
ADAPTASI METABOLIK PADA LATIHAN

Oleh : Widiyanto

Dosen Jurusan Pendidikan Kesehatan dan Rekreasi FIK UNY

Abstract

Adaptation ability is the main characteristic of the metabolic system and body-system in general. In the Physiology, exercises dealing with the change that happens in a system, an organ, or a cell during the exercise as a response. The long-term change that happens as a result of continuous exercise is usually called adaptation.

Metabolic and morphologic changes happen when the exercise is done during several days or weeks. The occurrence of the metabolic change depends on the type of the exercise and the use of the pre-dominant energy-system. The change that occurs because of the aerobic and anaerobic exercise will show the different result, both functionally and structurally.

Keywords: Adaptation, exercise.

PENDAHULUAN

Dalil dasar dalam setiap program latihan adalah mengetahui sistem metabolisme energi yang utama digunakan atau yang lebih dikenal dengan sistem dominan. Selanjutnya dengan sistem tambah beban, merencanakan program latihan yang meningkatkan sistem energi yang digunakan tersebut dibandingkan dengan sistem metabolisme energi lainnya. (Fox, Etc, 1993)

Energi berasal dari makanan yang mengandung karbohidrat, lemak dan protein.. Kalau kita makan, maka tujuannya selain untuk menghilangkan lapar yang terpenting adalah untuk pertumbuhan, sebagai sumber energi, dan mengganti sel-sel yang rusak. Kita dapat membuat energi itu sendiri. Pada dasarnya semua energi berasal dari matahari, dimana energi dari matahari oleh tumbuhan hijau diubah menjadi energi kimia.



Dalam latihan terjadi perubahan energi kimia menjadi energi mekanik. Oleh karena itu dalam latihan harus mengetahui persediaan energi kimia, kapan energi kimia tersebut diperlukan, bagaimana proses penyediaannya dan dimana energi tersebut berasal dan disimpan. Dan kesemuanya menyangkut sistem metabolisme energi dalam tubuh.

METABOLISME

Metabolisme adalah jumlah keseluruhan reaksi kimia dan fisik dan pengubahan energi dalam tubuh yang menopang dan mempertahankan kehidupan (Sloane, 2004). Metabolisme dalam tubuh memungkinkan sel melangsungkan kehidupannya (Gayton, 1997). Metabolisme dapat dibagi menjadi 2 katagori, yaitu anabolisme dan katabolisme. *Anabolisme* adalah merupakan proses sintesis molekul kompleks dari molekul sederhana, dan *katabolisme* adalah pemecahan atau penguraian molekul kompleks besar menjadi molekul sederhana yang lebih kecil (Pocock, 2004).

Anabolisme meliputi reaksi-reaksi kimia untuk membentuk kompleks molekul yang diperlukan untuk pertumbuhan dan mempertahankan kehidupan yang disintesis dari zat yang lebih simple disertai dengan penggunaan energi. Katabolisme meliputi reaksi-reaksi kimia molekul menjadi molekul yang berukuran kecil disertai dengan pelepasan energi. Reaksi Anabolisme dan katabolisme berlangsung dalam sel-sel tubuh secara bersamaan dan berkelanjutan. (Sloane, 2004).

Reaksi anabolic memerlukan masukan energi dalam bentuk ATP. Reaksi-reaksi tersebut menghasilkan (1) Pembentukan bahan yang diperlukan sel, misalnya protein structural sel atau produk sekretorik, atau (2) Simpanan, misalnya glikogen atau lemak dari kelebihan zat gizi yang tidak segera dipergunakan untuk energi atau bahan pembangun sel. Katabolisme di pihak lain, mencakup 2 tingkat penguraian (1) hidrolisis makro molekul organik sel menjadi subunit yang lebih kecil, seperti penguraian glikogen menjadi glukosa, (2) oksidasi subunit kecil, untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP (Sherwood, 2001)



ENERGI

Energi diperlukan untuk proses fisiologis yang berlangsung dalam sel-sel tubuh. Proses ini meliputi kontraksi otot, pembentukan dan penghantaran impuls syaraf, sekresi kelenjar, produksi panas untuk mempertahankan suhu, mekanisme transport aktif dan berbagai reaksi sintesis dan degradasi (Sloane, 2004).

Sumber energi tubuh berasal dari karbohidrat, lemak dan protein. Sumber energi ini dipakai oleh sel untuk membentuk sejumlah besar ATP dan ATP dipakai sebagai sumber energi untuk berbagai fungsi sel. (Gayton dan Hall, 2004).

Ada 6 bentuk energi : (1) Kimia, (2) mekanik, (3) panas, (4) cahaya (5) elektrik, dan (6) inti. Setiap energi dapat diubah dalam bentuk energi yang lain. Sebagai contoh saat aktivitas atau latihan, terjadi perubahan energi dari bentuk energi kimia menjadi energi mekanik. (Fox, Etc, 1993)

ATP (Adenosin Tri Phosphate)

Sebagaimana telah kita ketahui bahwa kita harus makan untuk dapat menyediakan energi yang diperlukan tubuh. Energi pada pemecahan bahan makanan tidak dapat langsung digunakan, tetapi energi tersebut harus diubah menjadi energi kimia berbentuk ATP. (Sloane, 2004)

ATP adalah senyawa fosfat yang berenergi tinggi yang menyimpan energi untuk tubuh. ATP terbentuk dari Nukleotida adenosin ditambah dengan gugus fosfat dalam ikatan yang berenergi tinggi. Hidrolisis ATP melepaskan satu fosfat menjadi ADP dan melepaskan energi. Pelepasan fosfat kemudian akan menjadi AMP melepaskan banyak energi. Energi yang dilepas dari katabolisme makanan dipakai oleh ADP untuk membentuk ATP sebagai simpanan energi. Sistem ATP-ADP adalah cara utama pemindahan energi dalam sel. (Sloane, 2004)

Peranan ATP sebagai sumber energi untuk proses biologis berlangsung secara madaur ulang. ATP terbentuk dari ADP dan Pi melalui proses fosforilasi dan oksidasi moleku penghasil energi. Selanjutnya ATP yang terbentuk dihidrolisis menjadi ADP dan Pi sekaligus melepaskan energi yang diperlukan oleh proses



biologis tersebut. Demikian seterusnya terjadi daur ulang ATP-ADP secara terus menerus. ATP juga dapat dibentuk 2 molekul ADP, yang menghasilkan ATP dan AMP. (Patellongi, dkk, 2000)

Bila satu senyawa fosfat dari ATP dilepaskan, maka akan keluar energi sebesar 7-12 Kcal. Energi dari pemecahan ATP inilah yang digunakan untuk energi untuk kontraksi otot, sistesa protein, tarnsport aktiv ion, dan untuk berbagai metabolisme.

Tabel 1. Pemakaian Energi Selama Berbagai Jenis Kegiatan Yang Berbeda Pada Pria Dengan Berat Badan 70 Kg.

Bentuk kegiatan	Kalori perjam
Tidur	65
Bangun, tetap berbaring	77
Duduk diam	100
Berdiri santai	105
Menanggalkan pakaian dan berpakaian	118
Menjahit	135
Mengetik cepat	140
Latihan ringan	170
Berjalan perlahan	200
Pekerjaan tukang kayu, logam, pengecatan industri	240
Latihan aktif	290
Latihan berat	450
Menggergaji	480
Berenang	500
Berlari (5.3 mil per jam)	570
Latihan sangat berat	600
Berjalan dengan cepat	650
Menaiki tangga	1100

Dikutip dari Gayton dan Hall, hal 1136

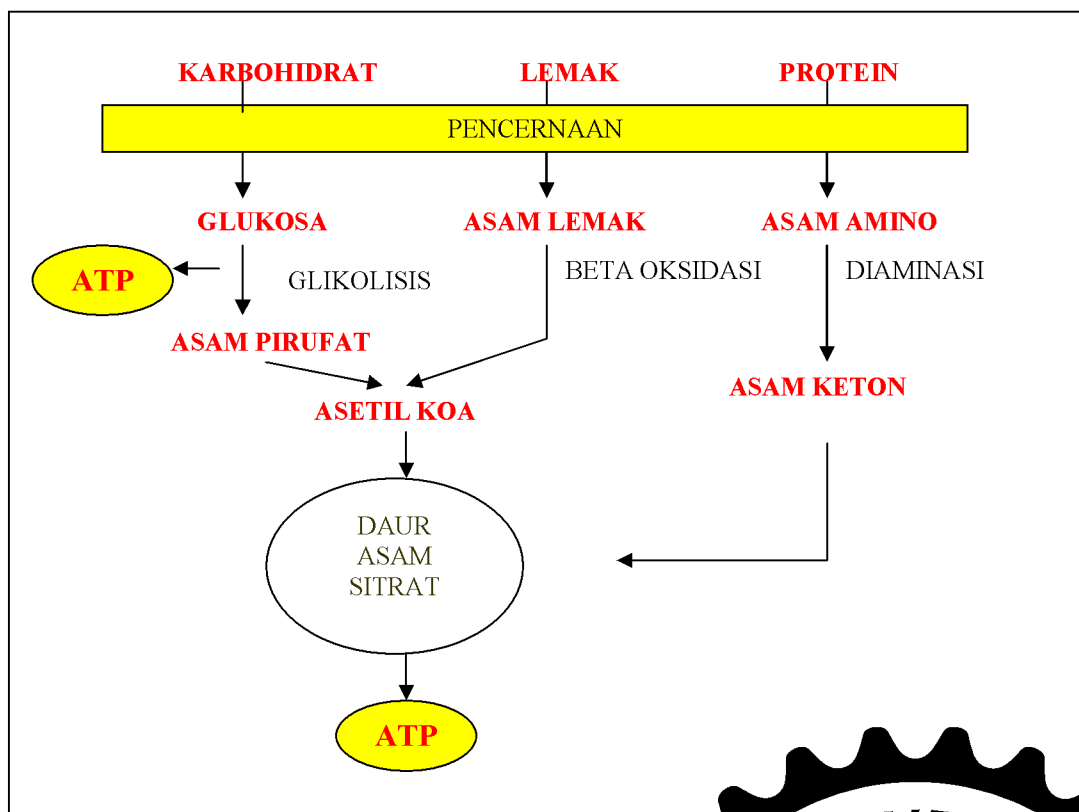
SUMBER ATP

Terdapat 3 proses yang dapat menghasilkan ATP : (1) ATP-PC atau sistem phospatagen. Pada sistem ini energi di sintesis dari ATP yang berasal dari Posfokreatin (PC). (2) Aanarobik Glikolisis, atau sistem asam laktat, menyediakan



ATP dari degradasi parsial dari glikogen atau glukosa. (3) Sistem oksigen. dari proses oksidasi karbohidrat dan beta oksidasi dari asam lemak dan protein. Pada sistem oksigen mengalami reaksi oksidasi melalui siklus krebs. Energi yang berasal dari pemecahan makanan dan energi pemecahan PC digunakan untuk mensintesis ATP dari ADP. (Fox, Etc, 1993).

Gambar . Pembentukan ATP dari bahan baku karbohidrat, lemak dan protein serta oksigen (Fox, Etc, 1993).



METABOLISME AEROBIK DAN ANAEROBIK

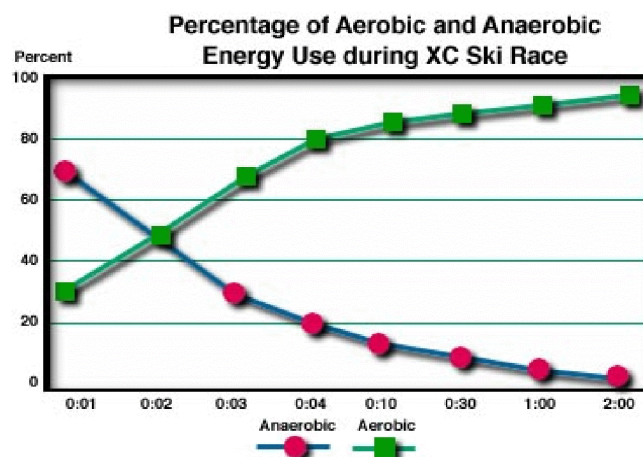
Metabolisme aerobik adalah metabolisme energi yang dapat dihasilkan dari makanan dengan metabolisme oksidatif, yaitu dengan menggunakan oksigen. Sedangkan Metabolisme anaerobik bila energi dihasilkan tanpa disertai dengan pemakaian



oksigen. Karbohidrat merupakan sumber makanan satu-satunya yang bermakna yang dapat dipakai sebagai sumber energi tanpa menggunakan oksigen. Pelepasan energi terjadi selama proses glikolitik dimana glikogen dipecah menjadi asam piruvat (Gayton dan Hall, 2004).

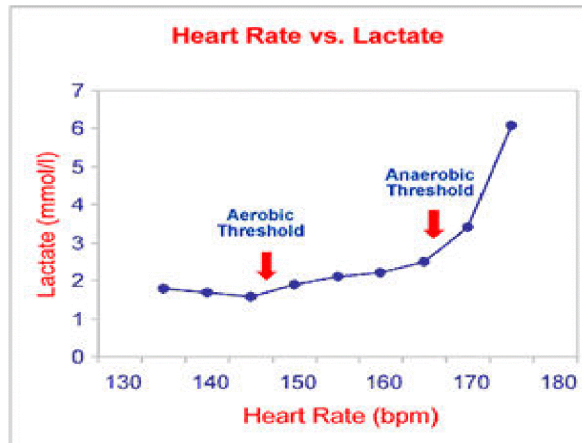
Jika energi ATP yang diperlukan untuk aktivitas seluler lebih besar daripada yang dihasilkan oleh metabolisme oksidatif, cadangan fosfokreatin yang pertama digunakan dan kemudian diikuti dengan cepat oleh pemecahan glikogen anaerobik dan menghasilkan sisa asam laktat.

Metabolisme oksidatif tidak dapat menghasilkan energi yang sangat besar ke sel secepat proses anaerobik, tetapi sebaliknya pada penggunaan dengan kecepatan yang lebih lambat, secara kuantitatif proses oksidatif hampir tidak pernah habisnya. (Gayton dan Hall, 2004).



Gambar 2. Contoh persentase energi aerobik dan anaerobik pada latihan. (btc.montana.edu).





Gambar 3. Kadar asam laktat pada latihan aerobik dan anaerobik. (btc.montana.edu)

SISTEM METABOLISME ENERGI PADA OTOT

Untuk memenuhi kebutuhan energi untuk kerja otot baik kontraksi maupun relaksasi, otot menyimpan sejumlah ATP dan mempunyai sistem dalam membentuk kembali ATP yang telah terpakai. Diantara sel-sel yang lain, sel otot merupakan sel yang paling banyak menimbun ATP, walaupun jumlahnya sangat terbatas.

ATP yang tertimbun dalam otot sekitar 4-6 milimol/kg otot. ATP tersebut hanya cukup untuk aktivitas cepat dan berat selama 3-8 detik. Oleh karena itu bila aktivitas terjadi lama perlu pembentukan ATP kembali. Proses pembentukan kembali ATP terjadi 3 cara, 2 proses terjadi secara anaerobik : (1) Sistem ATP-PC (sistem fosfatagen) dan (2) Sistem glikolisis anaerobik (sistem asam laktat), dan 1 proses terjadi secara aerobik, yaitu sistem aerobik dimana meliputi oksidasi karbohidrat dan lemak.

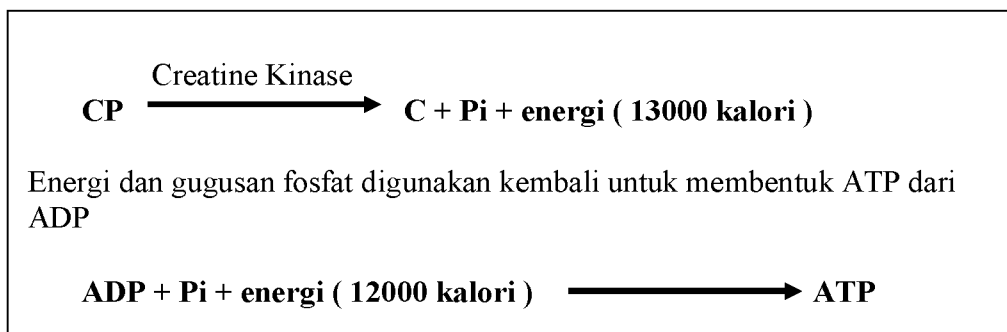
Sistem ATP-PC (Sistem Fosfatagen)

Sistem fosfatagen adalah suatu sistem penyediaan energi ATP yang berasal dari kreatin fosfat (PC) di dalam otot. Dengan enzim Kreatin kinase, PC dipecah menjadi fosfat dan kreatin dan selanjutnya fosfat diikat dengan ADP menjadi ATP. Pada saat kontraksi ATP dipecah menjadi ADP dan fosfat dikat kembali oleh kreatin menjadi kreatin fosfat (PC). (Fox dan Etc, 1991).



Kurang lebih Fosfokreatin 15–17 milimol tertimbun dalam otot per kilo gram. Bila PC terurai akan dilepaskan energi, dan fosfat segera didonorkan untuk membentuk ATP dari ADP atau AMP. Reaksi ATP dan PC dalam sel berlangsung sangat cepat. Pada saat ATP digunakan, segera PC terurai dan membebaskan energi. Pada kondisi standart energi dilepaskan sebesar 8300 kalori permol PC dan kondisi reaktan dan suhu tubuh normal 13000 kalori, lebih besar energi dari hidrolisis ATP sebesar 12000 kalori. (Patellongi dkk, 2000).

Kreatin fosfat jumlahnya sangat sedikit, sehingga cepat habis. Tetapi merupakan sumber energi yang tercepat untuk membentuk ATP kembali. Oleh karena itu sistem energi ini dapat digunakan secara cepat yang diperlukan pada aktivitas yang memerlukan kecepatan. (Fox dan Etc, 1991).



Kecepatan penyediaan energi ATP lewat sistem ini karena : (1) tidak bergantung pada reaksi kimia yang panjang, (2) Tidak tergantung pada transport oksigen dalam otot (tidak memerlukan oksigen), (3) ATP-PC tertimbun dalam mekanisme kontraksi otot. (Fox dan Etc, 1991)

Sistem Asam laktat (Sistem Glikolisis Anaerobik)

Glikolisis anaerobik memerlukan 12 macam reaksi kimiawi secara berurutan sehingga pembentukan energi melalui sistem ini berjalan lebih lambat dari pada sistem ATP-PC yang hanya 2 reaksi saja. Jadi kontraksi otot yang dihasilkan oleh sistem energi ini berlangsung cepat, lebih lambat dari sistem ATP-PC. Adapun ciri-ciri sistem glikolisis anaerobik adalah : (1) menyebabkan terbentuknya asam laktat



yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan dan kelelahan. (2) Tidak memerlukan oksigen, (3) hanya menggunakan karbohidrat (glukosa atau glikogen otot), (4) memberikan energi untuk resintesis beberapa molekul saja.

Apabila glukosa masuk dalam sel, maka molekul glukosa tersebut dengan serangkaian reaksi kimia diproses menjadi energi, yang disebut peristiwa glikolisis. Energi yang dikeluarkan digunakan untuk membentuk ATP kembali dan menghasilkan 3 ATP. Reaksi ini tidak efisien, karena dari 1 mol (180 gr) glikogen hanya membentuk 3 ATP sedangkan bila dengan pertolongan oksigen akan menghasilkan 39 mole ATP. Asam laktat yang terbentuk dari glikolisis akan menurunkan pH otot dan darah. Perubahan pH akan menghambat kerja enzim atau reaksi kimia dalam sel terutama dalam otot sendiri, sehingga menyebabkan kontraksi otot bertambah lemah dan menyebabkan kelelahan. (Fox Etc, 1991)

Sistem glikolisis anaerobik ini diperlukan pada aktivitas fisik yang berlangsung cepat dan berlangsung 1 s/d 3 atau 4 menit. Daya maksimal 1,6 mol ATP permenit. Dan kapasitas maksimalnya 1,2 mol ATP.

Sistem Aerobik

Sistem aerobik merupakan sistem pembentukan kembali ATP melalui fosforilasi oksidatif di mitokondria. Pengikatan kembali Pi dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh oksidasi substrat dari makanan penghasil energi (karbohidrat, lemak dan protein). (Patellongi dkk, 2000)

Untuk aktivitas ketahanan yang tidak memerlukan gerakan cepat, pembentukan ATP terjadi dengan metabolisme aerobik. Bila cukup oksigen 1 mole glikogen dipecah sempurna menjadi CO₂, H₂O dan sejumlah energi sebesar 39 mole ATP. Untuk reaksi tersebut diperlukan beratur-ratus reaksi kimia dengan beratur-ratus enzim.

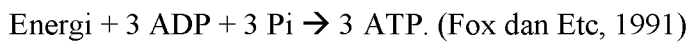
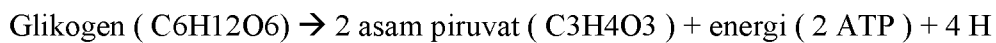
Metabolisme aerobik ini meskipun terjadi di otot, tetapi letaknya agak jauh dengan mekanisme kontraktile. Oleh karena itu pengaruhnya juga lebih lambat dan tidak dapat digunakan secara cepat. Reaksi aerobik terjadi di dalam mitokondria yang



terbagi menjadi : (1) glikolisis aerobik, (2) siklus kreb, (3) sistem transport elektron. (setiawan, 2002)

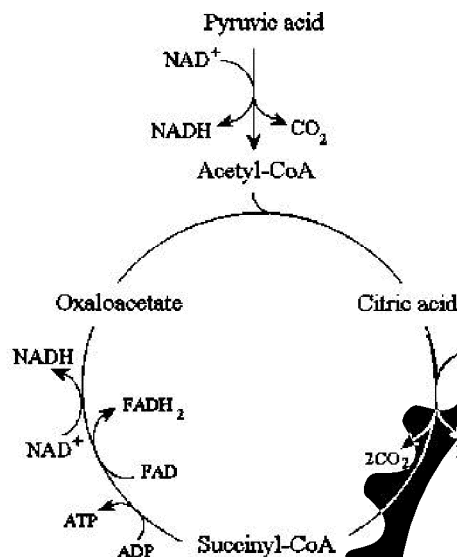
Glikolisis Aerobik

Seri perubahan permulaan, glikogen dipecah menjadi CO₂ dan H₂O sebagai glikolisis. Selama glikolisi aerobik, 1 gram glikogen dipecah menjadi 2 mol asam piruvat, dengan mengeluarkan energi untuk mesintesi kembali 3 mol ATP :



Siklus kreb

Pemecahan glukosa berikutnya adalah memecah 2 asam piruvat dengan pertolongan koenzim A menjadi acetyl A, CO₂ dan H (asam piruvat + coenzym A → Acetyl A + 2 CO₂ + 4H). Selanjutnya acetyl koenzim A masuk dalam siklus kreb (siklus asam sitrat atau asam trikarboksilat). Asam lemak aktif ini masuk ke dalam siklus oksidasi yang dinamakan beta oksidasi menjadi Acetyl coenzim A dan masuk dalam siklus kreb. Banyaknya ATP yang dihasilkan tergantung dari macam asam lemak. (Fox dan Etc, 1991)



Gambar 4. Siklus kreb. (library.thinkquest.org)



Sistem transpor elektron

Kelanjutan pemecahan glikogen adalah terbentuknya H₂O yang dihasilkan dari persenyawaan H⁺ yang terjadi dalam siklus kreb dan oksigen yang kita hirup. Rangkaian reaksi samapai terjadi H₂) disebut dengan sistem transport elektron dan reaksi ini terjadi di membran dalam dari metokondria. Waktu terjadi transport elektron di dalam rantai respirasi sejumlah energi dikeluarkan. Ion H⁺ dan elektron yang dihasilkan dari siklus kreb masuk kedalam sistem trasport elektron. Dalam sistem ini terjadi pembentukan H₂O dari reaksi enzimatik antara ion H⁺ dan oksigen serta pembentukan ATP.

Tabel 2 dan 3 membandingkan 3 sistem pembentukan energi. (Fox dan Etc, 1991)

Tabel 2. Sistem Penyediaan Energi Dalam Pembentukan ATP

SISTEM	BAHAN BAKU	KEBUTUHAN O ₂	KECEPATAN
Anaerobik ATP-PC	Fosfokreatin	Tidak	Tercepat
Asam Sitrat	Glikogen	Tidak	Cepat
Aerobik	Glikogen, lemak, dan protein	ya	Lambat

Tabel 3. Kapasitas Maksimal dan Power

SISTEM	MAXIMAL POWER (mole ATP/menit)	MAXIMAL CAPACITY (ATP yang tersedia)
ATP-PC	3,6	0,7
Asam Sitrat	1,6	1,2
Aerobik	1,0	90,0

METABOLISME AEROBIK DAN ANAEROBIK SELAMA ISTIRAHAT DAN AKTIVITAS FISIK (LATIHAN).

Terdapat 3 hal penting dalam metabolisme aerobik dan anaerobik yang harus diperhatikan selama istirahat dan latihan : (1) tipe makanan yang



dimetabolisme, (2) Peran relatif yang dimainkan oleh setiap sistem dan (3) adanya penumpukan asam laktat dalam darah. (Fox dan Etc, 1991)

Kita telah mengetahui bahwa makanan yang masuk dalam tubuh diubah dulu menjadi ATP sebagai sumber energi sel yang siap pakai. Jumlah ATP dalam tubuh terbatas, dan harus dibentuk kembali melalui 3 sistem yaitu sistem ATP-PC, asam laktat dan sistem aerobik. Pada gerakan yang sangat cepat ATP dibentuk dari sistem ATP-PC, gerakan cepat dari sistem asam laktat dan gerakan lambat dari sistem aerobik.

Penyediaan Energi Waktu Istirahat

Dalam kondisi istirahat sumber energi 2/3 diperoleh dari lemak dan 1/3 dari karbohidrat (glikogen dan glukosa). Sistem transport oksigen dalam kondisi istirahat dapat mensuplai oksigen pada setiap sel dengan oksigen yang cukup, sehingga ATP secara adekuat dapat dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan saat istirahat. Oleh karena itu penyediaan energi saat istirahat terutama melalui sistem aerobik. (Fox dan Etc, 1991)

Meskipun hanya sistem aerobik pada kenyataannya dalam darah terdapat asam laktat yang konstan (10 mg/100 ml). Asam laktat yang terdapat dalam darah ini berasal dari metabolisme anaerobik sel darah merah yang tidak memiliki mitokondria. Disamping itu juga kerja enzim lactic dehidrogenase yang mengubah asam piruvat menjadi asam laktat. Enzim lactic dehidrogenase ini berfungsi menjaga agar kadar asam laktat dalam darah tetap konstan. (Fox dan Etc, 1991).

Energi Waktu Latihan

Kontraksi otot tidak akan terjadi tanpa energi dari ATP. Miosin salah satu protein kontraktile yang penting dalam serat otot, bekerja sebagai enzim yang memecah ATP menjadi ADP, sehingga melepaskan energi yang diperlukan dalam kontraksi otot. Dalam keadaan normal hanya sejumlah kecil ATP yang dipecah



untuk kontraksi, dan kecepatan pemakaian ATP dapat 150 X lebih cepat dari saat istirahat. (Gayton dan Hall, 2004).

Pada umumnya latihan (olahraga) itu tidak murni menggunakan energi aerobik saja atau anaerobik saja tetapi biasanya terjadi campuran. Namun terdapat sistem energi dominan yang digunakan aerobik atau anaerobik. Peran relatif (energi dominan) selama latihan tergantung : (1) Jenis latihan, (2) keadaan latihan, (3) diet atlet. (Fox dan Etc, 1991)

Untuk Latihan jangka pendek, yang dipertahankan sampai 2 menit , seperti lari 50 s/d 800 atau olahraga yang lain. Sumber energi adalah anaerobik dominan. Pada awal gerakan sumber energi melalui ATP PC selama dan kemudian melalui sistem asam laktat.

Untuk Latihan jangka panjang, yang kontinyu dalam waktu 5 menit atau lebih seperti lari maraton energi dominannya adalah aerobik yang berasal dari karbohidrat dan lemak.

Tabel 4. contoh prosentasi penyediaan energi dominan aerobik dan anaerobik pada latihan/olahraga lari :

Jarak lari	Waktu	% aerobik	% anaerobik
100 m	10 detik	10	90
400 m	45 detik	25	75
1500 m	3 menit, 35 detik	55	45
5000 m	13 menit, 30 detik	85	15
Lari maraton	135 – 180 menit	95	5

(Fox dan Etc, 1991)

Pada beberapa latihan (olahraga) seperti sepak bola dan bulu tangkis terjadi secara tidak kontinyu. Aktivitas dapat terjadi cepat, lambat bahkan kadang diam, tetapi berlangsung dalam waktu yang lama. Pada latihan ini ATP-PC digunakan dan dibentuk kembali secara cepat. Penggantian ATP-PC terjadi secara aerobik. Karena oksigen yang cukup, dengan demikian asam laktat menjadi berkurang dan tidak terjadi penumpukan. Tetapi jika terjadi kerja seperti reli-reli panjang pada bulu tangkis maka



sistem asam laktat akan digunakan, karena terjadi stroke pada otot yang sama dan ini dapat menimbulkan kelelahan.

ADAPTASI METABOLIK PADA LATIHAN

Keseluruhan mekanisme yang bertanggungjawab terhadap peningkatan kekuatan dan ketahanan otot tidak sepenuhnya dimengerti. Ada beberapa perubahan metabolik dan morfologi bila latihan dilakukan selama beberapa hari atau beberapa minggu. Perubahan metabolik yang terjadi tergantung pada jenis latihan dengan pemakaian sistem energi predominannya. (Wilmore dan Costill, 1994)

Adaptasi pada latihan Aerobik

Pada latihan ketahanan yang dilakukan setiap hari, seperti jogging atau renang, timbul beberapa perubahan karena stimulus pada otot. Beberapa perubahan timbul pada otot dan sistem energi.

Adaptasi yang terjadi pada latihan Aerobik adalah :

1. Perubahan jenis serat otot

Karena pada latihan aerobik seperti jogging dan latihan dengan intensitas latihan rendah sampai sedang banyak menggunakan jenis otot *Slow twitch*, maka pada latihan aerobik terjadi perkembangan pada serat slow twitch (otot merah). Karena latihan 7%-22% serat otot *Slow Twitch* menjadi lebih besar dari pada serat otot *Fast Twitch*.

2. Perubahan suplai kapiler

Pada latihan ketahanan jumlah kapiler yang mensuplai pada setiap otot menjadi lebih banyak 5 – 10%, dan pada latihan yang lebih lama dapat meningkat sampai 15 % . Peningkatan jumlah kapiler ini memungkinkan pertukaran gas, panas, sisa metabolisme, dan nutrisi antara darah dan otot semakin besar. Hal ini menjaga produksi energi dan kontraksi otot yang berulang-ulang.

3. Perubahan kadar Myoglobin

Myoglobin berfungsi membawa oksigen dari membran sel ke mitokondria untuk metabolisme aerobik. Pada latihan ketahanan banyak memerlukan oksigen,



sehingga pada latihan ketahanan kadar myoglobin dapat meningkat 75 s/d 85 %. Dan myoglobin ini banyak terdapat pada serat otot *slow twitch* (ST).

4. Perubahan fungsi mitokondria

Pada latihan ketahanan juga mempengaruhi fungsi mitokondria, guna meningkatkan kapasitas serat otot untuk memproduksi ATP secara Aerobik. Kemampuan untuk menggunakan oksigen dan menghasilkan ATP tergantung pada jumlah, ukuran dan efisiensi pada mitokondria. Sehingga pada latihan ketahanan, jumlah dan ukuran mitokondria menjadi lebih besar.

5. Perubahan enzim oksidatif

Aktivitas enzim oksidatif meningkat pada latihan ketahanan. Peningkatan jumlah dan ukuran mitokondria disertai dengan peningkatan efisiensi mitokondria. Pemecahan bahan makanan secara oksidatif dan produksi ATP bergantung pada aksi enzim mitokondria. Salah satu enzim yang memegang kunci enzim oksidatif adalah Succinate dehydrogenase (SDH) selama latihan terjadi peningkatan.

6. Perubahan pada sumber energi

Pada latihan aerobik, sumber energi lebih banyak dan efisien menggunakan dari lemak. Dengan demikian memungkinkan penyimpanan glikogen pada hati dan otot. Pada orang yang terlatih (atlet) simpanan glikogen dalam otot lebih besar dari pada orang yang tidak terlatih, sehingga orang yang terlatih lebih tahan beraktivitas dan tidak cepat lelah. Pada orang yang terlatih juga menyimpan lebih banyak trigliserida dalam otot. Aktivitas enzim yang berperan dalam beta oksidasi yang memecah lemak yang kemudian menjadi energi juga meningkat pada latihan. Peningkatan reaksi beta oksidasi ini meningkatkan penggunaan lemak sebagai energi dan glikogen otot lebih banyak tersimpan. (Wilmore dan Costill, 1994)

Adaptasi pada latihan anaerobik

Latihan anaerobik meningkatkan ATP-PC dan enzim glikolitik, tetapi tidak mempengaruhi enzim oksidatif. Sebaliknya pada latihan aerobik meningkatkan enzim oksidatif tetapi tidak meningkatkan ATP-PC dan enzim glikolitik.



1. Peningkatan sistem ATP-PC

Meningkatnya kapasitas ATP-PC disebabkan oleh perubahan zat kimia, yaitu (1) meningkatkan tingkat penyimpanan ATP-PC pada otot, (2) meningkatkan enzim kunci dalam sistem ATP-PC. Pemecahan ATP dipermudah oleh enzim ATPase, sedangkan resintesis dipermudah dengan enzim miokinase dan kreatin phospo kinase (CPK).

2. Peningkatan Glikolisis anaerobik

Latihan mempunyai pengaruh yang cukup berarti pada glikolisis anaerobik, dengan perubahan pada enzim kunci yang mengontrol glikolisis. Sebagai contoh adalah enzim fosfofruktokinase yang sangat penting dalam reaksi awal glikolisis. Peningkatan enzim ini, akan mempercepat laju dan pemecahan glikogen menjadi asam laktat. (Wilmore dan Costill, 1994).

Kesimpulan

Pada umumnya latihan tidak murni menggunakan energi aerobik saja atau anaerobik saja tetapi biasanya terjadi campuran. Namun, terdapat sistem energi predominan yang digunakan aerobik atau anaerobik. Tidak semua pengaruh latihan dapat diharapkan dari satu program latihan. Pengaruh latihan merupakan kekhususan untuk tipe dari latihan yang digunakan, seperti pada program latihan aerobik atau anaerobik. Adaptasi yang terjadi pada latihan Aerobik adalah : (1) Perubahan jenis serat otot, (2) Perubahan suplai kapiler, (3) Perubahan kadar Myoglobin, (4) Perubahan fungsi mitokondria, (5) Perubahan enzim oksidatif, (6) Perubahan pada sumber energi. Adaptasi yang terjadi pada latihan Anaerobik adalah : (1) Peningkatan sistem ATP-PC, (2) Peningkatan Glikolisis anaerobik.



DAFTAR PUSTAKA

Costil, Wilmore (1994). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics. University of Texas at Austin.

Edward L. Fox, Etc, (1993), *The Physiological Basis For Exercise and Sport*, USA

Ethel Sloane, (2004). *Anatomi dan Fisiologi*, Jakarta:EGC Kedokteran,

Gayton & Hall (2002). *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Jakarta :EGC Kedokteran,

Gillian Pocock, (2004). *Human Physiology The basis Of medicine*, Oxford University Press. London.

Ilhamjaya Patellongi, dkk (2000). *Fisiologi Olah Raga*. Makasar. Bagian Ilmu Faal, Fakultas Kedokteran Universitas Hasanudin.

Jack H. Wilmore, (1994). *Physiology of Sport And Exercise*, Ball State University, Muncie, Indiana.

Lauralee Sherwood (2001). *Fisiologi Manusia dari Sel Ke Sistem*, Jakarta : EGC Kedokteran.

Soekarman, R. (1989). *Dasar-Dasar Olah Raga*. Jakarta: Inti Idayu Press.

..... (2007), retrife dari (btc.montana.edu/.../graphics/Aerobik.JPG)

l..... (2007), retrife dari ibrary.thinkquest.org/.../media/kreb_cycle.gif

..... (2007), retrife dari orgs.jmu.edu/.../Image135.gif

