

Sel dan Biomolekul

Dr. Ir. Dahrul Syah, M.S.

Ir. Siti Nurjanah, M.S.



PENDAHULUAN

Setelah mempelajari Modul ini Anda diharapkan memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi bagian sel tempat terjadinya reaksi-reaksi biokimia serta menganalisis peran dan struktur beberapa gugus fungsional penting dalam reaksi-reaksi biokimia, menggambarkan struktur *building blocks* protein, polisakarida dan asam nukleat serta mampu menyebutkan peranan makromolekul tersebut dalam tubuh.

Modul ini terdiri dari 2 kegiatan belajar. Kegiatan Belajar 1 menyajikan materi-materi yang berkenaan dengan biokimia sel baik prokariot maupun eukariot, kompartemen sel dan fungsinya dan biomolekul penting dalam biokimia.

Kegiatan Belajar 2 membahas tentang *building blocks* makromolekul, prinsip pembentukannya serta fungsi makromolekul tersebut di dalam tubuh. Materi-materi ini sangat bermanfaat untuk memberikan landasan yang kuat dalam memahami modul-modul selanjutnya.

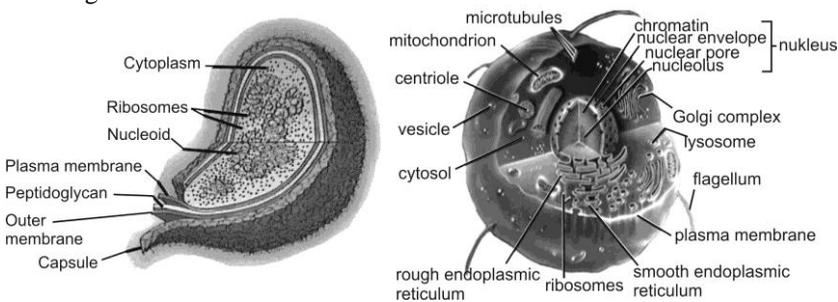
KEGIATAN BELAJAR 1

Biokimia Sel

Reaksi-reaksi biokimia terjadi di dalam sel atau lebih tepat lagi di dalam kompartemen sel. Berdasarkan kompleksitasnya sel dibedakan menjadi sel prokariot dan eukariot. Sel prokariot, misalnya bakteri jauh lebih sederhana dibandingkan dengan sel eukariot. Penjelasan rinci mengenai hal ini dibahas dalam modul yang berkenaan dengan mikrobiologi.

Dalam modul ini pembahasan ditekankan pada kompartemen-kompartemen sel tempat berlangsungnya reaksi-reaksi biokimia. Untuk keperluan pokok-pokok bahasan dalam modul ini beberapa kompartemen yang harus dikenal dengan baik adalah inti sel, flagella, ribosom, mitokondria, *retikulum endoplasma*, badan golgi, mikrotubular, kromosom dan cilia. Secara skematis Gambar 1.1 menyajikan bentuk dan tampilan sel bakteri dan sel hewan secara umum.

Terlihat dari gambar di atas, sel hewan memiliki kompleksitas yang jauh lebih rumit dari sel bakteri. Dengan kata lain sel-sel eukariot jauh lebih kompleks dibandingkan dengan sel prokariot. Kerumitan ini terkait erat dengan lebih banyaknya reaksi-reaksi yang berlangsung pada eukariot. Tidakkah menjadi tujuan modul ini untuk membahas organel/kompartemen dengan rinci. Pokok bahasan ini akan didapatkan di dalam modul yang berkenaan dengan mikrobiologi. Selain itu kompartemen yang berhubungan dengan bioenergetika akan diulas dengan lebih lengkap pada modul tentang bioenergetika.



Gambar 1.1.

Bagian-bagian sel bakteri dan sel hewan
(Sumber : <http://www.cellsalive.com>)

Perlu ditekankan di sini bahwa sel merupakan unit terkecil pelaksana reaksi-reaksi biokimia secara sinkron. Dengan kata lain di dalam sel inilah berbagai fungsi dilaksanakan dan sel-sel inilah yang akan membentuk jaringan dan pada akhirnya organ. Fungsi dari kompartemen-kompartemen ini disajikan secara ringkas dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1.
Kompartemen sel dan fungsinya secara biokimiawi

Kompartemen	Fungsi
Nukleus (<i>Nucleus</i>)	Sintesis dan perbaikan DNA, sintesis RNA.
Retikulum Endoplasma (<i>Endoplasmic reticulum</i>)	Sintesis membran, sintesis protein dan lipid untuk beberapa organel, sintesis steroid, reaksi detoksifikasi.
Ribosom (<i>Ribosomes</i>)	Sintesis protein.
Badan Golgi (<i>Golgi apparatus</i>)	Modifikasi dan pemilahan protein untuk diinkorporasi di dalam membrane dan organel.
Mitokondria (<i>Mitochondrion</i>)	Produksi ATP, respirasi seluler, oksidasi karbohidrat dan lipid, sintesis urea dan heme.
Mikrotubula (<i>Microtubules</i>)	Pembentuk rangka sel, morfologi sel dan motilitas sel.
Lisosom (<i>Lysosomes</i>)	Pencernaan seluler, hidrolisis protein, karbohidrat, lipid dan asam nukleat.
Peroksisom (<i>Peroxisomes</i>)	Oksidasi lipid, oksidasi yang menggunakan O ₂ , penggunaan H ₂ O ₂ .
Sitosol (<i>Cytosoles</i>)	Metabolisme karbohidrat, lipid, asam amino dan nukleotida, sintesis protein.

Kategori molekul dan reaksi di dalam biokimia

Identifikasi bahan kimia dalam reaksi-reaksi di makhluk hidup dimulai pada awal abad ke-19, yaitu Tahun 1828 melalui keberhasilan Friedrich Wöhler mensintesis urea melalui pemanasan terhadap *ammonium cyanate*. Ini merupakan bukti pertama bahwa bahan kimia yang penting untuk proses-proses biokimia di makhluk hidup dapat disintesis dari senyawa anorganik. Keberhasilan ini diikuti oleh kesuksesan Eduard Buchner pada Tahun 1897 membuktikan peran enzim di dalam ekstrak sel ragi dalam mengkatalisis perubahan glukosa menjadi alkohol dan karbondioksida serta identifikasi asam nukleat sebagai molekul pembawa informasi oleh Oswald Avery, Colin MacLeod, dan Maclyn McCarty pada Tahun 1944 yang dilanjutkan dengan

keberhasilan James D. Watson dan Francis H.C. Crick: pada Tahun 1953 membangun model 3-D DNA.

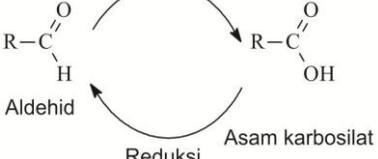
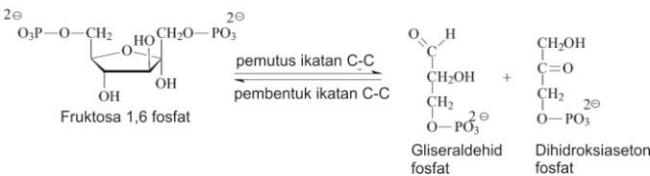
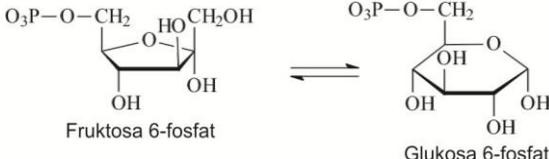
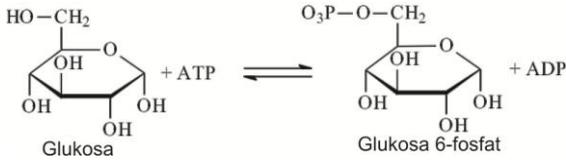
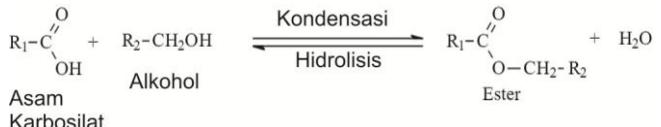
Molekul-molekul yang menjadi objek biokimia dapat digolongkan dalam dua kelas yaitu molekul kecil dan makromolekul. Molekul kecil merupakan molekul yang sama yang banyak dibahas di dalam kimia organik dan pada umumnya memiliki peran penting dalam metabolisme. Sesuai dengan namanya makromolekul merupakan molekul berukuran besar, yang memiliki berat molekul 10^4 hingga 10^9 g mol⁻¹. Molekul ini pada umumnya berperan sebagai bahan baku untuk katabolisme dalam rangka metabolisme lebih lanjut.

Karakteristik utama yang sangat menarik dari struktur makromolekul ini adalah konstruksi modular yang dimilikinya. Konstruksi ini dibangun oleh unit-unit penyusunnya yang satu sama lain dihubungkan oleh ikatan ester atau amida. Perakitan makromolekul dari unit penyusun sederhananya ini merupakan proses yang reversibel.

Molekul-molekul kecil yang berperan dalam reaksi-reaksi biokimia terdiri dari gula, asam amino, nukleotida, asam lemak dan asam karboksilat rantai pendek beserta turunannya. Interkonversi molekul-molekul kecil digunakan sebagai sarana penyimpanan atau pelepasan energi yang merupakan basis dari metabolisme. Selain itu beberapa molekul sederhana seperti glukosa dan asam amino berperan sebagai *building blocks* untuk makromolekul yang dalam hal ini adalah polisakarida dan protein.

Reaksi-reaksi kimia yang terjadi di dalam makhluk hidup tentu saja mengikuti kaidah-kaidah reaksi kimia secara umum. Oleh karena itu, sebelum dilakukan pembahasan reaksi-reaksi metabolisme, dibahas terlebih dahulu prinsip-prinsip reduksi/oksidasi dan peran energi bebas dalam reaksi biokimia. Reaksi-reaksi penting di dalam proses biokimia terdiri dari oksidasi, pemutusan/pembentukan C-C, isomerisasi dan pengaturan kembali, pemindahan gugus, serta kondensasi/hidrolisis. Rangkuman dan contoh reaksi-reaksi tersebut di atas disajikan pada Tabel 1.2 berikut ini.

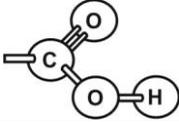
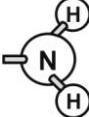
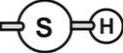
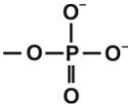
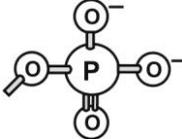
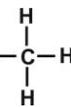
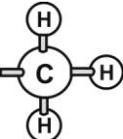
Tabel 1.2.
Reaksi-reaksi penting dalam biokimia dan contohnya

Reaksi	Contoh
Oksidasi – Reduksi	<p style="text-align: center;">Oksidasi</p>  <p style="text-align: center;">Aldehid Asam karbosilat</p> <p style="text-align: center;">Reduksi</p>
Pemutusan/ Pembentukan C-C	 <p style="text-align: center;">Fruktosa 1,6 fosfat</p> <p style="text-align: center;">Gliseraldehid fosfat Dihidroksiaseton fosfat</p>
Isomerisasi/ Pengaturan kembali	 <p style="text-align: center;">Fruktosa 6-fosfat Glukosa 6-fosfat</p>
Pemindahan Gugus	 <p style="text-align: center;">Glukosa Glukosa 6-fosfat</p>
Kondensasi/ Hidrolisis	 <p style="text-align: center;">Asam Karbosilat Alkohol Ester + H₂O</p>

Selain reaksi-reaksi penting tersebut di atas, terdapat beberapa gugus-gugus fungsional penting yang berperan dalam reaksi biokimia. Secara umum gugus fungsional merupakan hasil penggabungan beberapa atom yang berkontribusi terhadap sifat molekul secara keseluruhan dan mereka terikat di rantai utama karbon. Karakteristik gugus-gugus ini dibahas secara rinci

dalam modul kimia organik. Secara ringkas gugus-gugus ini disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1.3.
Beberapa gugus fungsional penting dalam reaksi biokimia

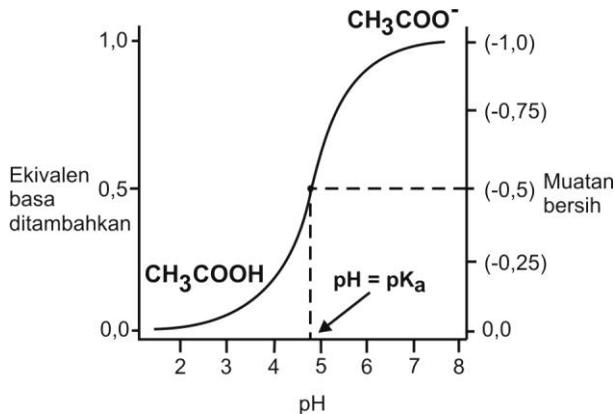
Gugus	Struktur	Model Ball-stick	Ditemukan di
Hidroksil	—OH		Karbohidrat, Alkohol
Karbonil			Formaldehid
Karboksil			Asam amino, vinegar, asam lemak, dan lain-lain
Amino			Ammonia, Asam Amino, Protein, dan lain-lain
Sulfhidril	—S—H		Protein
Fosfat			Fosfolipid, Asam Nukleat, ATP
Metil			Gas Methan

Salah satu peran penting gugus-gugus tersebut di atas adalah sebagai *buffer* dalam menjaga pH fisiologis. Hal ini penting mengingat reaksi-reaksi biokimia terjadi di dalam larutan dengan pH sekitar netral yang tentu saja harus dipertahankan. Bentuk terprotonasi atau deprotonasi dari gugus-gugus

tersebut di atas memainkan peran yang sangat vital. Fenomena ini dapat didekati dengan persamaan Henderson Hasselbach yang dapat digunakan untuk menghitung (a) nilai yang menghasilkan lingkungan dengan kondisi ionik tertentu atau (b) derajat protonasi atau deprotonasi suatu gugus pada pH tertentu. Persamaan ini diturunkan dari keadaan setimbang untuk disosiasi suatu asam lemah.

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

di mana $[\text{A}^-]$ menunjukkan bentuk terdeprotonasi dan $[\text{HA}]$ menunjukkan bentuk terprotonasi. Pada keadaan $\text{pH} = \text{pK}_a$, maka $\log([\text{A}^-]/[\text{HA}]) = 0$, dan $[\text{A}^-]/[\text{HA}] = 1$. Hal ini berarti bahwa pada kondisi pH sama dengan pK_a , bentuk terdeprotonasi dan terprotonasi memiliki jumlah yang sama. Keadaan ini juga berlaku untuk basa dengan mengganti notasi $[\text{A}^-]$ dengan $[\text{B}]$ sebagai bentuk terdeprotonasi, dan $[\text{HB}^+]$ menggantikan $[\text{HA}]$ sebagai bentuk terprotonasi. Untuk keperluan praktis (misalnya penentuan titik isoelektrik, persamaan ini dapat digunakan untuk membuat kurva titrasi atau kurva ionisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini untuk asam asetat.



Gambar 1.2.
Kurva titrasi/ionisasi asam asetat dengan penambahan basa

Beberapa butir penting yang dapat ditarik dari kurva tersebut di atas dan berkenaan dengan hubungan antara nilai pH, pK_a , dan keadaan ionisasi reaktan adalah sebagai berikut:

Pada saat $\text{pH} = \text{pKa}$ maka setengah asam adalah terdeprotonasi, atau dengan kata lain jumlah bentuk terprotonasi sama dengan bentuk terdeprotonasi.

1. Jika nilai pH 1 unit di atas (atau di bawah) pKa, maka 90% gugus dalam bentuk terdeprotonasi (atau terprotonasi).
2. Jika nilai pH 2 unit di atas (atau di bawah) pKa, maka 99% gugus dalam bentuk terdeprotonasi (atau terprotonasi).
3. Jika nilai pH 3 unit di atas (atau di bawah) pKa, maka 99% gugus dalam bentuk terdeprotonasi (atau terprotonasi).
4. Contoh untuk asam amino dapat dilihat bahwa gugus α -karboksilat dari asam amino yang memiliki $\text{pKa} = 2,4$ adalah terdeprotonasi sempurna pada pH 7, sedangkan gugus α -amino yang memiliki $\text{pKa} = 9,6$, akan sepenuhnya terprotonasi pada pH 7.

Dengan demikian jika pKa dan konsentrasi diketahui maka nilai pH dapat dihitung. Sebaliknya nilai perbandingan konsentrasi dapat dihitung jika nilai pH dan pKa diketahui. $\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$.

Hampir semua sistem biokimia terdiri dari campuran berbagai komponen, misalnya berbagai zat yang ada di dalam sel. Di dalam percobaan hal ini biasanya disimulasi dengan campuran yang terdiri dari *buffer* untuk mempertahankan pH dan reaktan yang sedang dikaji. *Buffer* yang digunakan biasanya dalam konsentrasi yang cukup yaitu sekitar 0,1 M. Hal penting yang harus diingat adalah pemilihan *buffer* yang harus dipilih sedemikian rupa sehingga nilai pKa mendekati nilai pH yang diinginkan. Dua jenis *buffer* yang sangat sering digunakan dalam biokimia adalah dihidrogen fosfat dengan nilai pKa = 6,8, dan basa lemah, tris-hidrometilamino-metan, yang dikenal dengan nama umum tris yang memiliki nilai pKa 8,08. Nilai pH yang diinginkan dicapai dengan mencampurkan bentuk terprotonasi dan terdeprotonasi secara tepat. Hal ini juga dapat diperoleh dengan menambahkan NaOH atau HCl. Untuk lebih memahami hal ini kita lihat contoh berikut ini.

Contoh 1:

Hitunglah pH dari *buffer* yang terdiri dari $[\text{tris}] = 0,025 \text{ M}$ dan $[\text{trisH}^+] = 0,075 \text{ M}$, dengan $\text{pKa} = 8,08$ untuk trisH^+ . Untuk bisa menghitung pH ini, harus diketahui terlebih dahulu konsentrasi (M) bentuk terprotonasi (trisH^+) dan bentuk terdeprotonasi (tris) komponen *buffer* dan memasukkannya dalam persamaan,

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{deprotonated}]}{[\text{protonated}]}$$

$$\text{pH} = 8,08 + \log (0,025/0,075)$$

$$\text{pH} = 7,6$$

Buffer ini tentu saja harus dibuat dengan menimbang sejumlah tertentu tris *base* (massa molar 121,1 g/mol) dan trisHCl (massa molar 157,6 g/mol) dan melarutkannya dalam volume tertentu.

Cara yang lebih umum adalah dengan menimbang sejumlah tertentu tris *base*, dan HCl sedikit demi sedikit sehingga terjadi netralisasi sebagian terhadap tris *base*. Sebagai contoh jika terhadap 0,075 mol tris *base*, ditambahkan 50 mL HCl 1,00 M dan volume ditetapkan hingga 0,500 L, maka penghitungan pH harus memperhitungkan reaksi yang terjadi terlebih dahulu sebelum konsentrasi bentuk terprotonasi dan terdeprotonasi dihitung. Dengan kata lain jumlah mol trisH⁺ yang terbentuk sebagai hasil reaksi HCl dan jumlah mol tris *base* yang tersisa harus dihitung terlebih dahulu berdasarkan stoikiometrinya. Jika ini dilakukan akan didapatkan

$$\text{Jumlah mol awal tris} = 0,075 \text{ mol}$$

$$\text{Jumlah mol awal HCl} = 0,050 \text{ mol}$$

$$\text{Jumlah mol trisH}^+ \text{ yang terbentuk} = 0,050 \text{ mol}$$

$$\text{Jumlah mol tris } \textit{base} \text{ yang tersisa} = 0,025 \text{ mol, sehingga}$$

$$\text{pH} = 8,08 + \log (0,025 / 0,050) = 7,78$$

Tentu saja untuk perhitungan ini harus digunakan konsentrasi molar, bukan jumlah mol, tetapi jika volumenya sama, maka akan saling menghilangkan. Selain itu kesalahan sering terjadi karena digunakannya jumlah mol awal tris *base* dan bukan jumlah mol tris *base* yang tersisa.

Reaktan dalam sistem biokimia berada dalam konsentrasi yang rendah yaitu dalam rentang 10⁻² M hingga 10⁻⁵ M. atau malah lebih kecil lagi. Oleh karena itu, reaktan tidak mempengaruhi pH *buffer* secara nyata. Sebaliknya nilai pH yang dimiliki oleh *buffer* yang dipilih justru yang mempengaruhi keadaan ionisasi dari gugus fungsional yang ada di dalam reaktan.

Contoh 2:

Hitunglah pH larutan *buffer* yang tersusun dari 0,100 mol NaH₂PO₄ dan 0,040 mol NaOH dengan volume total 1,00 L larutan.

Untuk menjawab persoalan ini, harus dihitung terlebih dahulu hasil reaksi antara H₂PO₄⁻ dengan basa kuat OH⁻ sehingga dihasilkan campuran *buffer*. Karena H₂PO₄⁻ dalam keadaan berlebih, maka jumlah HPO₄²⁻ akan ekuivalen dengan OH⁻, dan sebagian H₂PO₄⁻ akan tetap tersisa. Perubahan-

perubahan yang terjadi hingga tercapainya kondisi *buffer* dapat disarikan pada Tabel 1.4 berikut.

Tabel 1.4.

Perubahan-perubahan yang terjadi hingga tercapainya kondisi *buffer*

Keadaan	H ₂ PO ₄ ⁻	OH ⁻	HPO ₄ ²⁻
Awal	0,100 mol	0,040 mol	0
Akhir	0,060 mol	0	0,040 mol

Jika konsentrasi pada keadaan akhir dimasukkan ke dalam persamaan Henderson-Hasselbach:

$$\text{pH} = 6,76 + \log (0,040 \text{ mol} / 0,060 \text{ mol}) = 6,76 - 0,18 = 6,58.$$



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebutkan perbedaan utama sel prokariot dengan sel eukariot!
- 2) Uraikan kompartemen-kompartemen penting di dalam sel berikut fungsinya dalam metabolisme!
- 3) Hitunglah jumlah mol NaOH yang harus ditambahkan terhadap 0,040 mol NaH₂PO₄ (pK_a = 6,8) agar didapatkan *buffer* dengan pH 7,0!
- 4) Berapa mol NaOH yang harus ditambahkan terhadap 0,040 mol H₃PO₄ (pK_a = 2,0) agar didapatkan *buffer* dengan 7,0?
- 5) Lakukan perhitungan yang sama seperti contoh untuk membuktikan bahwa rantai samping sistein akan memiliki muatan efektif – 0,074 pada pH 7,4!

Petunjuk Jawaban Latihan

Petunjuk untuk latihan 3 dan 4, misalkan mol yang dibutuhkan x, hitunglah mol HPO₄²⁻ yang terbentuk, mol H₂PO₄⁻ yang tersedia dan gunakan persamaan Henderson-Hasselbalch. Jawaban: 0,024 mol NaOH dan 0,064 mol.

**RANGKUMAN**

Sel eukariot memiliki perangkat yang lebih rumit dibandingkan prokariot. Meskipun demikian keduanya memiliki kompartemen untuk melakukan berbagai reaksi dalam rangka metabolisme.

Berlangsungnya reaksi-reaksi metabolisme sangat tergantung pada keberadaan biomolekul baik mikro maupun makromolekul.

Komponen utama mikromolekul adalah gugus-gugus kimia yang berperan dalam berbagai reaksi terutama yang melibatkan pertukaran elektron dan atom hidrogen.

**TES FORMATIF 1**

Pilih satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Gugus fungsional pembentuk gula adalah
 - A. aldehid dan keton
 - B. amino dan karboksilat
 - C. ester dan eter
 - D. sulfhidril

- 2) Sedangkan gugus fungsional pembentuk asam amino adalah
 - A. aldehid dan keton
 - B. amino dan karboksilat
 - C. ester dan eter
 - D. hidroksil dan fosfat

- 3) Kompartemen yang dimiliki oleh eukariota, tetapi tidak dimiliki oleh prokariot adalah
 - A. Ribosom dan Nukleus
 - B. Lysosome, Retikulum endoplasma
 - C. Mitokondria, badan golgi
 - D. Plasma membran, vesikel

- 4) Keadaan deprotonasi akan dapat dicapai bila
 - A. pH lingkungan di atas pKa
 - B. pH lingkungan di bawah pKa
 - C. pH sama dengan pKa
 - D. tidak ada hubungannya dengan pH

- 5) Berapa volume asam asetat 0,1 M dan natrium asetat 0,1 M yang dibutuhkan untuk membuat 1:1 larutan *buffer* 0,1 M yang memiliki pH 5,8?
- A. 91 ml dan 909 ml
 - B. 100 ml dan 900 ml
 - C. 50 ml dan 950 ml
 - D. 200 ml dan 800 ml

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

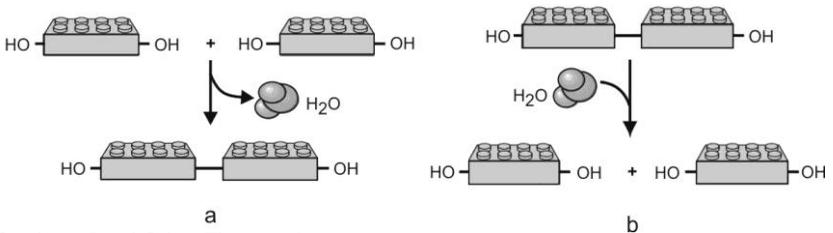
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Building Blocks Makromolekul

A. PRINSIP BUILDING BLOCKS MAKROMOLEKUL

Sebagaimana telah disebutkan di muka, reaksi penggabungan maupun pemisahan *building blocks* merupakan reaksi yang dapat balik (*reversible*). Reaksi penggabungan merupakan reaksi dehidrasi yang membebaskan H₂O, sedangkan reaksi pemisahan merupakan reaksi hidrolisis yang memerlukan H₂O. Reaksi ini dapat diilustrasikan melalui gambar berikut ini.

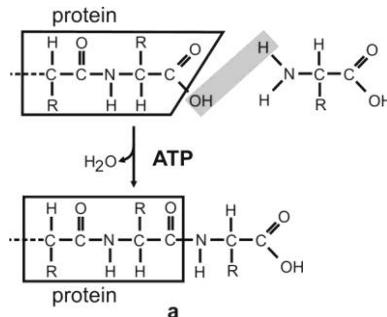


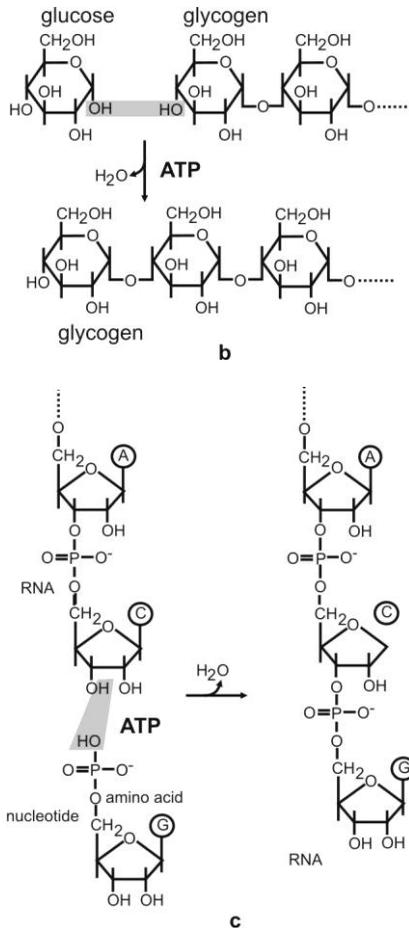
Sumber : BrookCole - Thomson Learning

Gambar 1.3.

Prinsip *building blocks* dalam (a) pembentukan melalui reaksi dehidrasi kondensasi dan (b) hidrolisis makromolekul

Prinsip *building blocks* dalam membangun makromolekul terlihat sangat jelas dalam protein, polisakarida dan asam nukleat sebagaimana diperlihatkan dalam gambar berikut.



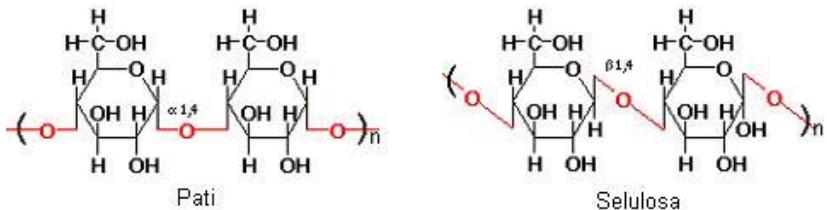


Gambar 1.4.
Prinsip *building blocks* dalam pembentukan protein (a),
polisakarida (b) dan asam nukleat (c)

Melalui prinsip penggabungan di atas maka monosakarida atau gula sederhana yang dalam hal ini utamanya glukosa dirangkai menjadi polisakarida. Monosakarida memiliki formula generi $(\text{CH}_2\text{O})_n$, dan secara struktural memiliki gugus karbonil baik sebagai aldehyd pada C-1 atau sebagai keton pada C-2, yang kemudian dikenal sebagai aldosa atau ketosa. Carbon yang lain mengikat gugus $-\text{OH}$ pada berbagai konfigurasi. Monosakarida utama yang banyak berperan dalam metabolisme adalah

D-glucose dan D-fructose. Gula-gula lain yang juga penting adalah D-galactose, D-mannose, D-ribose, D-xylose dan D-xylulose. Karakteristik kimiawi secara rinci dapat dilihat pada modul kimia organik dan kimia pangan. Dua polimer sakarida penting.

Polisakarida atau karbohidrat merupakan sumber energi utama pada berbagai organisme. Dalam jangka pendek penyimpanan energi dilakukan dalam bentuk karbohidrat sederhana terutama gula, sedangkan dalam jangka panjang disimpan sebagai pati pada tanaman dan sebagai glikogen pada hewan. Selain itu karbohidrat juga berperan penting sebagai komponen struktural sel, sebagaimana yang dilakukan oleh selulosa pada sel tanaman, dan kitin pada kerangka serangga dan arthropoda. Gambar berikut menyajikan cara perangkaian monosakarida membentuk pati dan selulosa melalui ikatan α 1,4 dan β 1,4.



Gambar 1.5.
Perangkaian gula membentuk pati dan selulosa

Proses perangkaian yang sama terjadi juga terhadap asam-asam amino sehingga membentuk protein, asam-asam lemak menjadi trigeliserida dan lipid serta nukleotida yang terdiri dari basa, gula dan fosfat yang dirangkai menjadi asam nukleat.

Lipid yang terbentuk dari rangkaian asam lemak, gliserol dan beberapa tambahan lain memiliki beberapa fungsi biologis sebagai berikut.

1. Merupakan bentuk cadangan energi dalam jangka panjang. Kelebihan asupan energi diubah sepenuhnya menjadi lipid. Beberapa keuntungan pemakaian lipid sebagai cadangan energi antara lain memiliki nilai kalori yang lebih tinggi dibandingkan karbohidrat, tidak mengubah tekanan osmotik di dalam sel karena tidak larut di dalam air.
2. Komponen struktural, seperti yang diperankan oleh fosfolipid yang merupakan komponen utama *building blocks* di membran sel.
3. Penyampai pesan (*messenger*), misalkan dalam bentuk hormon yang berperan dalam komunikasi di dalam dan di antara sel.
4. Penghambat panas yang baik dan pelarut beberapa vitamin.

Prinsip *building blocks* juga terlihat pada asam nukleat, yang unitnya disebut nukleotida yang merupakan gabungan dari basa bernitrogen (purin atau pirimidin), pentosa (ribosa atau deoksiribosa) dan fosfat. Molekul ini merupakan pembawa informasi genetik dalam bentuk urutan-urutan basa di dalam *double helix* DNA. Dengan demikian molekul ini merupakan penentu karakteristik organisme.

Satuan yang digunakan untuk menyatakan ukuran molekul adalah kiloDalton, **kDa**. Satu Dalton adalah setara dengan 1 g mol^{-1} , sehingga berat molekul protein yang pada umumnya antara 10 and 10,000 kDa adalah setara dengan 10^4 t hingga 10^7 g mol^{-1} .

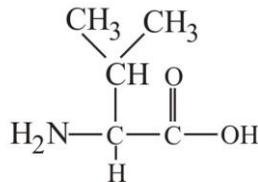
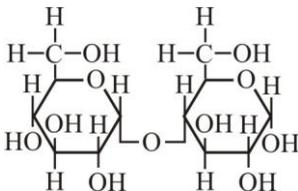
Pembahasan mengenai protein dan asam nukleat akan diuraikan dalam modul selanjutnya.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan reaksi penggabungan maupun pemisahan *building blocks* merupakan reaksi reversibel!
- 2) Gambarkan *building blocks* dalam pembentukan protein!
- 3) Gambarkan *building blocks* dalam pembentukan polisakarida!
- 4) Gambarkan *building blocks* dalam pembentukan asam nukleat!
- 5) Sebutkan peranan polisakarida dalam tubuh!
- 6) Sebutkan fungsi lipid dalam tubuh!
- 7) Sebutkan fungsi asam nukleat dalam tubuh!
- 8) Sebutkan nama makromolekul yang memiliki struktur berikut ini!



Petunjuk Jawaban Latihan

Pelajari kembali Kegiatan Belajar 2 untuk mengerjakan latihan ini.

**RANGKUMAN**

Makromolekul baik polisakarida, protein, lipid maupun asam nukleat disusun oleh unit penyusunnya dengan prinsip *building blocks*. Reaksi pemisahan dan penggabungannya bersifat dapat balik. Reaksi pembentukan makromolekul disertai dengan pelepasan air, sedangkan pemecahan makromolekul membutuhkan air.

Building blocks protein tersusun unit asam amino yang dihubungkan dengan ikatan peptida. Polisakarida tersusun oleh monosakarida yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik. Asam nukleat tersusun dari nukleotida yang dihubungkan dengan ikatan fosfodiester.

Polisakarida atau karbohidrat merupakan sumber energi utama pada berbagai organisme, dalam bentuk karbohidrat sederhana terutama gula (penyimpanan energi jangka pendek) atau sebagai pati pada tanaman dan sebagai glikogen pada hewan (jangka panjang). Karbohidrat juga berperan penting sebagai komponen struktural sel.

Lipid merupakan bentuk cadangan energi dalam jangka panjang, komponen struktural sel, penyampai pesan (*messengers*), penghambat panas yang baik dan pelarut beberapa vitamin

Asam nukleat merupakan pembawa informasi genetik dalam bentuk urutan basa di dalam *double helix* DNA, molekul ini merupakan penentu karakteristik organisme.

**TES FORMATIF 2**

Pilih satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Prinsip *building blocks* terlihat dalam molekul
 - A. Protein dan Karbohidrat
 - B. Karbohidrat dan Mineral
 - C. Vitamin dan Protein
 - D. Mineral dan Lipid

- 2) Penggabungan *building blocks* bersifat
 - A. tidak dapat balik
 - B. reversibel
 - C. irreversibel
 - D. salah semua

- 3) Unit terkecil dari polisakarida adalah
 - A. pati
 - B. monosakarida
 - C. glikogen
 - D. gula sukrosa

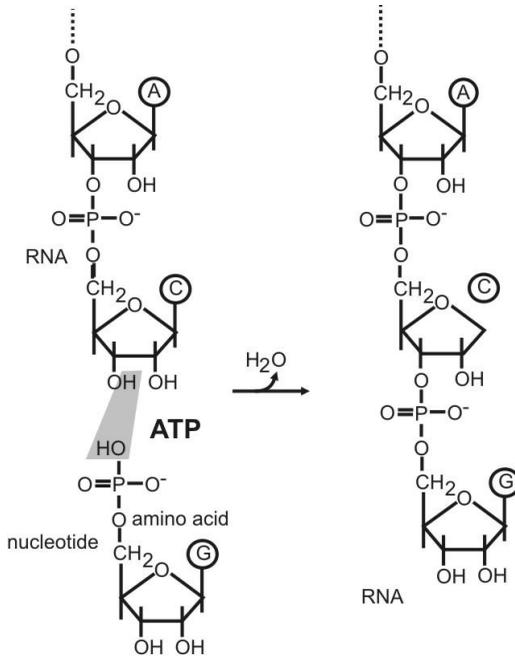
- 4) Unit terkecil penyusun asam nukleat adalah
 - A. nukleosida
 - B. nukleotida
 - C. basa nitrogen
 - D. molekul fosfat

- 5) Karbohidrat berfungsi sebagai komponen struktural sel, contohnya adalah
 - A. kitin pada kerangka arthropoda
 - B. bagian dari membran sel bersama lipid (lipopolisakarida)
 - C. selulosa pada tanaman
 - D. betul semua

- 6) Lipid mempunyai multifungsi di dalam tubuh, yaitu sebagai
 - A. cadangan energi
 - B. kompartemen sel
 - C. penyampai pesan
 - D. betul semua

- 7) Asam nukleat merupakan *building blocks* yang sangat penting karena
 - A. sebagai cadangan energi
 - B. sebagai pembawa pesan genetik
 - C. sebagai penentu sifat organisme
 - D. B dan C benar

8)



Gambar molekul tersebut adalah

- A. Protein
 - B. RNA
 - C. DNA
 - D. nukleotida
- 9) Struktur gula pasir adalah
- A. Gabungan dua monosakarida
 - B. Oligosakarida
 - C. Gabungan tiga monosakarida
 - D. Polisakarida
- 10) Ikatan yang membentuk *building blocks* asam nukleat adalah ikatan
- A. glikosidik
 - B. nukleosida
 - C. peptida
 - D. fosfodiester

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A
- 2) A
- 3) B
- 4) D
- 5) B
- 6) A
- 7) B
- 8) B
- 9) A
- 10) A

Tes Formatif 2

- 1) A
- 2) B
- 3) B
- 4) B
- 5) D
- 6) D
- 7) D
- 8) C
- 9) A
- 10) D

Daftar Pustaka

- Hammes, B.D. dan N.M. Hooper. (2000). *Instant Notes Biochemistry*. Hongkong: Springer Verlag.
- Horton, H.R., L.A. Moran, R.S. Ochs, J.D. Rawn dan K.G. Scrimgeour. (2002). *Principles of Biochemistry, 3rd ed.* New Jersey: Prentice Hall.
- Metzler, D.E. (2003). *Biochemistry: The Chemical Reactions of Living Cells*. Holland: Elsevier Academic Press.