

Temu 2 Bioenergy Latihan

A. Pendahuluan

Dalam proses latihan membutuhkan energi adenosin triphosphate sebesar 500-1000 kali lebih besar dari istirahat. Peningkatan energi ini disesuaikan dengan intensitas latihan yang dilakukan. Untuk memenuhinya system fisiologi tubuh membutuhkan kerja sel untuk memproduksi energi yang bersumber dari makanan dan oksigen.

Pada tingkat seluler, reaksi kimia yang kompleks terjadi untuk meregenerasi energi dan dikirimkan pada target organ yang diperlukan. Bioenergy merupakan salah satu ilmu yang mempelajari tentang transfer energi untuk kebutuhan hidup manusia. Ada lima elemen dalam bioenergy, yaitu **reaksi berganda (coupled reaction), enzim, reaksi oksidasi-reduksi, substrat & product, dan shuttles & transporter**. Ada beberapa reaksi dalam metabolisme latihan yang terjadi bersamaan (couple). Satu reaksi pelepasan energi disebut dengan energi bebas (free energy) yang dibutuhkan untuk reaksi lainnya. Pada reaksi berganda ada 2 reaksi pelepasan (release) energi yang disebut dengan **exorogenic** dan pengikatan energi disebut dengan **endergonic**. Reaksi pelepasan energi dari bentuk panas disebut dengan **exothermic**. Exothermic dan exorogenic merupakan istilah yang sama dimana keduanya didefinisikan sebagai pelepasan panas atau energi. Reaksi exorogenic merupakan reaksi katabolisme, respirasi dan pemecahan gula menjadi energi dalam metabolisme seluler.

Enzim merupakan katalis biologi yang membantu mempercepat reaksi kimia. Aktifitas enzim dapat ditingkatkan melalui enzim aktifator dan diturunkan melalui inhibitor pada molekul. Dalam latihan, enzim memiliki peran penting dalam mengontrol metabolisme latihan. Pelepasan electron dari molekul atau atom disebut dengan **oksidasi**. Sedangkan electron masuk kedalam molekul atau atom disebut dengan **reduksi**. Reaksi ini terjadi bersamaan didalam molekul sehingga disebut dengan **reaksi oksidasi-reduksi**,

Substrat adalah molekul yang diaktifkan oleh enzim dalam reaksi kimia dan akan membentuk suatu produk. Dalam bioenergy ada substrat phosphocreatine, karbohidrat (glukosa & glikogen), lemak (free fatty acid), dan protein (amino acid) yang digunakan dalam system energi. Produk adalah molekul yang dibentuk dari substrat hasil reaksi katalisasi enzim. **Shuttle dan transporter** merupakan aktifitas difusi molekul yang bergerak ke dalam sel, menyeberangi membrane dan masuk kedalam plasma atau lingkungan sel lainnya. Sebagai contoh carnitine menggerakkan FFAs untuk masuk kedalam mitokondria sel otot.

B. Termodinamika

Dalam bioenergy pembelajaran tentang transfer energi disebut dengan termodinamika. Dasar hukum termodinamika menjadi dasar pemahaman bioenergy.

Hukum Pertama termodinamika : konservasi energi

“Energi tidak juga dibentuk ataupun dihancurkan, melainkan bisa diubah dari satu bentuk menjadi lainnya dan didegradasi menjadi panas”.

Ini terjadi ketika kita mengonsumsi makanan, reaksi kimia akan mengubahnya dari makanan menjadi tenaga kontraksi otot. Sedangkan energi yang tidak digunakan akan diubah menjadi panas baik disimpan maupun dibuang sesuai dengan kebutuhan tubuh. Jadi tidak semua energi akan diubah seluruhnya dalam tubuh (no net change in energy).

Hukum Kedua termodinamika: reaksi langsung

“Energi panas diubah menjadi mekanik dimana sistem entropi tidak berkurang, karena akan terjadi progresivitas dengan spontan sesuai dengan arah termodinamika.”

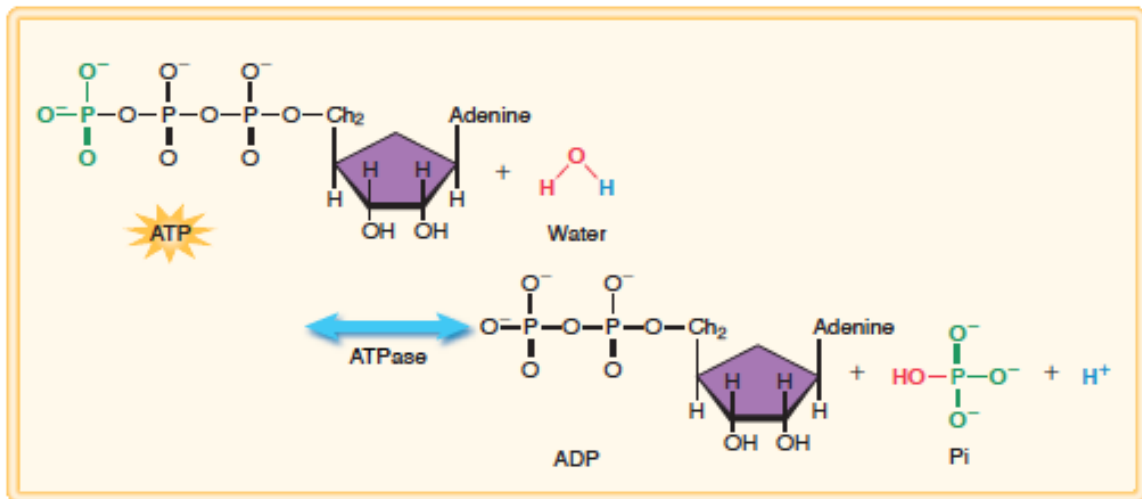
Sebagai contoh orang yang sedang melakukan latihan biceps curl, energi yang digunakan bukanlah dari pelepasan energi dalam molekul, melainkan dari energi bebas yang berikatan untuk melakukan kontraksi otot.

C. Produksi Energi

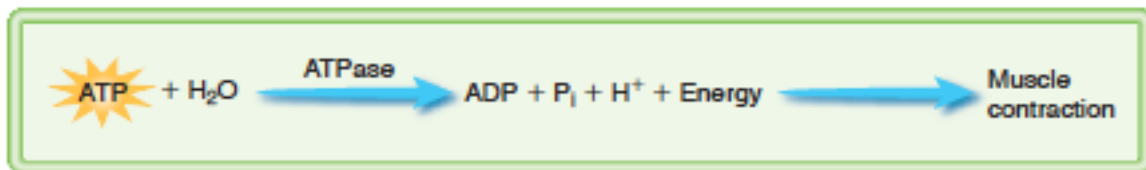
Setiap organisme harus memiliki kemampuan memproduksi, menyimpan, dan mentransfer energi. Bentuk energi yang digunakan oleh tubuh berupa **adenosine triphosphate (ATP)**. Ketika digunakan akan melepaskan kalori sebagai unit energi. Energi merupakan kapasitas untuk melakukan pekerjaan/fungsi. Total kerja yang dilakukan dapat dikuantifikasikan menjadi **Kalori (1 Kcal = 4,184 kJ)**. Kalori didefinisikan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu setiap 1 Kg air oleh 1°C dari 14,5°C menjadi 15,5°C.

Molekul ATP tersusun dari adenine, ribose, dan 3 fosfat. ATP dapat diproduksi dari adenine diphosphate (ADP), inorganic phosphate (Pi), dan ion hydrogen (H⁺). Energi yang dibutuhkan untuk mengikat ADP ke Pi dapat diperoleh dari reaksi anaerobik atau aerobik. ATP bisa dipecah menjadi ADP dan Pi, dan melepaskan energi yang digunakan serta diproses di dalam sel, untuk kontraksi otot. Enzim yang digunakan untuk pemecahan ATP ialah enzim ATPase (gambar 1). Ketika latihan, otot berkontraksi dengan konstan untuk terus menghasilkan tenaga yang membutuhkan energi. Otak juga akan menggunakan energi untuk mempertahankan kapasitas ion aktifitas saraf. Sumber energi kimia dalam tubuh berupa ATP yang dilepaskan dalam reaksi hidrolisis. Reaksi ini akan melepaskan ikatan phosphate ATP menjadi ADP (adenosin diphosphate) dan melepaskan energi 7,3 kalori. Energi ini yang digunakan untuk kontraksi otot (gambar 2).

Selama masa pemulihan, molekul ADP, ATP, dan Pi tidak hancur selama reaksi ini, lebih tepatnya ikatan kimia akan terus mengikat gugus fosfat yang terlepas dan energi dibentuk kembali dari ikatan Pi ke sisa gugus fosfat pada molekul adenosin, dengan demikian ATP akan terbentuk kembali.



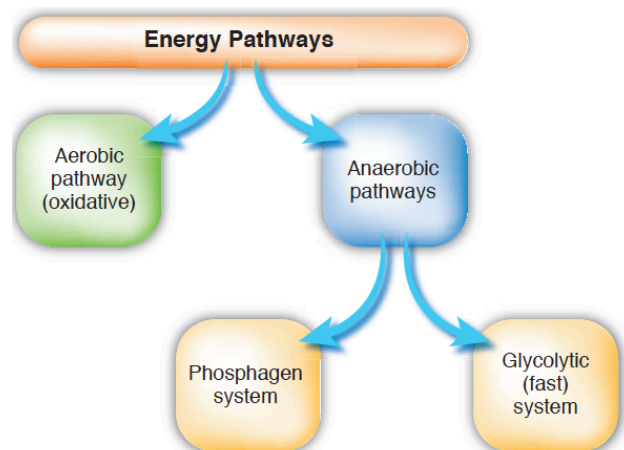
Gambar 1. struktur kimia adenosin triphosphate dan hidrolisis ATP



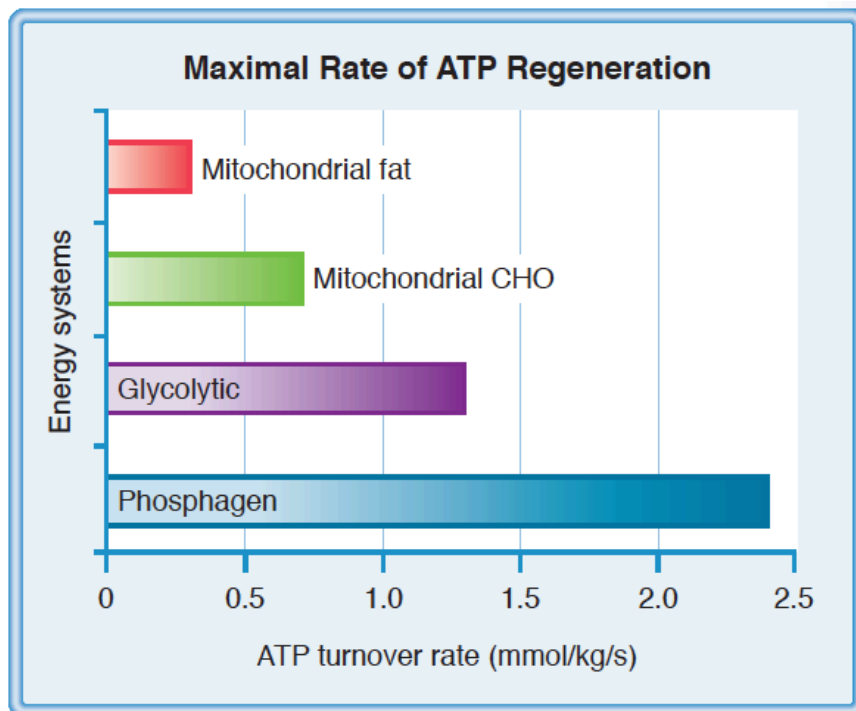
Gambar 2. Hidrolisis ATP

Jalur energi dibagi menjadi dua, yaitu aerobic (oksidatif atau mitokondria) dan anaerobic (system phosphagen dan glikolisis) (gambar 3). Dasar perbedaan aerobic dan anaerobic

1. Jalur aerobik mampu menghasilkan sejumlah besar ATP, sedangkan anaerobic menghasilkan jumlah ATP lebih kecil atau terbatas.
2. Jalur aerobik menghasilkan ATP secara perlahan, sedangkan jalur anaerobik memiliki kapasitas untuk menghasilkan ATP lebih cepat (gambar 4). Karakteristik ini menjelaskan bahwa bentuk latihan berpengaruh langsung pada jalur energi yang akan digunakan.
3. Respirasi aerobik terjadi di dalam mitokondria sel, sedangkan respirasi anaerobic terjadi di dalam sarkoplasma sel.



Gambar 3. Jalur energi aerobic dan anaerobic



Gambar 4. Regenerasi ATP pada jalur anaerob

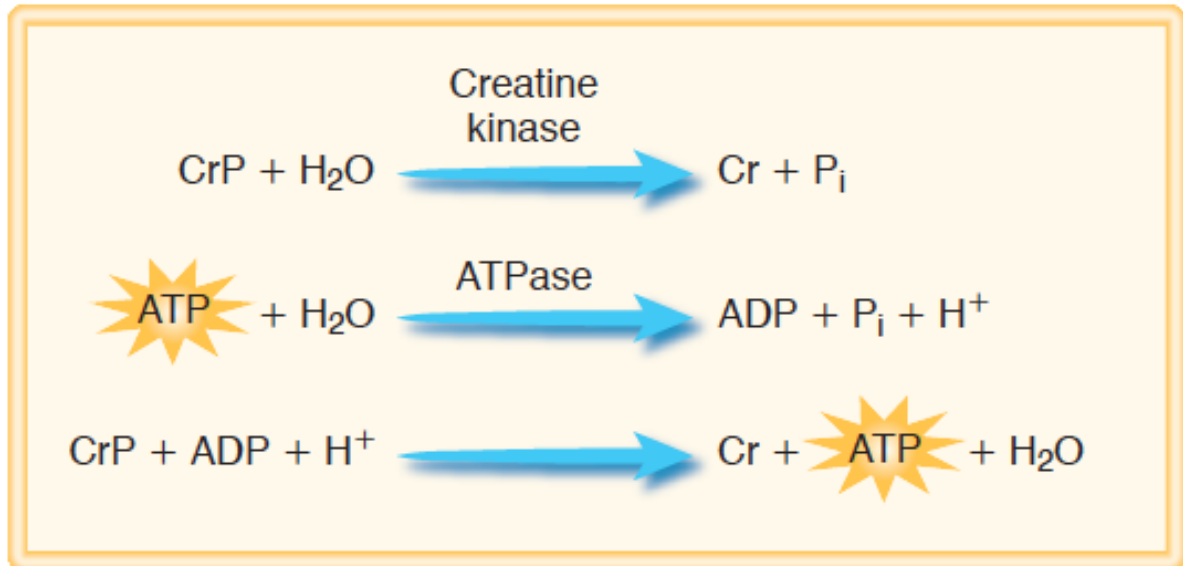
Pada gambar 4. Menjelaskan bahwa ATP dapat diregenerasi. Pada periode latihan yang berat atau intensitas tinggi, kebutuhan energi akan meningkat perlahan sesuai dengan yang dibutuhkan oleh otot. Namun suplai ATP dalam otot hanya kuat bertahan selama satu atau dua detik saja. Untuk mengatasinya, energi perlu upaya resintesa, melalui tiga cara:

1. Sistem phosphagen
2. Metabolism anaerobic
3. Metabolism aerobik

System phosphagen (ATP-PC)

Menggunakan Phosphocreatine (PC/CrP) yang merupakan cadangan energi kedua yang dapat diregenerasi menjadi ATP dari ADP. Reaksi ini phosphate akan diubah dari phosphocreatine menjadi ADP dan kemudian menjadi ATP secara cepat, sehingga otot dapat melanjutkan kontraksinya kurang lebih 10 detik.

Berikut penjelasan reaksi berganda (couple reaction) dalam pembentukan ulang atau regenerasi ATP. Ketika latihan intensitas tinggi akan terjadi proses hidrolisis ATP yang dikatalisis oleh enzim ATPase menjadi $ADP + Pi + H^+$. Pada fase istirahat level ADP akan mengaktifkan enzim creatine kinase untuk menghidrolisis phosphocreatin (CrP) menjadi creatine (Cr) dan inorganic fosfat (Pi), sehingga menghasilkan energi bebas berupa satu fosfat. Energi bebas tersebut digunakan untuk membentuk tiga fosfat kedalam molekul ADP sehingga menjadi ATP baru. Siklus ini akan berlanjut selama permintaan ATP dibutuhkan atau sampai konsentrasi CrP berkurang ke titik di mana ia tidak digunakan kembali (gambar 5).



Gambar 5. Reaksi berganda regenerasi ATP melalui phosphagen

Peningkatan ATP dan PC didalam otot akan meningkatkan performa dalam jangka pendek, dan latihan intensitas tinggi. Latihan beban dan lari cepat dapat meningkatkan dan mempertahankan konsentrasi ATP dan PC. Tingkat konsentrasi ATP-PC istirahat akan meningkat 22% dan kekuatan maksimal meningkat 28% setelah 5 bulan latihan beban. Studi lainnya adalah konsentrasi PC tidak mengalami perubahan setelah berlatih lari cepat selama 6 minggu meskipun jarak dan kecepatan ditingkatkan. Ada atau tidak adanya peningkatan PC paska latihan tidak akan mengubah jumlah konsentrasi PC didalam otot, sehingga memungkinkan PC akan habis paska latihan intensitas tinggi dan untuk meregenerasikan PC butuh waktu 5 sampai 15 menit agar konsentrasi PC kembali seperti semula. Untuk membantu regenerasi PC, pemulihan aktif lebih baik daripada pasif dan meningkatkan kebugaran kardiorespirasi untuk meningkatkan kadar oksigen dalam tubuh. PC lebih cepat disimpan didalam serabut otot slow twitch dibandingkan fast twitch.

Glikolisis

Definisi glikolisis adalah proses metabolisme yang memecah atau katalisasi glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) atau glikogen otot menjadi dua piruvat (tiga karbon) atau dua struktur laktat. Secara teknis produk akhir dari glikolisis adalah piruvat, yang kemudian diubah menjadi laktat karena tidak tersedianya oksigen yang cukup dan dialirkan ke dalam mitokondria untuk respirasi aerobik. Ini menjelaskan bahwa piruvat masih bergantung pada ketersediaan oksigen.

Glikolisis adalah 10 urutan reaksi yang melibatkan senyawa untuk membentuk 2 struktur piruvat. Glikolisis menggunakan energi untuk menyelesaikan proses pembentukan dan juga melepaskan energi bebas untuk memfosforilasi molekul ATP. Selain itu, sepanjang proses ini, atom hydrogen ditransfer ke pembawa electron yaitu nikotinamida adenine dinucleotide (NAD) + hidrogen (H), atau NADH. Pendekatan umum untuk mempelajari glikolisis dibagi menjadi dua fase. Fase 1 disebut sebagai

fase investasi (membeli) energi, dan fase 2 disebut fase regenerasi energi (gambar 6).

a. Fase 1

Pada fase 1 ini akan menghabiskan 2 ATP untuk mengubah Glukosa atau glikogen yang tersimpan dalam sel. 2 molekul ATP, 1 ATP dipecah dan mengambil fosfat (Pi) untuk menjadi glukosa 6 fosfat (langkah pertama) dan 1 ATP lagi digunakan untuk mengubah fruktosa 6 fosfat menjadi fruktosa 1,6 biphosphat yang terdiri dari 6 molekul carbon yang akan dipecah menjadi 2 dan masing-masing terdiri dari 3 rantai karbon dan akan memasuki fase 2.

b. Fase 2

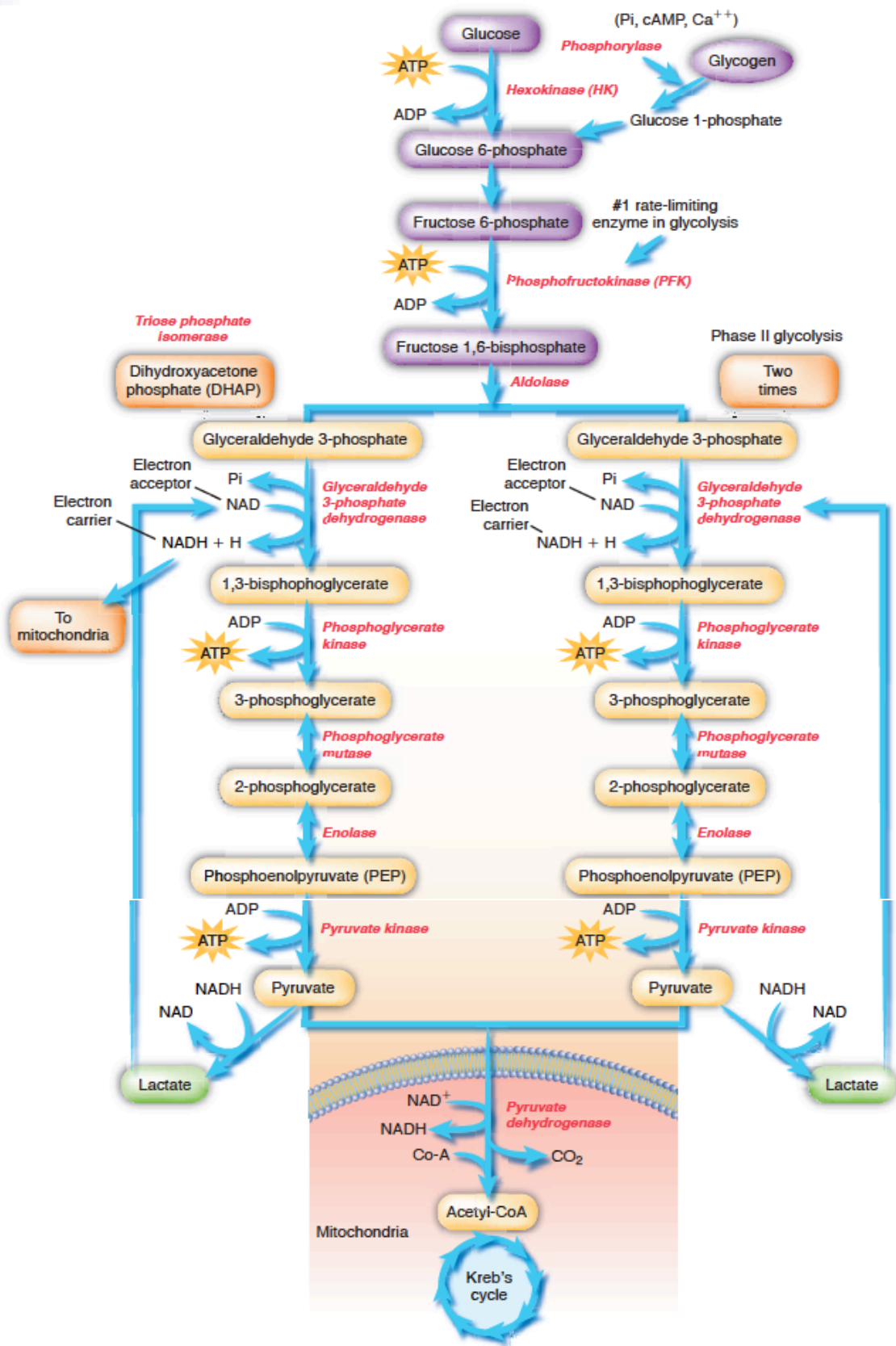
Dua molekul NAD^+ direduksi menjadi NADH selama fase 2 glikolisis dari gliseraldehid 3-fosfat dari reaksi dehidrogenase. Ini pada akhirnya akan masuk dalam transpor electron rantai untuk menghasilkan ATP. Dalam latihan aerobic elektron dari NADH masuk ke dalam mitokondria, untuk menghasilkan ATP. Sedangkan pada latihan anaerobic, NADH dan elektronnya masuk ke piruvat dan membentuk laktat. Kuantitas piruvat yang masuk mitokondria bergantung pada kapasitas jalur aerobik (misalnya ketersediaan oksigen, ukuran, dan jumlah mitokondria), sedangkan setiap kelebihan piruvat diubah menjadi laktat. Produksi laktat sering dikaitkan dengan kelelahan, namun produksi laktat adalah yang terpenting untuk melanjutkan fungsi glikolisis.

Singkatnya, proses glikolisis, yang mengambil tempat dalam sarcoplasm dalam sel otot, diproduksi dua molekul piruvat, dua NADH, dan dua (pada glukosa) atau tiga (pada glikogen) molekul ATP. piruvat akan dikonversi menjadi laktat dalam sarkoplasma atau transfer ke mitokondria, yang akan terjadi melalui respirasi aerobic didalam siklus krebs.

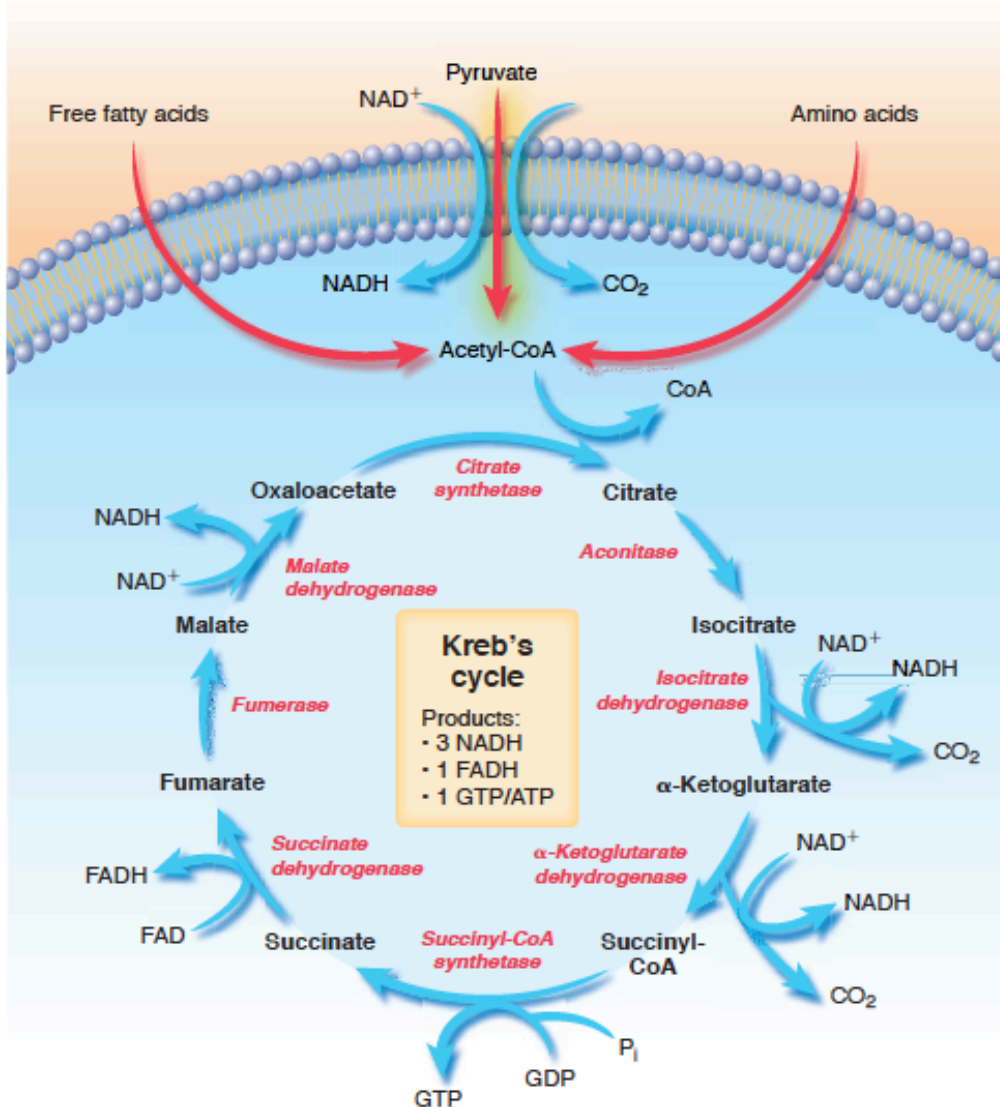
Aerobic metabolism: cellular respiration

Siklus krebs

Piruvat masuk kedalam mitokondria melalui sarkoplasma dalam proses glikolisis melewati 2 langkah yaitu siklus krebs dan transport electron. Satu Siklus krebs menghasilkan 1 ATP, 1 FADH dan 3 NADH. Piruvat diangkut ke dalam mitokondria dan membuang karbon dioksida untuk membentuk asetil-KoA, yaitu molekul 2-karbon yang melekat sebagai carrier (koenzim A). Ketika asetil- CoA dioksidasi menjadi karbon dioksida di siklus Krebs yang dimulai dan diakhiri dengan oksaloasetat (gambar 7). Karena ada 2 piruvat yang masuk kedalam siklus maka hasil akhirnya menjadi ganda 2 ATP, 2 FADH, dan 6 NADH.



Gambar 6. Proses glikolisis



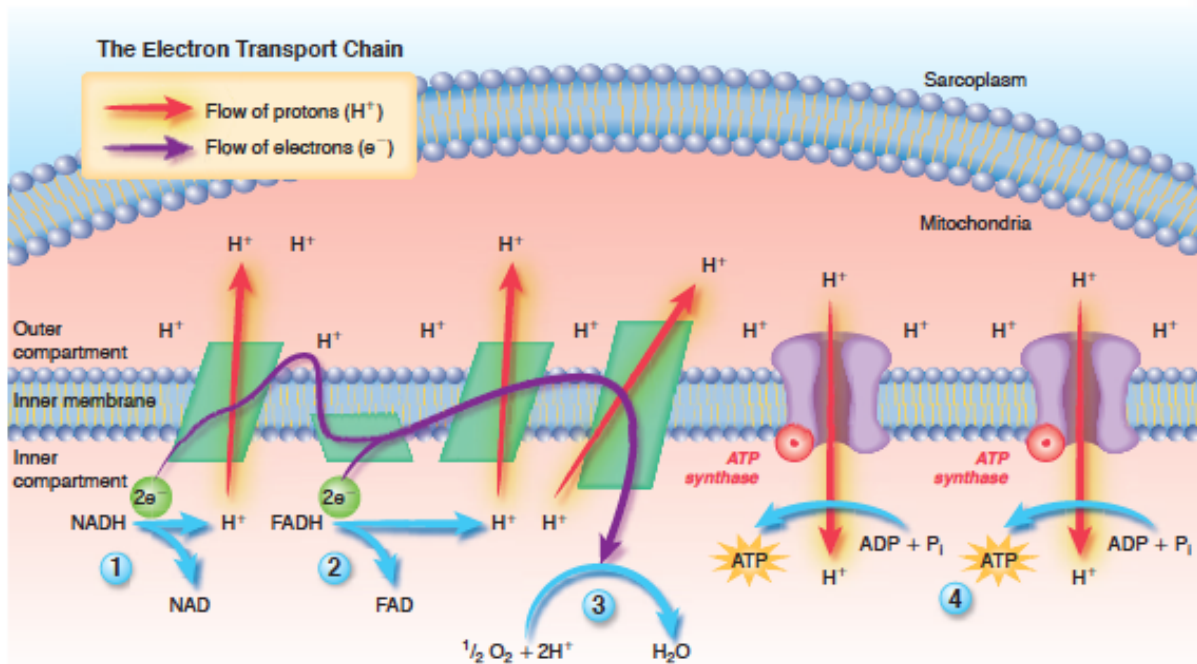
Gambar 7. Siklus krebs

Transport electron

NADH dan FADH₂ diproduksi selama siklus Krebs melalui rantai transpor elektron (ETC) dalam tahap akhir respirasi. Rantai transpor elektron terdiri dari berbagai protein yang tertanam di membran mitokondria, juga sebagai pembawa elektron seluler (ubiquinone dan cytochrome c). Elektron dilewatkan melalui gerbang membrane dan akhirnya mengubah oksigen menjadi air. Energi yang dilepaskan sebagai elektron akan mengalir melalui rantai yang digunakan untuk mengangkut H⁺ (ion hidrogen [alias proton]) keluar dari mitokondria. Luar mitokondria H⁺ menjadi lebih asam karena konsentrasi H⁺ tinggi. Ketika ion hidrogen mengalir kembali ke dalam mitokondria melalui protein, energi bebas akan dilepaskan yang digunakan untuk membuat ATP.

Rantai transpor elektron adalah bagian dari aerobic metabolisme yang membutuhkan oksigen. Baik siklus Krebs maupun penggunaan glikolisis oksigen secara langsung, tetapi jika NADH tidak dapat direoksidasi ke NAD⁺ oleh ETC, maka

jalur pengumpan tidak dapat dilanjutkan. Fakta lain yang signifikan tentang ETC adalah bahwa ATP synthase adalah produsen ATP terbesar di dalam sel, dengan 2,5 ATPs dibuat dari masing-masing NADH dan 1,5 ATP dari masing-masing FADH₂ yang dikirim dari glikolisis dan siklus Krebs. Menambahkan jumlah molekul ATP dihasilkan dari glikolisis (2) dan jumlah yang dihasilkan dalam asam sitrat.



Total ATP yang dibentuk dari proses glikolisis dari karbohidrat sebesar 36-39 ATP.

Table 2-2. Total Adenosine Triphosphate (ATP) Formed from Carbohydrate during Aerobic Metabolism ^a		
Glycolysis	ATP From Glucose	ATP From Glycogen
Phosphorylation of glucose	-1	0
Phosphorylation of fructose-6-phosphate	-1	-1
Production at two steps in glycolysis	+4	+4
Two molecules of NADH to electron transport chain (ETC)	+6	+6
Pyruvate to Acetyl-CoA		
Two molecules of NADH to ETC	+6	+6
Krebs cycle		
Production from guanosine triphosphate	+2	+2
Six molecules of NADH to ETC	+18	+18
Two molecules of FADH ₂ to ETC	+4	+4
Total	+38	+39

^aCalculations assume 3 ATP per NADH and 2 ATP per FADH₂.

Anaerobic metabolism

Pada aerobic metabolism NADH membutuhkan oksidasi dalam proses glikolisis didalam mitokondria. Jika oksigen tidak tercukupi NADH masih dapat teroksidasi melalui proses anaerobic metabolism (fermentasi) untuk memenuhi energi dalam waktu singkat. Fermentasi melengkapi glikolisis dan memungkinkan untuk produksi ATP terjadi tanpa adanya oksigen. Dengan mengoksidasi NADH yang diproduksi dalam glikolisis, fermentasi akan meregenerasi NAD^+ dan dapat mengambil alih glikolisis satu kali lagi untuk menghasilkan lebih banyak ATP. Otot meregenerasi NAD^+ dari NADH dengan reaksi oksidasi dan pengurangan piruvat. Jalur fermentasi menghasilkan NAD^+ yang diperlukan untuk menerima electron dari glukosa, memungkinkan untuk melanjutkan proses glikolisis. Produk dari pengurangan piruvat bervariasi dengan organisme. Dalam ragi, piruvat mengalami konversi menjadi etanol, reaksi yang digunakan oleh pembuat anggur selama ribuan tahun. Pada manusia, produk adalah kutukan dari banyak atlet adalah asam laktat.

Produksi asam laktat selama latihan dirasakan sebagai rasa sakit dan kelelahan otot oleh atlet. Asam laktat membatasi durasi aktivitas anaerobik karena penurunan pH yang menghambat salah satu enzim kunci dalam glikolisis. Oleh karena itu, metabolisme anaerobik tidak dapat dipertahankan selama lebih dari satu atau dua menit sebelum glikolisis berhenti.

Asam laktat yang diproduksi di otot umumnya bergerak dalam aliran darah ke hati, di mana ia akan diubah kembali menjadi glukosa selama periode pemulihan setelah latihan (proses daur ulang) atau disebut dengan siklus Cori. Oksigen yang diperlukan dalam metabolisme aerobik akan menghasilkan ATP yang diperlukan untuk menyalakan siklus Cori disebut "utang oksigen", sehingga akan menyebabkan periode napas berat (terengah-engah) setelah ledakan aktivitas anaerobik.

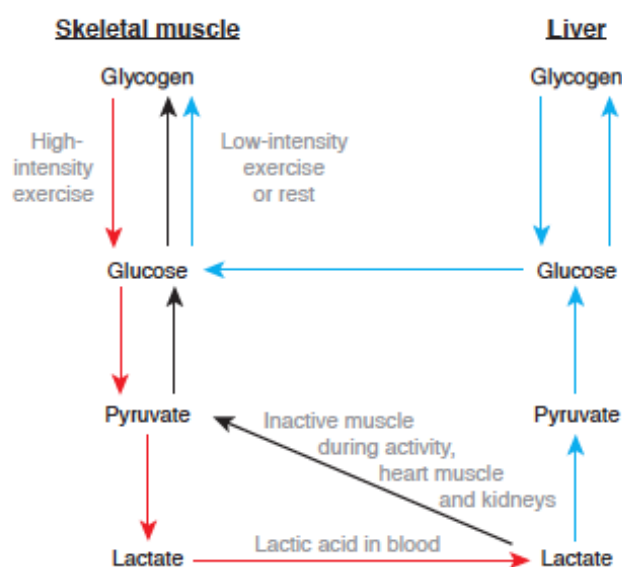
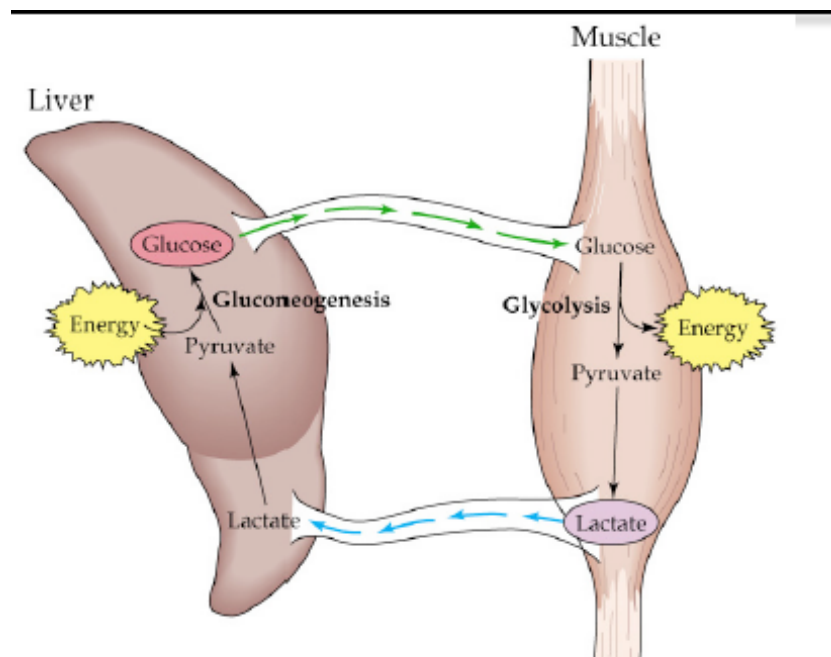


Figure 2-17. A simplified version of the steps of the Cori cycle and lactate shuttle hypothesis is presented. The red arrows indicate lactic acid production due to high intensity exercise. The blue arrows indicate lactic acid following the Cori cycle. The black arrows indicate lactic acid following the lactate shuttle hypothesis (other than the Cori cycle).

Produk alternatif dari asam laktat akan dioksidasi kembali ke piruvat, yang kemudian dapat sepenuhnya teroksidasi selama respirasi seluler jika oksigen yang cukup tersedia. Ini adalah alasan kimia di balik periode "pendinginan" setelah latihan yang berat. Jogging yang lambat dapat membakar asam laktat, membersihkannya dari otot untuk mencegah nyeri setelah latihan yang berat. Jantung sangat baik dalam menggunakan asam laktat, membantu membersihkannya dari aliran darah dan otot.

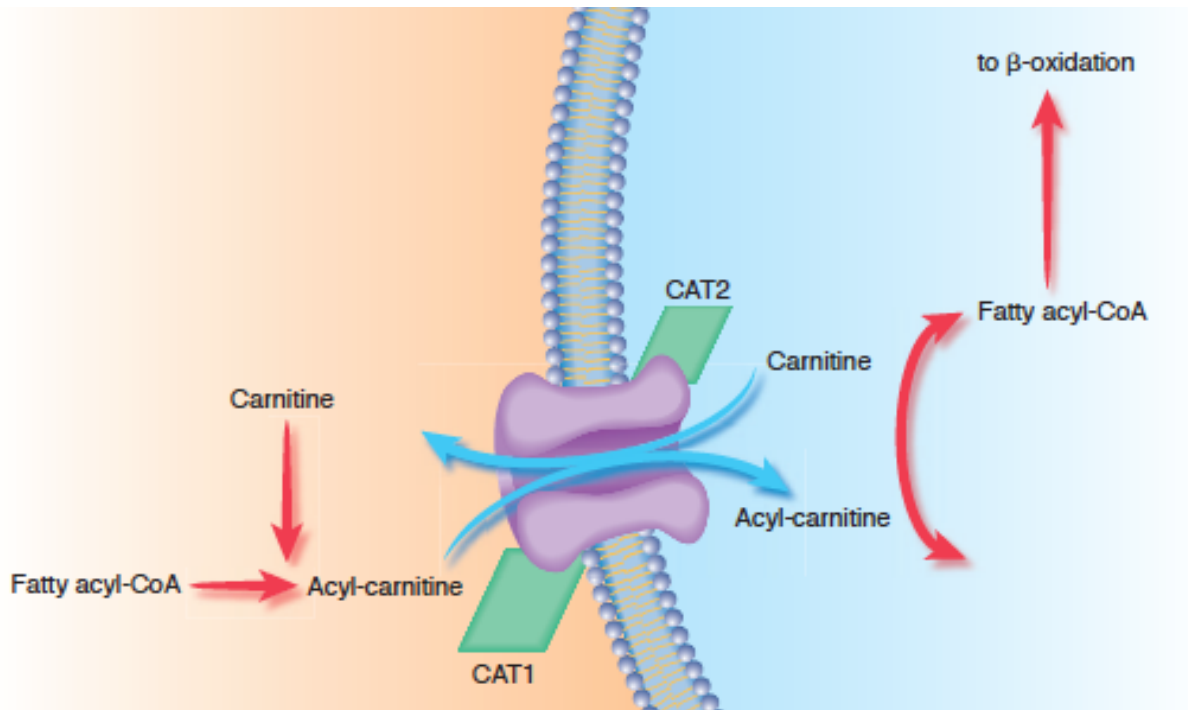


Gambar 8. Selama metabolisme anaerobik, asam laktat (alias laktat) dihasilkan dari glukosa. Laktat dikirim melalui aliran darah ke hati, yang mendaur ulang kembali ke glukosa dalam jalur yang membutuhkan energi yang disebut glukoneogenesis.

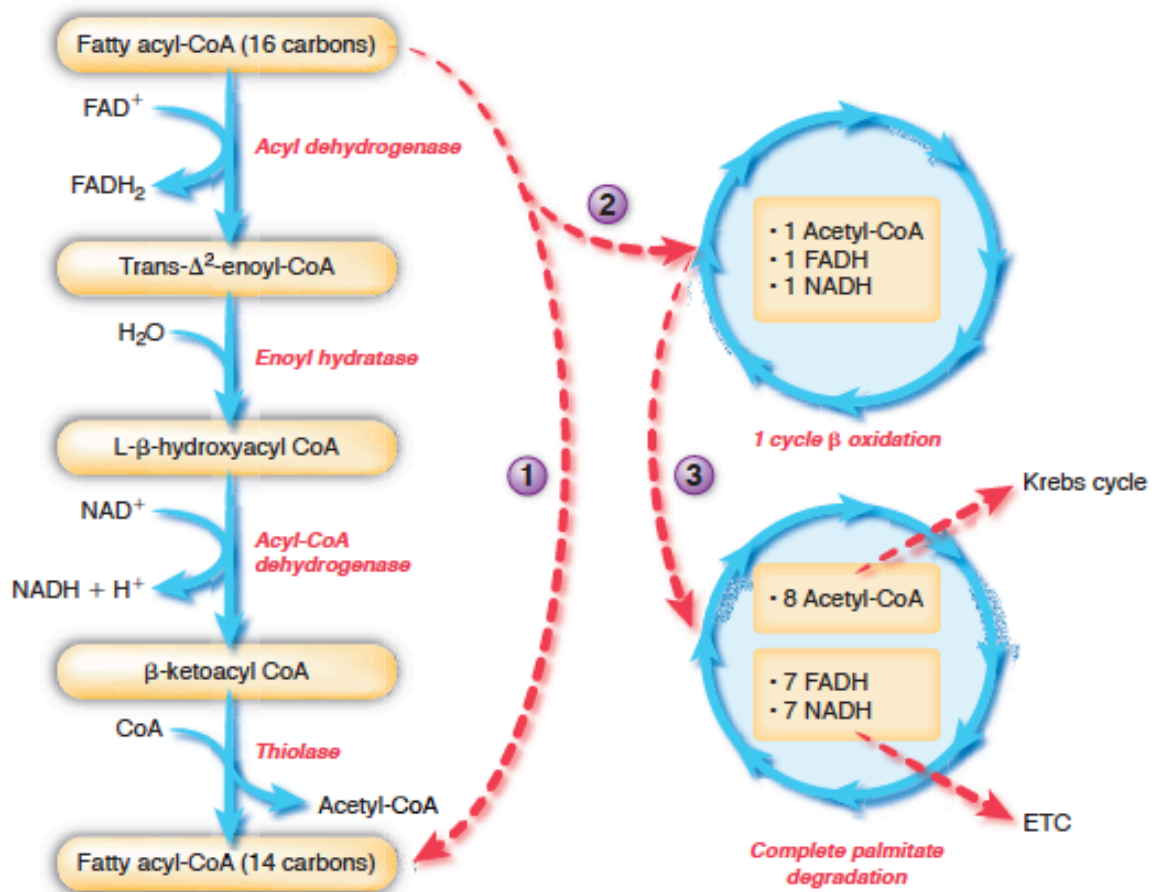
Metabolism Lemak

Individu rata-rata memiliki cukup lemak yang tersimpan hingga sekitar dua bulan tanpa makan. Ingat bahwa lemak disimpan terutama di sel-sel lemak (adipocytes). Sel-sel ini mengirim asam lemak ketika mereka menerima sinyal hormonal bahwa gula darah tubuh telah turun (hormon glukagon) atau bahwa tubuh membutuhkan energi untuk melawan atau terbang (hormon adrenalin).

Selama berolahraga, dibutuhkan sekitar 20 menit agar lemak dikirim keluar dari adiposit dan mencapai otot rangka dan jantung. Setelah asam lemak mencapai sel targetnya, lemak harus memasuki mitokondria untuk dipecah menjadi energi. Sistem transportasi khusus, yang disebut **karnitin** akan membawa asam lemak ke mitokondria, di mana lemak akan dipecah menjadi dua fragmen karbon dan melekat pada koenzim A untuk membentuk asetil-KoA yang disebut dengan **beta oksidasi**. Asetil-KoA kemudian dapat memasuki siklus Krebs dan menjalani proses oksidasi lengkap. Karena siklus Krebs bergantung pada ETC untuk mengoksidasi NADH dan FADH₂, lemak tidak dapat dimetabolisme untuk energi kecuali ETC beroperasi. Dengan kata lain, harus ada oksigen yang cukup untuk lemak yang akan digunakan sebagai bahan bakar; mereka tidak dapat dimetabolisme secara anaerob.



Gambar 9. Karnitin membawa asetil CoA masuk kedalam mitokondria



Gambar 10. Proses beta oksidasi didalam mitokondria, 1. Acyl CoA lemak dari 16 karbon dikatalisis oleh enzim menjadi 14 karbon, 2. Setiap satu kali proses beta oksidasi akan memproduksi satu Acetyl-CoA, satu FADH, & satu NADH, 3. Degradasi asam lemak yang dioksidasi didalam otot akan menghasilkan 8 acetyl-CoA, 7 FADH, & 7 NADH.

Setiap oksidasi lengkap beta-oksidasi menghasilkan delapan acetyl-CoA, tujuh NADH + H⁺, dan tujuh FADH₂ molekul. Setiap asetil-KoA memasuki siklus Krebs dan menghasilkan tiga NADH + H⁺, satu molekul FADH₂, dan satu molekul ATP melalui fosforilasi substrat. Mempertimbangkan bahwa setiap NADH + H⁺ menghasilkan tiga molekul ATP, dan masing-masing FADH₂ menghasilkan dua molekul ATP, produksi ATP bersih dari pembawa elektron yang dihasilkan selama beta-oksidasi adalah 35 ATP ((7 × 3 NADH + H⁺) + (7 × 2 ATP dari FADH₂)).

Tabel 1. Jumlah ATP yang dihasilkan dari Lemak

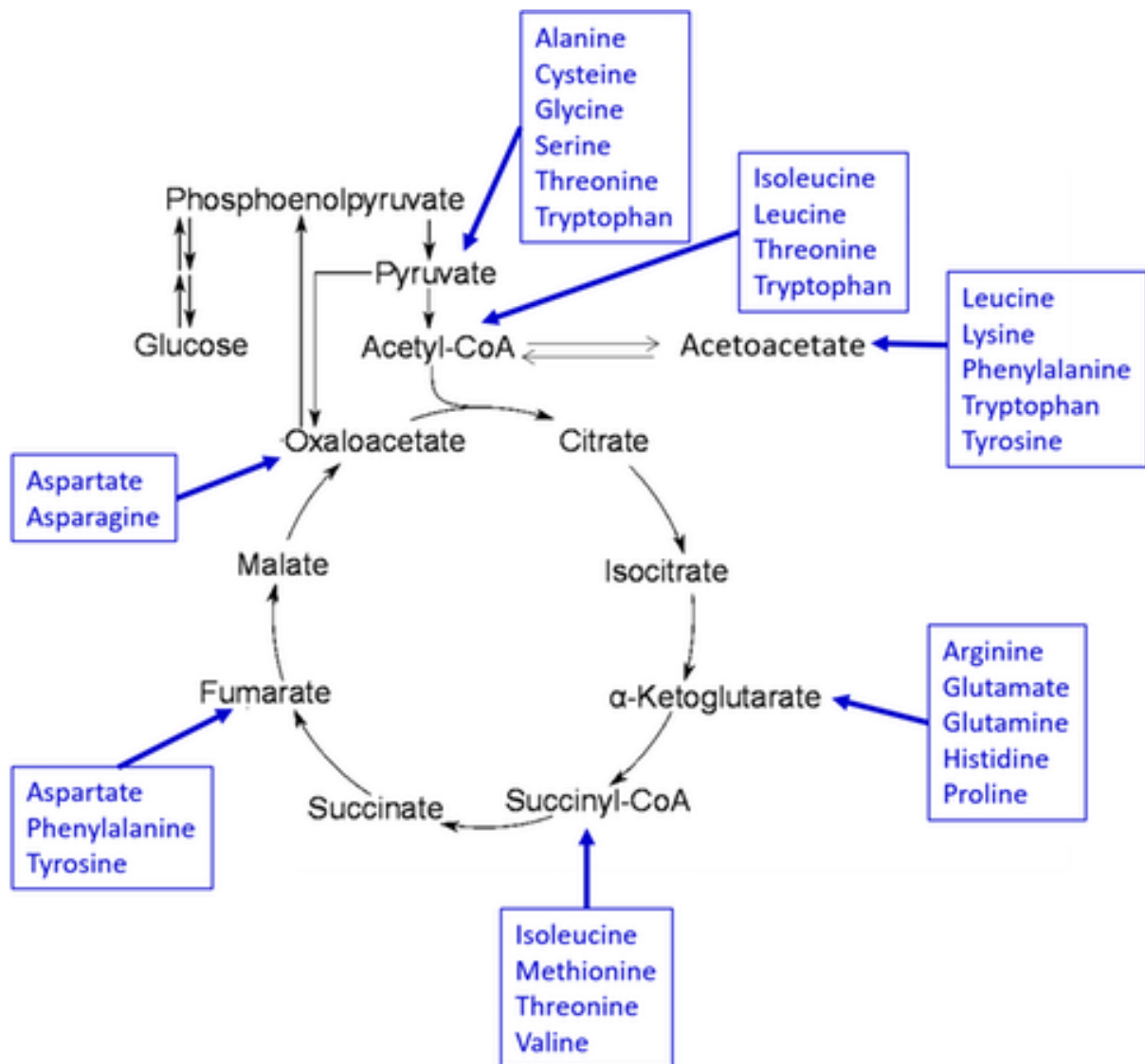
SOURCE	NO. OF ATP
• Fatty acid activation	-2 ATP
• Beta-oxidation: 7 cycles producing 7 NADH + H ⁺	21 ATP
• Beta-oxidation: 7 cycles producing 7 FADH ₂	14 ATP
• 8 turns of Krebs cycle: (eight Acetyl-CoA) = 24 NADH + H ⁺	72 ATP
• 8 turns of Krebs cycle: (eight Acetyl-CoA) = 8 FADH ₂	16 ATP
• 8 turns of Krebs cycle: Substrate phosphorylation	8 ATP
Total:	129 ATP

METABOLISME PROTEIN

Meskipun kita tidak memiliki simpanan protein, protein hadir di banyak sumber makanan. Setelah mereka dipecah menjadi asam amino penyusunnya, otot dan hati kita dapat menggunakannya sebagai bahan bakar. Dalam beberapa keadaan asam amino dipecah menjadi intermediet siklus Krebs atau menjadi asetil-KoA, yang kemudian memasuki siklus Krebs. Seperti halnya lemak, asam amino bergantung pada siklus asam sitrat untuk dioksidasi sepenuhnya, sehingga mereka hanya dapat dimetabolisme dalam kondisi aerobik.

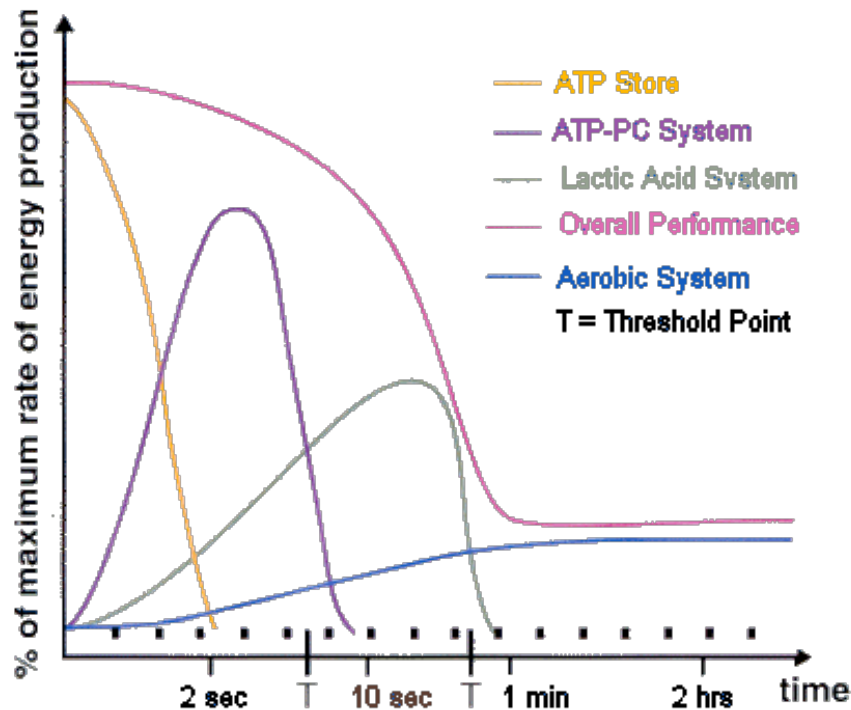
Sebelum asam amino apa pun dapat memasuki siklus asam sitrat untuk digunakan sebagai bahan bakar, gugus amino (-NH₃) harus dihilangkan. Ini terjadi di hati, yang mengubah NH₃ menjadi molekul urea (CH₄N₂O) untuk ekskresi, karena amonia itu sendiri beracun.

Menariknya, hati tidak memiliki enzim yang tepat untuk memecah satu kelompok asam amino, rantai cabang asam amino (leucine, isoleucine, dan valine). Di sisi lain, bukan hanya otot yang dapat menggunakan asam amino ini untuk energi, tetapi ada juga beberapa bukti yang menunjukkan bahwa rantai cabang asam amino, terutama leusin dapat mengurangi kerusakan otot selama latihan.



Gambar 11. Asam amino dipecah untuk masuk kedalam metabolisme aerob didalam siklus krebs untuk diubah menjadi piruvat melalui siklus asam sitrat

Berdasarkan penjelasan produksi energi ini disimpulkan bahwa ATP dan phosphocreatine adalah sumber energi pertama untuk bahan bakar otot selama aktivitas fisik tetapi sangat cepat habis. Kemudian diikuti oleh glukosa yang terdegradasi oleh glikolisis dan kemudian difermentasi (metabolisme anaerobik) atau siklus Krebs / ETC (metabolisme aerobik). Akhirnya, proses anaerobic metabolism akan diubah dalam aktivitas aerobic metabolism yang berkelanjutan, lemak dan asam amino dimetabolisme secara aerobik tetapi hanya memberikan kontribusi kecil terhadap kebutuhan energi olahraga.



Gambar 12. Otot memiliki ATP dalam jumlah kecil yang digunakan dalam beberapa detik. Phosphocreatine (PC) dengan cepat membentuk lebih banyak ATP tetapi digunakan dalam waktu sekitar 10 detik. Metabolisme glukosa anaerobik (sistem asam laktat) bekerja dengan cepat tetapi dimatikan dalam satu atau dua menit karena pengasaman otot. Metabolisme glukosa aerobik, lemak, dan asam amino lebih lambat tetapi dapat bertahan selama berjam-jam.

D. Keuntungan metabolisme anaerob dengan aerob

Metabolisme anaerobik dari sebuah molekul glukosa menghasilkan ATP (2 molekul) yang jauh lebih sedikit daripada metabolisme aerobik (total 30 molekul). Sementara metabolisme anaerobik mungkin tampak sebagai jalur yang tidak efisien dalam hal produksi energi, masing-masing jalur memiliki kelebihannya sendiri.

Metabolisme anaerobik memiliki keuntungan yang berbeda dari proses yang sangat cepat tanpa adanya oksigen. Bagi pelari cepat, pelempar, dan atlet kekuatan lainnya, ini adalah jalur yang dibutuhkan untuk menyediakan energi guna menggerakkan otot-otot mereka. Selama tolakan/ledakan otot terjadi, oksigen tidak dapat masuk ke jaringan dengan cepat untuk proses oksidasi. Semua piruvat yang dihasilkan akan meregenerasi NAD^+ yang diperlukan untuk glikolisis. Ketika NAD^+ habis, proses fermentasi aktif dan mengubah NADH menjadi NAD^+ dan piruvat menjadi asam laktat. Namun, karena asam laktat menghambat glikolisis, aktivitas anaerobik tidak dapat dipertahankan untuk waktu yang lama. Hanya dalam satu atau dua menit, otot tidak dapat menghasilkan ATP lagi dan mencapai tingkat kelelahan.

Metabolisme aerobik mengoksidasi glukosa sepenuhnya untuk mendapatkan jumlah maksimum energi yang mungkin. Bagi atlet daya tahan, ini adalah jalur yang menyediakan ATP dan diperlukan sampai terjadi mobilisasi lemak untuk memproduksi energi. Dengan demikian, metabolisme aerobik sangat efisien dan dapat berjalan pada glukosa dan lemak. Namun, oksigen yang cukup harus dikirim ke otot-otot bagi mereka untuk melakukan metabolisme aerobik.

E. Ambilan Oksigen Maksimum

Faktor penting dalam menentukan tingkat metabolisme aerobik dapat dilanjutkan adalah melihat kapasitas VO₂ max, atau tingkat maksimum pengambilan oksigen oleh otot. Individu dengan kemampuan yang lebih besar untuk menggunakan oksigen dalam mengoksidasi bahan bakar seperti glukosa menjadi karbon dioksida, lebih mampu mempertahankan tingkat kerja yang lebih tinggi tanpa bergantung pada jalur anaerobik yang kurang efisien. Penyerapan oksigen adalah salah satu batas fisiologis untuk meningkatkan kinerja dengan pelatihan.

VO₂ max, diukur dalam mililiter oksigen per menit per kilogram massa tubuh, merupakan indikator penting dari kemampuan untuk latihan jangka panjang. Untuk latihan/pertandingan yang dilakukan di bawah kondisi aerobik, dimana oksigen dapat membatasi kecepatan. Karena oksigen dibawa ke jaringan oleh protein hemoglobin dalam sel darah merah. Factor penentu VO₂ maks termasuk hematokrit (persentase sel darah merah dalam volume darah), jumlah kapiler di sekitar sel otot, dan volume darah dipompakan oleh hati. Selain itu, jumlah mitokondria mempengaruhi proses respirasi selular yang juga menentukan seberapa efisien otot menggunakan oksigen untuk membakar bahan bakar. Umumnya, peningkatan kebugaran kardiovaskular secara keseluruhan melalui pelatihan reguler mengarah pada peningkatan VO₂ maks individu.

F. Tekanan Laktat

Asam laktat diproduksi oleh otot yang bekerja dan dilepaskan ke dalam aliran darah untuk diangkut ke hati. Saat intensitas latihan meningkat, biasanya hanya sedikit peningkatan konsentrasi asam laktat darah pada awalnya karena jaringan lain dapat membakarnya untuk energi, seperti jantung dan hati dalam proses daur ulang. Setelah intensitas mencapai tingkat tertentu jumlah asam laktat dalam darah meningkat secara dramatis. Titik peningkatan mendadak disebut Ambang Laktat, juga dikenal sebagai Ambang Anaerobik, dan mewakili titik dimana melatih otot akan melepaskan asam laktat lebih cepat daripada jaringan lainnya. Biasanya, ini terjadi pada intensitas sekitar 80% VO₂max. Pentingnya ambang laktat adalah hal ini berkorelasi dengan intensitas latihan yang dapat dipertahankan untuk waktu yang lama. Latihan dengan intensitas lebih tinggi akan cepat mengalami kelelahan karena terjadi pengasaman otot, yang mengarah pada penutupan glikolisis dan kurangnya produksi energi.

G. Pengaturan hati dalam metabolisme

Hati memainkan peran penting dalam metabolisme, terutama untuk atlet. Dua dari banyak fungsi hati adalah sintesis molekul penting yang digunakan di tempat lain untuk mendukung homeostasis (proses dimana tubuh mempertahankan keseimbangan) dan pengolahan produk limbah. Kerusakan pada hati, yang dapat disebabkan oleh cedera, bahan kimia seperti alkohol dan obat-obatan, atau penyakit, dapat menjadi bencana besar. Mari kita menyoroti beberapa fungsi utama dari pahlawan tanpa tanda tubuh.

H. Pengaturan Gula darah

Sangat penting bagi manusia untuk mempertahankan konsentrasi glukosa dalam darah dalam kisaran yang sempit, normal (sekitar 4 hingga 5 millimolar, atau 80 hingga 110 mg / dL, pada manusia). Pemeliharaan kadar gula darah normal dalam jangka waktu pendek (jam) dan panjang (hari ke minggu) adalah fungsi utama hati. Kelebihan glukosa memasuki darah setelah makan dengan cepat diambil oleh hati dan diasingkan sebagai glikogen polimer. Kemudian, ketika gula darah mulai menurun, hati memecah glikogen dan mengirim glukosa kembali ke dalam darah untuk diangkut ke semua jaringan lain. Ketika cadangan glikogen hati menjadi habis, setelah beberapa jam berpuasa atau beberapa jam latihan, hati membuat glukosa keluar dari asam amino dalam proses yang disebut glukoneogenesis. Glukoneogenesis juga berkontribusi pada pembersihan asam laktat melalui Siklus Cori yang disebutkan sebelumnya dalam bab ini. Dengan demikian, meskipun siklus lapar-makan, hati biasanya mampu menyangga gula darah dalam kisaran yang cukup sempit dengan menyerap glukosa setelah makan dan mengirim glukosa kembali ke aliran darah selama berpuasa.

KESIMPULAN

Proses pembentukan energi dibagi menjadi 5 elemen yaitu reaksi berganda (coupled reaction), enzim, reaksi oksidasi-reduksi, substrat & product, dan shuttles & transporter. Energi dilepaskan melalui panas/kalor. Bentuk energi dalam tubuh berupa ATP yang dipecah menjadi adenosin diphosphate, fosfat inorganic, dan hydrogen. Pembentukan ATP yang habis ketika latihan menggunakan tiga cara yaitu system phosphagen (ATP-PC) dan glikolisis, metabolisme aerob dan metabolisme anaerob.