

Bioenergetika Adenosin Trifosfat

Adelina Simamora¹

Abstrak: ATP (Adenosin trifosfat) terdiri atas Adenine, D-Ribosa, dan tiga molekul Fosfat. Adenosin Trifosfat merupakan molekul penyimpanan energi hasil metabolisme. Secara termodinamika, hidrolisis Adenosin Trifosfat menjadi ADP dan P merupakan proses spontan karena menghasilkan entropi besar dan kestabilan listrik produk yang tinggi. Sintesis utama ATP terjadi di mitokondria melalui mekanisme fosforilasi oksidatif kimiaosmotik. Molekul nutrisi melalui siklus Krebs akan menghasilkan NADH and FADH₂ yang kemudian masuk dalam rantai transpor elektron. Energi yang dihasilkan dari berbagai reaksi redoks dalam rantai transpor elektron dipakai untuk memompa H⁺ dari membran ke ruang antarmembran sehingga mengakibatkan gradien pH di sepanjang membran. Tekanan osmotik yang berasal dari gradien proton merupakan sumber energi untuk sintesis ATP di ATP-sintase. Adenosin trifosfat mensuplai energi untuk melakukan kerja mekanik, kerja transport, dan kerja kimia.

Kata kunci: Adenosin Trifosfat, fosforilasi oksidatif, kimiaosmotik

Abstract: Adenine triphosphate (ATP), a nucleotide which consists of Adenine, D-Ribose, and three molecules of phosphate is commonly used as energy-yielding molecule in cell. Thermodynamically, hydrolysis of ATP takes place spontaneously because of the more favorable entropy and the more electrical stability of the product. ATP is mainly produced through chemiosmotic oxidative phosphorylation in mitochondria. Nutrient molecules through Krebs cycle would produce NADH and FADH₂, which then enter electron transport chain (ETC). Energy produced in redox reactions series in ETC is used to move proton to inter membrane space to cause proton gradient across the cell membrane. Osmotic pressure due to proton gradient would then release energy that would be used to form ATP from ADP through ATP-synthase. Energy released from hydrolysis of ATP is supplied for mechanical work, transport work, and chemical work.

with irregularity of treatment. The pattern of skin disease showed that cellulites get the higher percentage of skin disease that diabetic patients can have.

Key words: ATP, oxidative phosphorylation, chemiosmotic

Pendahuluan

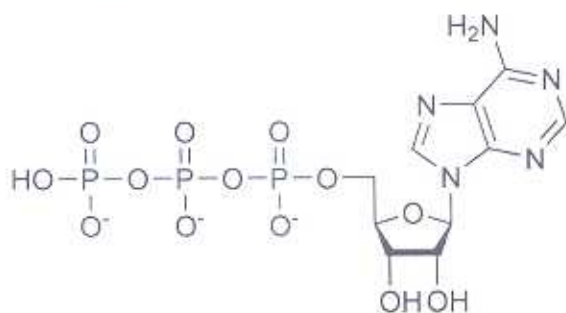
Semua organisme, dari bakteri yang paling sederhana sampai pada manusia, memanfaatkan ATP (Adenosin trifosfat) sebagai molekul penyimpanan energi utama. Adenosin trifosfat merupakan alat tukar energi yang sangat efektif untuk menjalankan berbagai proses dan fungsi. Organisme tidak dapat bertahan tanpa adanya ketersediaan ATP.

¹ Dosen Bagian Kimia, Fakultas Kedokteran, Ukrida

Tulisan ini memaparkan bagaimana ATP dapat bertindak sebagai alat tukar energi utama dalam tubuh dan bagaimana ATP dibentuk. Pembahasan dibatasi pada dua hal di atas dengan penekanan pembahasan dari sudut pandang termodinamika dan elektrokimia. Metabolisme nutrisi disinggung secara sekilas karena hal itu merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari pembahasan pembentukan ATP. Karakter kimia ATP dan latar belakang kimia pembentukannya diharapkan membantu pembaca memahami bioenergetika pembentukan dan penguraian ATP.

Struktur ATP^{1,2}

Adenosin trifosfat (ATP) adalah suatu nukleotida. Nukleotida tersusun atas tiga komponen yaitu basa nitrogen baik dari turunan purin atau pirimidin, gula dari golongan pentosa, dan satu atau lebih gugus fosfat. Gabungan antara basa nitrogen dan pentosa disebut nukleosida. Dengan demikian nukleotida terdiri atas nukleosida dan beberapa gugus fosfat. Nukleosida dalam ATP adalah adenosin. Pada adenosin, basa nitrogennya adalah adenin sedangkan gula pentosanya adalah D-ribosa. Struktur ATP terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur ATP

Pada kondisi pH fisiologis (pH = 7), ketiga gugus fosfat dalam ATP berada dalam bentuk

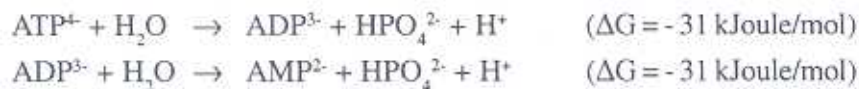
terionisasi penuh menghasilkan bentuk ATP⁴⁻. Sedangkan untuk produk hidrolisis pertama yaitu ADP berada dalam bentuk ADP³⁻. Di dalam sitosol yang kaya akan ion Mg²⁺, bentuk yang ada adalah MgATP²⁻ dan MgADP⁻. Dalam kenyataannya, untuk berbagai reaksi yang membutuhkan donor fosfat, bentuk aktif yang berperan adalah kedua spesi yang disebut belakangan.

Bagaimana ATP Mentransfer Energi?^{3,4}

Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan. Energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lain (hukum kekekalan energi). Semua sumber makanan mengandung energi yang tersimpan dalam ikatan antarmolekul. Energi yang merupakan energi kimia ini diistilahkan energi bebas Gibbs ("G). Energi yang terkandung dalam ikatan antarmolekul merujuk pada perbedaan energi dalam antara reaktan dan produk. Jadi bukan energi yang berasal dari pemutusan ikatan antarmolekul karena pemutusan ikatan membutuhkan energi bukan menghasilkan energi.

Sel tidak dapat langsung memanfaatkan energi yang terkandung di dalam berbagai sumber makanan. Sumber makanan harus menjalani berbagai tahapan reaksi metabolisme yang rumit. Ikatan antarmolekul yang miskin energi ini harus diubah menjadi ikatan yang kaya energi. Adenosin trifosfat adalah tujuan metabolisme yang akan menyimpan energi hasil metabolisme sumber-sumber makanan.

Pemutusan setiap molekul fosfat dari ATP akan membebaskan energi sebesar 31 kJoule/mol. Tahapan pemutusan atau hidrolisis fosfat adalah sebagai berikut:



Reaksi pemutusan fosfat dari ATP terjadi spontan karena beberapa alasan yang akan diuraikan berikut.

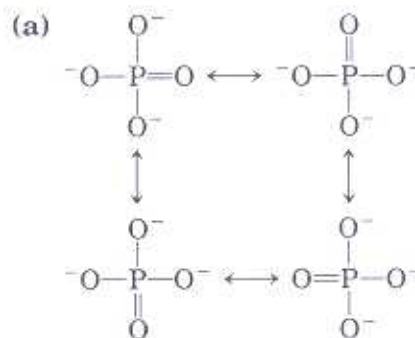
Konsentrasi H^+ pada pH fisiologis (pH = 7) hanya mencapai 1×10^{-7} M. Berdasarkan hukum aksi massa, konsentrasi produk yang rendah akan mendorong kesetimbangan reaksi bergeser ke arah produk. Pergeseran ini bertujuan untuk mengkompensasi kecilnya konsentrasi produk. Pergeseran ke kanan menunjukkan bahwa reaksi akan mengarah spontan kepada pembentukan produk. Hidrolisis ATP merupakan proses spontan.

Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa suatu reaksi akan berlangsung secara spontan (tanpa intervensi dari luar sistem) apabila terjadi peningkatan derajat keacakan pada produk. Satu molekul ATP^+ yang diubah menjadi satu molekul AMP^{2-} dan dua molekul fosfat merupakan peningkatan keacakan. Fosfat yang lepas memiliki tiga bentuk resonansi. Ketiga bentuk resonansi ini akan menstabilkan produk hidrolisis sekaligus menyumbang kepada derajat keacakan produk sesuai dengan hukum kedua termodinamika (Gambar 2).

Merujuk kepada struktur ATP^+ , Fosfat di dalamnya mengemban muatan negatif. Muatan negatif yang terletak saling berdekatan menyebabkan keadaan listrik yang tidak stabil. Lepasnya molekul fosfat terjadi secara spontan karena akan meningkatkan kestabilan listrik produk.

Pelepasan energi dari ATP selalu diikuti oleh pemanfaatannya oleh reaksi lain (reaksi berpasangan atau *coupled reaction*). Reaksi pemutusan fosfat dari ATP adalah reaksi eksotermik (membebaskan panas). Energi yang dibebaskan dari ATP dimanfaatkan oleh reaksi lain yang bersifat endotermik (membutuhkan panas). Fosfat yang terhidrolisis dari ATP akan dipindahkan ke molekul lain. Jadi ATP bukan menyimpan energi untuk dimanfaatkan kemudian.

Adenosin trifosfat dibentuk melalui proses oksidasi di dalam mitokondria. Oksigen tidak akan dipergunakan untuk oksidasi kecuali tersedia ADP dan fosfat. Adenosin trifosfat hanya akan terhidrolisis apabila dibarengi oleh reaksi lain yang memanfaatkan energi yang dibebaskan.



Gambar 2. Bentuk – bentuk resonansi ion Fosfat

Respirasi Sel⁴⁻⁶

Yang dimaksud dengan respirasi sel adalah penggunaan O₂ oleh sel untuk mengoksidasi bahan makanan. Respirasi sel dibedakan dari proses bernapas. Selama proses bernapas terjadi pertukaran gas. Oksigen di paru-paru diangkut melalui sistem peredaran darah dan disampaikan ke seluruh sel. Selanjutnya CO₂ diangkut dari sel menuju paru-paru. Mitokondria di dalam sel memanfaatkan oksigen untuk respirasi sel.

Tujuan utama respirasi sel adalah untuk menghasilkan energi yang disimpan dalam bentuk ATP. Energi dihasilkan melalui aliran elektron yang terjadi mulai dari bahan makanan sampai kepada oksigen. Dengan kata lain, elektron akan terlibat dalam tahapan-tahapan reaksi redoks yang akan membebaskan sejumlah energi. Dalam setiap tahapan dalam respirasi sel, elektron dipindahkan dari molekul yang lebih kaya energi kepada molekul yang lebih miskin energi.

Respirasi terdiri atas tiga tahapan reaksi yaitu glikolisis, siklus Krebs, dan rantai transpor elektron. Masing-masing tahapan akan dibahas secara singkat dengan penekanan pada tahapan rantai transpor elektron.

Reaksi umum yang terjadi adalah :



A. Struktur Mitokondria

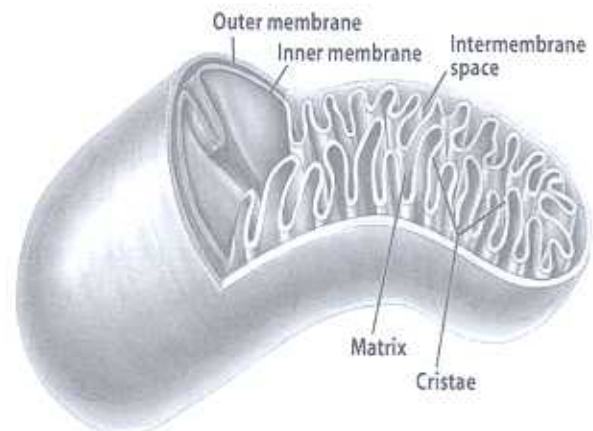


Figure 14-2a Principles of Biochemistry 4/e
© 2004 Pearson Education, Inc.

Gambar 3. Mitokondria

Sumber: <http://www.med.umd.nodak.edu/depts/biochem/documents/2-ElectronTransportandOxidativePhosphorylation>

Pada hampir semua sel eukariotik, mitokondria terletak di sitoplasma. Fungsi utamanya adalah memproduksi ATP. Lebih dari 90 % ATP sel dibentuk di sini. Mitokondria dapat berbeda dalam bentuk dan ukuran, namun memiliki struktur dasar yang sama seperti pada Gambar 3.

Mitokondria terdiri atas empat bagian yaitu:

1. Matriks : di dalamnya mengandung sejumlah besar enzim yang berfungsi mereduksi NAD⁺ menjadi NADH selama proses katabolisme bahan makanan.
2. Membran bagian dalam : di dalamnya mengandung ATP- sintase dan protein- protein yang berperan dalam transpor elektron.
3. Ruang antarmembran.
4. Membran sebelah luar.

B. Tiga Tahapan Respirasi Sel

1. Glikolisis

Glikolisis terjadi di sitoplasma. Glikolisis tidak membutuhkan O_2 karenanya semua organisme baik aerobik maupun anaerobik dapat menjalani tahapan ini. Glikolisis terdiri dari 10 tahapan reaksi enzimatik untuk memecahkan Glukosa (enam atom C) menjadi dua molekul piruvat (dua atom C). Selama glikolisis tidak dibebaskan CO_2 . Glikolisis menghasilkan dua molekul ATP yang berasal dari fosforilasi tingkat substrat dan dua molekul NADH.

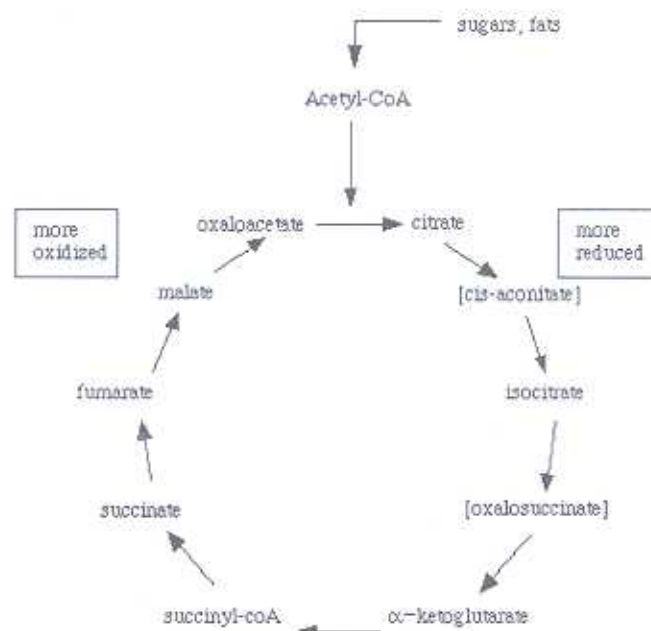
2. Siklus Krebs

Bahan makanan berupa karbohidrat, lemak, dan asam amino di dalam sel aerobik mengalami degradasi oksidatif. Degradasi oksidatif berlangsung melalui beberapa tahapan reaksi enzimatik di dalam suatu siklus yang disebut siklus Krebs (Gambar 4).

Bahan makanan baik lemak, protein, maupun karbohidrat masuk ke dalam siklus dalam bentuk

unit dua atom Karbon yaitu sebagai asetil-koenzim A. Di dalam siklus Krebs, zat perantara yang paling kaya energi bebas adalah asam sitrat. Ini berarti asam sitrat (enam atom C) merupakan bentuk substrat yang paling tereduksi. Substrat dalam bentuk paling teroksidasi (paling miskin energi bebas) adalah asam oksaloasetat. Asam sitrat dapat dibentuk kembali dengan penggabungan antara asetil-KoA dan asam oksaloasetat. Dalam beberapa bagian di dalam siklus dikeluarkan molekul CO_2 , demikian juga dengan atom H dalam bentuk H_2O . Dari asam sitrat sampai asam oksaloasetat terjadi pengurangan dua atom C yaitu dari C6 ke C4.

Energi bebas yang dihasilkan selama proses degradasi oksidatif di dalam siklus dipergunakan untuk mereduksi koenzim NAD^+ dan FAD menjadi NADH dan $FADH_2$. Jadi kedua molekul ini merupakan pembawa energi. Untuk setiap 1 molekul glukosa dibentuk dua molekul asetil ko A yang akan menghasilkan total empat ATP, 10 NADH, dan dua $FADH_2$.



Gambar 4. Siklus Krebs

Sumber: www.ruf.edu/biolabs/studies/mitochondria/mitoverview.html

3. Rantai Transpor Elektron (Rantai Pernapasan)

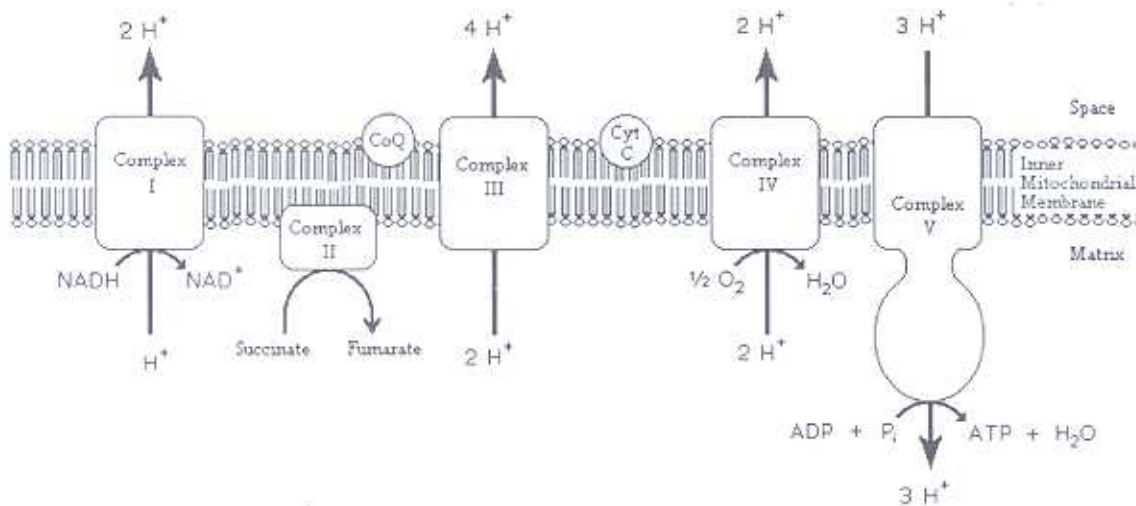
Rantai transpor elektron terdiri atas sederet reaksi redoks yang melibatkan kompleks I, II, III, dan IV. Dalam reaksi redoks, NADH dan FADH₂ yang dihasilkan dari glikolisis dan siklus Krebs bertindak sebagai reduktor. Ini berarti kedua molekul ini mengalami reaksi oksidasi membebaskan dua ion H⁺ yang ekuivalen dengan sepasang elektron. NADH dan FADH₂ bertindak sebagai donor proton bagi molekul protein (Kompleks I) yang tertanam dalam membran sebelah dalam mitokondria. Kompleks I yang menerima donor elektron dari NADH dan FADH₂ bertindak sebagai oksidator yang mengoksidasi kedua molekul tersebut. Selanjutnya secara berantai,

elektron dipindahkan dari Kompleks I sampai Kompleks IV melalui berbagai reaksi redoks. Molekul-molekul kompleks ini secara berurutan mempunyai nilai potensial reduksi yang semakin besar nilainya, Tabel 1. Ini berarti reaksi transfer elektron selanjutnya terjadi pada arah yang disukai karena mempunyai nilai "G yang semakin negatif. Akhir dari rantai transpor elektron adalah molekul O₂. Reaksi akhir yang terjadi adalah pembentukan H₂O dari O₂ dan H⁺. Molekul O₂ adalah molekul yang paling elektronegatif dibandingkan dengan keempat Kompleks. Karena melibatkan oksigen, rantai transpor elektron disebut juga rantai pernapasan. Pada reaksi redoks yang terjadi sepanjang rantai transpor elektron akan dihasilkan sejumlah energi bebas.

Tabel 1. Potensial Reduksi dan Energi Bebas Masing-masing Kompleks

Kompleks	E ^o _{reduktan} (V)	E ^o _{oksidan} (V)	ΔE ^o _{reaksi} (V)	ΔG ^o (kJ mol ⁻¹)
I (NADH/Q)	-0.32	+0.04	+0.36	-70
II (Suksinat/Q)	+0.03	+0.04	+0.01	-2
III (QH ₂ /Sitokrom c)	+0.04	+0.23	+0.19	-37
IV (Sitokrom c/O ₂)	+0.23	+0.82	+0.59	-110

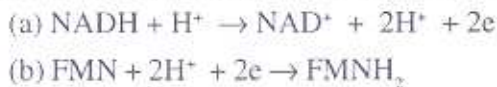
Reaksi yang terjadi di antara keempat kompleks tersebut adalah seperti pada Gambar 5.



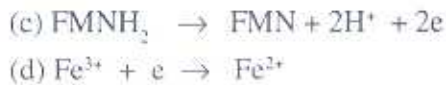
Gambar 5: Reaksi pembebasan proton yang terjadi pada masing-masing kompleks.

Sumber: www.gwu.edu/mpb/citric.htm

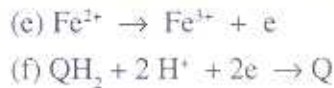
Pada tahap I, NADH akan mereduksi kompleks I melalui reaksi rantai yang melibatkan beberapa molekul seperti tampak pada Gambar 6. Tahapan reaksi redoks pada kompleks I adalah :



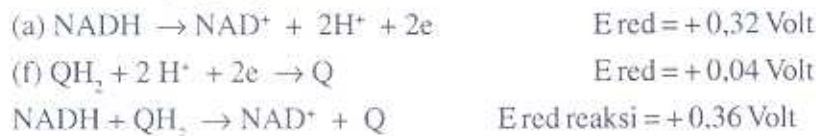
Pasangan redoks kedua dalam kompleks I:



Pasangan redoks ketiga dalam kompleks I:



Reaksi netto yang terjadi adalah:

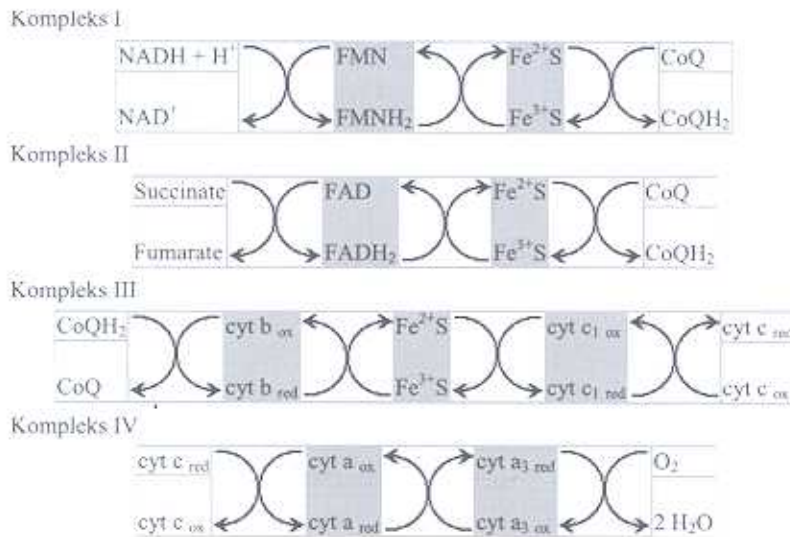


Energi yang dibebaskan: $G = -nFE_{\text{red}} \text{ reaksi}$

$$= -2 \text{ mol} \times 23\,062 \text{ Kal/Volt mol} \times 0,36 \text{ Volt}$$

$$= -16\,604,6 \text{ Kal} = -70 \text{ kJ/mol}$$

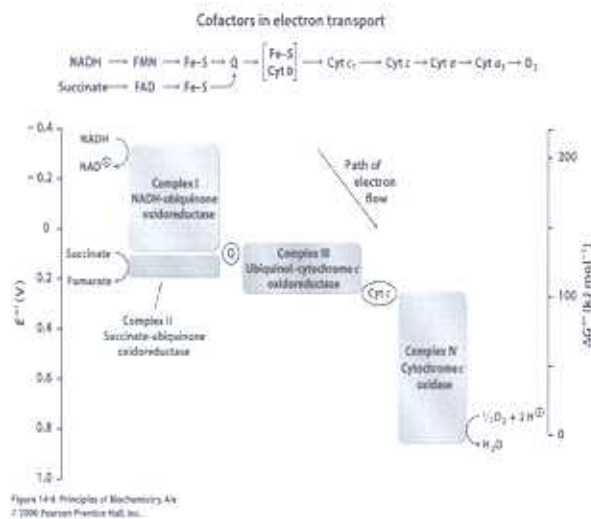
Reaksi netto untuk pasangan redoks yang lain dalam kompleks II, III, dan IV tercantum seperti pada Tabel 1. Nilai "G yang semakin negatif menunjukkan bahwa reaksi semakin disukai (spontan).



Gambar 6. Pasangan redoks untuk masing-masing kompleks.
Sumber: www.gwu.edu/mpb/citric.htm

Dari diagram pada Gambar 7 terlihat nilai potensial reduksi molekul pembawa elektron. Aliran elektron terjadi ke arah molekul yang bersifat semakin elektropositif atau semakin cenderung menangkap elektron. Ada tiga tahapan reaksi yang

akan membebaskan energi cukup besar yaitu reaksi redoks yang melibatkan kompleks I, III, dan IV. Reaksi yang melibatkan kompleks II tidak secara signifikan menghasilkan energi bebas.



Gambar 7. Diagram aliran elektron.

Kompleks I sampai dengan Oksigen secara berurutan mempunyai nilai potensial reduksi yang semakin besar.
Sumber: <http://www.med.umd.nodak.edu/depts/biochem/documents/2-ElectronTransportandOxidativePhosphorylation>

Pembentukan ATP^{6,7}

Tubuh manusia mengandung kurang lebih 1×10^{14} sel. Pada setiap saat setiap sel mengandung satu milyar molekul ATP. Jumlah ini hanya cukup untuk kebutuhan aktivitas sel selama beberapa menit saja. Adenosin trifosfat harus didaur ulang untuk kelangsungan berbagai aktivitas tersebut.

Seorang dewasa memerlukan 2500 Kkal per hari. Konversi ATP untuk kebutuhan kalori tersebut adalah $2500 \text{ Kkal} : 7,3 \text{ Kkal/mol} = 342,5 \text{ mol}$ atau 180 kG ATP. Jumlah aktual ATP dalam tubuh hanya 50 G. Itu berarti untuk memenuhi jumlah kebutuhan ATP sebesar 180 kG, ATP harus dihidrolisis menjadi ADP dan P kemudian disintesis kembali ribuan kali dalam sehari.

Adenosin trifosfat dibentuk melalui dua mekanisme:

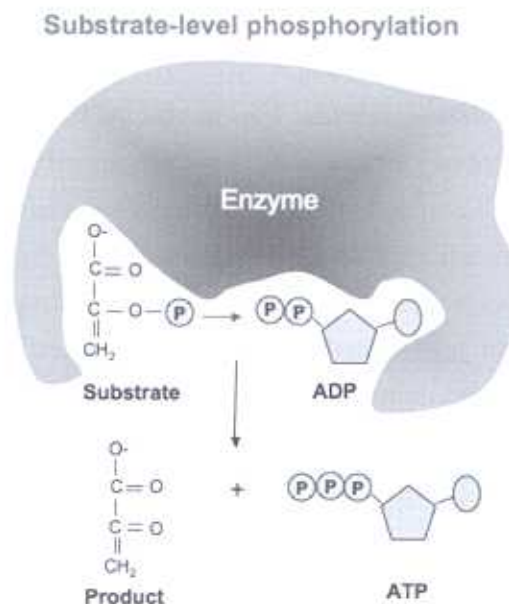
1. Fosforilasi tingkat substrat.
2. Fosforilasi oksidatif atau fosforilasi kimiaosmotik.

A. Fosforilasi Tingkat Substrat

Pembentukan ATP dalam sel melalui mekanisme ini hanya menghasilkan sedikit ATP. Mekanisme ini tidak melibatkan rantai transpor elektron dan membran sel. Fosforilasi terjadi apabila suatu substrat yang mengandung Posfor mendonorkan molekul Posfor tersebut kepada ADP menjadi ATP (Gambar 8).

B. Fosforilasi Oksidatif atau Fosforilasi Kimiaosmotik

Fosforilasi kimiaosmotik melibatkan transpor elektron. Berdasarkan perhitungan pada bagian di atas, selama transpor elektron dihasilkan energi sebesar 31 kJol. Energi bebas ini dipakai untuk memompa proton (H^+) ke arah ruang antarmembran. Pengumpulan proton di daerah ruang antarmembran mengakibatkan gradien proton di daerah membran ini.



Gambar 8. Fosforilasi tingkat substrat, donor fosfor dari substrat kepada ADP.
Sumber: <http://www.langara.bc.ca/biology/mario/Biol1116notes/bio/1116chap6.html>

Gradien proton di sepanjang ruang antarmembran mendorong terjadinya osmosis proton kembali menembus membran menuju matriks, yang dilakukan melalui molekul protein yang disebut ATP Sintase. Energi yang dilepaskan selama osmosis dipakai untuk mensintesis ATP dari ADP dan P. Dengan kata lain, melalui kimiaosmosis, sel menggabungkan proses reaksi yang menghasilkan energi bebas pada transpor elektron dengan reaksi yang membutuhkan energi bebas pada pembentukan ATP. Sebagian besar kebutuhan ATP sel dipenuhi melalui mekanisme ini.

Pemanfaatan ATP⁷

Sel-sel di dalam tubuh membutuhkan suplai energi secara kontinyu untuk melangsungkan berbagai proses. Tubuh memanfaatkan ATP untuk melakukan berbagai aktivitas. Reaksi penguraian ATP menjadi ADP dan P yang membebaskan energi sebesar 31 kJ/mol akan segera dimanfaatkan untuk berbagai kerja yaitu kerja transpor, kerja mekanik, dan kerja kimia. Kerja transpor adalah kerja yang berhubungan dengan pemindahan substansi melewati membran sel. Kerja mekanik berhubungan dengan energi yang dibutuhkan untuk kontraksi otot, bukan hanya otot jantung untuk sirkulasi darah tetapi juga otot rangka untuk pergerakan tubuh. Pergerakan flagela dan kromosom juga memakai ATP sebagai alat tukar energi. Kerja kimia adalah kerja sistesis ribuan jenis makromolekul yang dibutuhkan sel.

Selain pemanfaatan untuk penyimpanan energi, ATP juga digunakan untuk pengatur reaksi kimia. Molekul ATP dapat berikatan dengan satu bagian dari molekul protein. Pengikatan ini akan mengubah konformasi protein. Berubahnya struktur mengakibatkan fungsi protein berubah. Pengikatan ATP dapat bersifat reversibel yang berarti lepasnya ATP mengakibatkan kembalinya struktur protein, sehingga fungsi protein kembali seperti sebelumnya.

Rangkuman

ATP adalah tujuan akhir metabolisme. Energi yang terkandung dalam bahan makanan tidak dapat langsung dimanfaatkan. Energi hasil oksidasi molekul-molekul nutrisi disimpan dalam bentuk ATP. Penyimpanan energi yang dimaksud adalah bahwa ATP dapat terhidrolisis dengan mudah sambil membebaskan sejumlah energi yang dipakai untuk berbagai kerja seperti kerja transpor, kerja mekanik, maupun kerja kimia.

Pada pH fisiologis, ATP berada dalam bentuk ATP^{4-} . Keempat ion Fosfat mengemban muatan negatif yang terletak saling berdekatan satu dengan yang lain sehingga membuat ATP^{4-} tidak stabil dan terhidrolisis menjadi ADP^{3-} dan P. Derajat keacakan (entropi) produk lebih tinggi daripada reaktan. Ion Fosfat yang dihasilkan distabilkan oleh berbagai bentuk resonansi muatan negatif di dalamnya. Dalam hidrolisis juga dihasilkan H^+ dalam jumlah kecil. Konsentrasi pH lingkungan pada

kondisi pH fisiologis mendorong reaksi ke arah pembentukan produk (Hukum Aksi Massa). Dengan alasan-alasan tersebut hidrolisis ATP⁴⁻ merupakan proses yang terjadi secara spontan dan membebaskan sejumlah energi.

Molekul-molekul nutrien, baik karbohidrat, lemak, dan protein melalui tahapan-tahapan metabolisme enzimatik dipecah menjadi molekul dengan dua atom C yaitu Asetil KoA yang merupakan prekursor siklus Krebs. Dari siklus ini dan pembentukan Asetil KoA dihasilkan NADH dan FADH₂. Kedua molekul ini memindahkan ekivalen

elektron melalui kompleks I, II, III, dan IV hingga akhirnya diterima oleh Oksigen. Dalam rangkaian reaksi redoks tersebut dibebaskan sejumlah energi yang dimanfaatkan untuk memompa proton dari matriks ke daerah ruang antarmembran. Akibatnya terjadi gradien proton di sepanjang membran. Ketidakseimbangan konsentrasi proton mendorong terjadinya osmosis proton kembali ke matriks melalui suatu molekul protein yang disebut ATP sintase. Energi akibat pergerakan osmosis inilah yang dimanfaatkan untuk membuat ATP dari ADP dan P di ATP Sintase.

Kepustakaan

1. Lehninger AL. Dasar-dasar Biokimia. Jakarta: Penerbit Erlangga; 1991.
2. Devlin TM. Editor. Textbook of Biochemistry with clinical correlations. 6th edition. New York: Wiley-Liss; 2006.
3. Bergman J. ATP: The Perfect Energy Currency for the Cell. 2007. diunduh dari: <http://www.trueorigin.org/atp.asp>. 25 Mei 2007.
4. Sukalski KA. Electron Transport and Oxidative Phosphorylation. 2007. Diunduh dari: <http://www.med.umd.nodak.edu/depts/biochem/documents/2-ElectronTransportandOxidativePhosphorylation>. 25 Mei 2007.
5. Caprete DR. Overview of Krebs reaction, electron transport, and oxidative phosphorylation by Mitochondria. 2006. Diunduh dari: www.ruf.edu/biolabs/studies/mitochondria/mitoverview.html. 25 Mei 2007.
6. Miller KJ. The metabolic pathway of Biochemistry. 1998. Diunduh dari: www.gwu.edu/mpb/citric.htm. 25 Mei 2007.
7. de Sa MM. How cells harvest chemical energy. 2006. Available from URL: <http://www.langara.bc.ca/biology/mario/Biol1116notes/bio/1116chap6.html>. 25 Mei 2007.