakan alumnus S1-Sosial Ekonomi Perikanan Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan Universitas Riau dan S2-Teknologi Hasil Perairan Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor. Sekarang menjadi seorang Tenaga Pengajar di Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian Politeknik Tanjungbalai. Saat ini sedang berlatih menjadi seorang penulis. Buku ini adalah karya pertamanya, Semoga buku ini bermanfaat.

Ayu Diana, S.Pi, M.P, tempat lahir Padang, 23 Maret 1987. Penulis adalah anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis merupakan alumnus S1-Teknologi Hasil Perikanan Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan Universitas Riau dan S2-

Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas. Sekarang menjadi seorang Tenaga Pengajar di Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian Politeknik Tanjungbalai. Buku ini merupakan buku kedua yang telah ditulis penulis setelah buku ajar E-Commerce.

Robert G. Marpaung. Ssi. MMA Lahir Gunung Sitoli (Nias) Sumatera Utara. Pendidikan Dasar hingga menengah ditempuh di Pematang Siantar. Pendidikan tingkat Sarjana Kimia di tempuh Di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara (USU) Medan. Pendidikan Pasca Sarjana Megister Manajemen Agribisnis ditempuh di Universitas Medan Area Di Medan. Berprofesi sebagai Dosen LL. DIKTI-1 Wilayah 1 Sumatera Utara Dulu Kopertis Wilayah -1) Dpk Fakultas Pertanian Universitas Darma Agung 1 Maret 1989 sampai sekarang. Karya Penelitian Skripsi dan menulis 2 (dua) Buku nya. 1. Analisis Pengembangan System Pemasaran Tandan Buah Segar Kelapa sawit Rakyat. Cetakan 1 Januari 2016 penerbit Magnum Pustaka Utama. Yogyakarta. ISBN 978-602-1217 -24 -5. 2. Buku Isolasi Senyawa Kemferol & Rhamnetin yang terkandung pada Daun Tumbuhan SeNNA (Cassia Anguntisfolia). Diterbitkan oleh penerbit Jakad Media Publishing. Surabaya 2020. ISBN 978 - 623 -7681- 34-2.

Luh Putu Desy Puspaningrat, S.KM.,M.Si. Penulis lulus (S1) di Program Studi Kesehatan Masyarakat Universitas Udayana Tahun 2014. Lulus S2 di Program Studi Mikrobiologi Medik Pascasarjana Institute Pertanian Bogor pada tahun 2018. Saat ini adalah dosen tetap STIKES Buleleng mengampu mata kuliah Imunologi, Biokimia, dan Mikrobiologi. Pernah memperoleh hibah penelitian DIKTI dalam PDP (Penelitian Dosen Pemula) dengan topik studi awal pencarian bahan obat karies gigi dengan menggunakan ekstrak buahnaga (hylocereuspolyrhizus).