

Pengadaan Buku Ajar
No. 056/PUNP/1999

SPORT MEDICINE



Oleh :

Drs. Bafirman HB, M.Kes

Editor :

Drs. Umar, M.S

FAKULTAS ILMU KEOLAHRAGAAN

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

DIP Universitas Negeri Padang

Nomor : 071/XXIII/008/4/-/1999

Tanggal : 1 April 1999

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan kurnia-Nya sehingga buku ajar "Sport Medicine" ini dapat diselesaikan.

Sport Medicine diperlukan untuk mengembangkan metode dan tiori latihan baik untuk meningkatkan kesegaran jasmani, apalagi untuk membina prestasi olahraga. Karena ruang lingkup Sport Medicine secara sederhana adalah mengkaji bagaimana usaha-usaha untuk peningkatan kemampuan kondisi fisik serta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Maksud pembuatan buku ajar ini adalah untuk membantu dan meningkatkan mutu pembelajaran bagi mahasiswa FIK-UNP. Mengingat terbatasnya bahan bacaan bagi mahasiswa yang tersedia diperpustakaan dan jumlahnya sangat terbatas, maka usaha yang dilakukan UNP untuk memperbanyak jumlah buku teks diperpustakaan sangat dihargai.

Materi yang tersedia di dalam buku ajar ini, mencerminkan garis besar isi silabus perkuliahan sport medicine di FIK-UNP. Karena itu, buku ajar ini terutama ditujukan bagi mahasiswa yang mengambil mata kuliah sport medicine, dan disamping itu dapat pula dipakai sebagai buku pegangan bagi guru pendidikan jasmani dan olahraga, pelatih, atlet dan masyarakat pengemar olahraga.

Akhirnya pada para pembaca penulis mohon masukan terhadap perbaikan buku ini, atas kritik dan sarannya penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Desember 1999

Penulis

Drs. Bafirman HB, M.Kes.

TINJAUAN MATA KULIAH

Sport Medicine adalah aplikasi ilmu kedokteran dan ilmu olahraga bertujuan meningkatkan derajat tingkat kebugaran jasmani dan kebugaran serta bagi atlet untuk memperbaiki kemampuan berprestasi. Sport Medicine meliputi ilmu lintas bidang, menyangkut; Anatomi, fisiologi, biokimia, psikologi, ilmu bedah, physiotherapi, kardiologi, ilmu gizi, dan lain-lain. Peran sport medicine dapat ditafsirkan sebagai suatu ilmu terapan yang berusaha memanfaatkan latihan fisik untuk tujuan peningkatan derajat kesehatan, dan sebaliknya memanfaatkan ilmu kesehatan untuk meningkatkan kebugaran jasmani dan prestasi.

Tujuan mata kuliah sport medicine adalah memberikan wawasan bagi mahasiswa tentang aktivitas fisik baik untuk kebugaran ataupun prestasi olahraga, bagaimana cara tubuh bekerja pada waktu latihan maupun pada saat pertandingan.

Garis-garis besar materi perkuliahan yang terkandung dalam buku ajar ini adalah mengkaji tentang sistem enersi pada olahraga, Kontraksi otot rangka, sistem kardiorespiratori dalam olahraga, latihan fisik, pemulihan, pengaruh latihan terhadap sistem biologis tubuh, koordinasi persyarafan dalam mekanisme kontraksi otot, aklimatisasi tubuh terhadap suhu dingin, problema wanita dalam melakukan olahraga, dan doping.

Sport medicine dalam prakteknya, merupakan penunjang dalam membentuk dan menyiapkan diri untuk berolahraga ataupun bagi atlet dalam mengikuti pertandingan, seperti:

- Siap segi kesehatan fisik dan mental

- Siap kapasitas fungsional organ, antara lain meliputi; kemampuan biomotorik, cukup beradaptasi dengan lingkungan, kecukupan gizi dan lain sebagainya.
- Mengatasi/menanggulangi kecelakaan olahraga, kelemahan mental/psikologis
- Melaksanakan rehabilitasi

Istilah sport medicine mulai tahun 1928 digunakan oleh Knoll W. dari Swiss dan Latarjet A. bersama dengan 33 dokter yang menanggapi Second Olympic World Game. Mereka membentuk panitia untuk mempersiapkan First International Congress of Sports Medicine yang diselenggarakan di Amsterdam, pada tahun itu juga bertepatan dengan Olympiade IX. Selanjutnya Federation Internationale de Medicine Sportive (FIMS) membentuk tugas sebagai berikut:

1. Untuk melakukan penelitian ilmiah dalam biologi, psikologi dan sosiologi yang berkaitan dengan olahraga.
2. Untuk meningkatkan peran medik dalam mengatasi problem medik yang terjadi baik pada latihan fisik maupun olahraga serta mengadakan kerjasama dengan berbagai International Sport Federation.
3. Untuk menyelenggarakan congress of Sport Medicine.

Makin hari perkembangan sport medicine bertambah luas dan bertambah mendalam. Semula perkembangan anatomi hanya meliputi antropometri dan kinesiology, sekarang meluas ke kinantropometri, ergometri, serta biomekanik. Perkembangan di bidang faal yang semula hanya exercise physiology sekarang diikuti oleh exercise endocrinology, exercise immunology, dan lain-lain.

Pemeriksaan kondisi fisik pada awalnya hanya didasarkan atas pemeriksaan indeks kesegaran jasmani, antropometri dan

dinamometri sekarang lebih menjurus ke pemeriksaan pristiwa kimia serta enzim. Arah perkembangannya sekarang ini adalah ke molekuler physiology atau lebih luasnya ke moleculer biology dan kemungkinan ke rekayasa genetik, dalam peningkatan prestasi olahraga.

Pengukuran faal dalam olahraga yang telah dilakukan antara lain adalah; aerobic power, anaerobic power, komposisi tubuh, neuromuskuler, waktu reaksi, kekuatan/ kecepatan/daya tahan otot lokal, kelentukan, sistem kardiovaskuler, sistem pernapasan dan lain-lain.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	ii
TINJAUAN MATA KULIAH	iii
DAFTAR ISI.....	vi
BAB I SISTEM ENERSI PADA OLAHRAGA	1
A. Mekanisme Pembentukan Enersi	2
B. Sumber Enersi Untuk Kontraksi Otot.....	6
C. Penggunaan Sistem Enersi.....	18
D. Sistem Enersi Predominan pada Berbagai Akti- vitas Olahraga.....	22
E. Pemupukan Karbohidrat (<i>Carbohydrate Loading</i>).	24
BAB II KONTRAKSI OTOT RANGKA.....	30
A. Struktur Otot Rangka	31
B. Macam Serabut Otot Rangka	35
C. Proses Kontraksi Otot	38
BAB III SISTEM KARDIOVASKULER PADA OLAHRAGA	42
A. Sistem Kardiovaskuler.....	43
B. Denyut Nadi	46
C. Tes dan Pengukuran Denyut Nadi Cadangan (<i>Heart Rate Reserve</i>).....	54
BAB IV LATIHAN FISIK	60
A. Latihan Berselang (<i>Interval Training</i>).....	62
B. Prinsip- Prinsip Dasar Latihan Fisik	65
C. Fase Latihan	68

	D. Beban Latihan.....	70
	E. Karakteristik Fisik Secara Fisiologik	72
	F. Perkembangan Tinggi dan Berat Badan	73
	G. Usia dan Masa Pembinaan Bibit Olahraga	74
BAB V	PEMULIHAN.....	77
	A. Pemulihan Cadangan Enersi.....	79
	B. Membuang Asam Laktat Dari Dalam Darah dan Otot	83
	C. Pemulihan Cadangan Oksigen	85
BAB VI	PENGARUH AKTIVITAS FISIK TERHADAP SISTEM BIOLOGIS.	89
	A. Perubahan Kimia	91
	B. Perubahan pada serabut otot	92
	C. Perubahan Pada Sistem Kardiorespirasi.....	93
	D. Pengaruh latihan pada ketinggian terhadap bio- logis (<i>altitude acclimatization</i>).....	99
	E. Perubahan-perubahan lainnya	99
BAB VII	WANITA DAN OLAHRAGA	104
	A. Menstruasi dan Olahraga.....	105
	B. Siklus Menstruasi dan Kadar Hemoglobin.....	115
	C. Siklus menstruasi terhadap oksigen maksimal (VO_2), dan denyut nadi waktu istirahat dan latihan maksimal.....	118
BAB VIII	OBAT PERANGSANG (<i>DOPING</i>)	127
	A. Sejarah dan Pengertian Doping.....	128
	B. Daftar Doping dan Efeknya	130
	DAFTAR KEPUSTAKAAN	137

BAB I

SISTEM ENERSI PADA OLAHRAGA

Pendahuluan

Deskripsi

Cakupan materi sistem enersi pada olahraga meliputi, pertama; sumber enersi untuk kontraksi otot yang membahas tentang sistem ATP - PC (*phosphagen system*), glikolisis anaerobik (*lactid acid system*) dan sistem anaerobik. Kedua; penggunaan sistem enersi meliputi, sistem enersi saat istirahat, sistem enersi saat latihan, dan sistem enersi utama (*predomionand enersi system*) pada berbagai aktivitas olahraga, dan ketiga; pemupukan karbohidrat (*carbohydrate loading*).

Relevansi

Setelah selesai mempelajari materi bab ini, mahasiswa diharapkan dapat memhami tentang penggunaan sistem enersi pada berbagai aktivitas fisik dan olahraga, dan menyadari serta melaksanakan pengaturan penggunaan enersi yang sesuai terhadap berbagai aktivitas fisik dan olahraga.

Tujuan Intruksional Khusus

Untuk mencapai tujuan tersebut di atas, diharapkan mahasiswa mampu:

1. Menjelaskan sumber enersi untuk kontraksi otot.
2. Menjelaskan penggunaan sistem enersi saat latihan.

3. menerangkan sumber enersi utama pada berbagai cabang olahraga.
4. Menjelaskan dan menyusun program karbohidrat (*carbohydrate loading*)

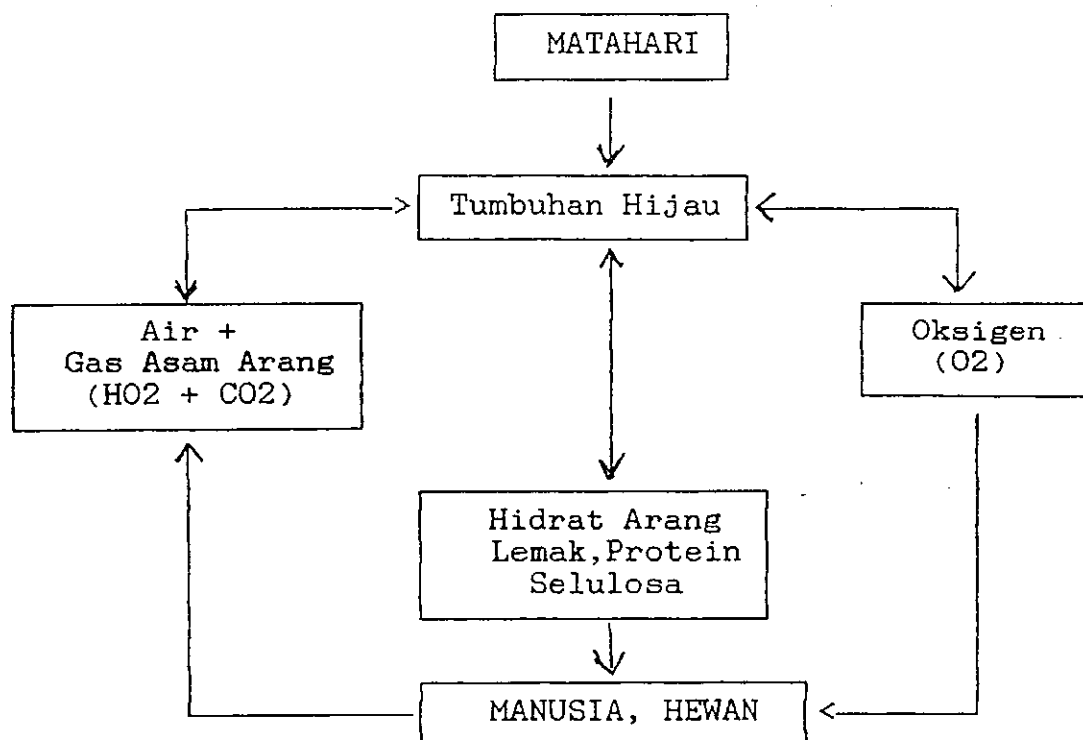
Penyajian

Uraian

A. Mekanisme Pembentukan Enersi

Enersi adalah kapasitas untuk melakukan suatu pekerjaan/kegiatan. Kerja/kegiatan merupakan hasil perkalian dari tenaga (*force*) dan jarak yang diperoleh. Apabila suatu pekerjaan meningkat, enersi yang diperlukan juga meningkat, dengan kata lain, enersi yang diperlukan tergantung pada keadaan dan kebutuhan (Lamb, 1984).

Semua enersi yang dipergunakan dalam proses biologi berasal dari matahari. Enersi matahari tersebut diubah oleh tumbuh-tumbuhan hijau menjadi enersi kimia, terutama dalam bentuk karbohidrat, selulosa, protein dan lemak. Hal ini mengakibatkan manusia tergantung dari tanaman dan menimbun enersi yang didapat itu dalam tubuh (Fox, 1988). Sesuai dengan bagan pada halaman berikut:



Gambar 1.1. Siklus Energi Biologis (Fox, 1988; 14)

Sebagian besar dari energi digunakan untuk kontraksi otot-otot yang perlu untuk bergerak, untuk mempertahankan hidup seperti mengalirkan darah, bernafas, pembuatan enzim dan lain-lain (Soekarman, 1989).

Energi yang berasal dari pemecahan makanan digunakan untuk membentuk persenyawaan kimia adenosin trifosfat (ATP) yang ditimbun di dalam otot. ATP ini tidak saja digunakan untuk kontraksi otot, tetapi juga untuk proses-proses lain seperti sintesis protein, transpor aktif dari ion melewati membran, untuk aktivitas dari beberapa macam metabolisme dan lain-lain (Armstrong, 1979).

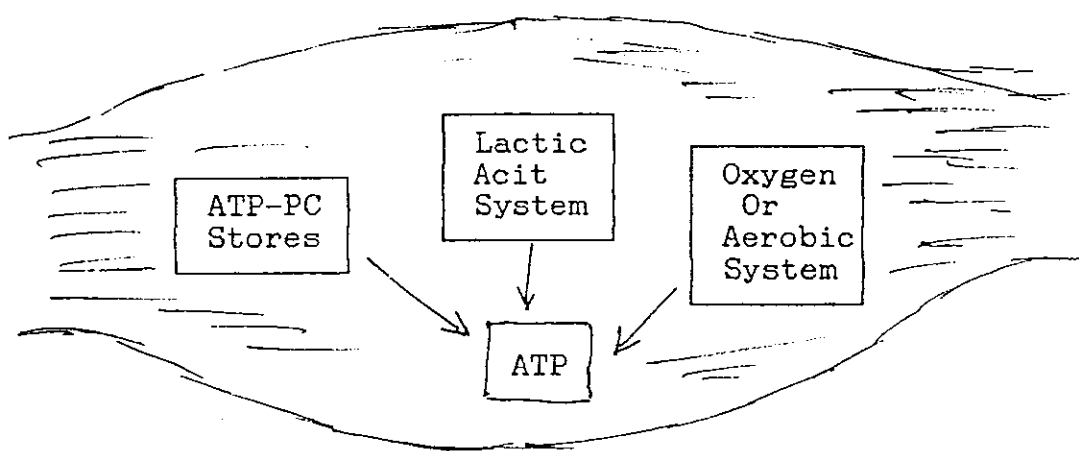
Apabila molekul ATP dinyatakan pecah ketika salah satu ikatan phosphate terpecah/terurai dari induk molekulnya, pada saat yang bersamaan pemecahan dari 1 mol ATP menghasilkan enersi antara 7 sampai 12 kcal. Sejumlah enersi yang terbebaskan saat terpisahnya sebuah ikatan fosfat dari molekul induknya (ATP. ADP dan Pi), inilah yang merupakan sumber enersi yang dapat digunakan otot untuk mengerjakan sesuatu (Katch, 1983; Fox, 1988).

Dalam keadaan istirahat dan kerja penggunaan enersi berbeda. Waktu istirahat enersi yang digunakan otot hanya sedikit. Apabila seseorang sedang beristirahat seluruh tubuhnya hanya menggunakan enersi sejumlah 1,3 kcal setiap menitnya, tetapi yang digunakan otot hanya sekitar 20% nya. Jadi hanya sekitar 0,26 kcal/menit. Sedangkan saat bekerja berat, seperti pada intensitas yang hanya dapat dipertahankan selama 1 sampai 2 menit, kebutuhan enersinya meningkat sekitar 35 kcal/men bahkan lebih. Pada kerja berat seperti ini hampir 90% penggunaan enersi dibutuhkan oleh otot. Berarti penggunaan enersi dalam aktivitas berat meningkat lebih dari 120 kali dari saat istirahat, bahkan bagi kelompok otot yang aktif bekerja saat bekerja berat peningkatan kebutuhan enersinya dapat mencapai 200 kali dari kebutuhan saat istirahat (Armstrong, 1979).

Diakibatkan peningkatan kebutuhan enersi yang besar, maka kebutuhan akan ATP tentunya juga besar. Penimbunan ATP paling banyak dalam sel otot dibandingkan dengan jaringan

tubuh lainnya, tetapi yang tertimbun di dalam otot ini jumlahnya juga sangat terbatas, yaitu sekitar 4 - 6 milimol/kg otot. ATP yang tersedia hanya cukup untuk aktivitas cepat dan berat selama 3 - 8 detik. Oleh karena itu, untuk kegiatan yang lebih lama perlu segera kembali dibentuk ATP melalui mekanisme lain yang dapat mensuplai kebutuhan enersi yang besar ini Bowers (1992).

Mekanisme resintesa ATP dapat disediakan dari ADP dan Pi bila ada enersi lain. enersi lain yang diperlukan untuk resintesa ATP timbul dari reaksi kimia yang tanpa menggunakan oksigen (*anaerobic*) dan reaksi kimia yang menggunakan oksigen (*aerobic*). Reaksi kimia yang tidak menggunakan oksigen disebut sistem ATP - PC (*Phosphagen system*) dan sistem glikolisis anaerobik (*Lactic acid system*), sedangkan reaksi kimia yang menggunakan oksigen disebut sistem aerobik (*Aerobic system*) Bowers (1992).

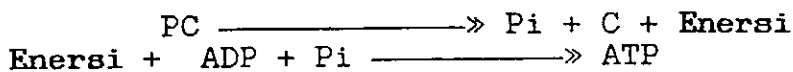


Gambar 1.2. Sumber enersi pembentukan kembali ATP di dalam otot (Bowers, 1992: 40).

B. Sumber Enersi Untuk Kontraksi Otot

1. Sistem ATP - PC (*Phosphagen system*)

Fosfokreatin dan ATP, sama-sama disimpan di dalam sel otot. Karena ATP dan PC terdiri dari kelompok fosfat, maka mereka secara bersama-sama disebut sebagai sistem fosfagen. Kesamaan antara ATP dan PC adalah; apabila kelompok fosfat pecah, maka sejumlah besar enersi dikeluarkan. Hasil akhir dari pemecahan PC ini adalah Kreatin (C = *creatine*) dan fosfat inorganik (P_i). Enersi ini dipergunakan untuk resintesis ATP. ATP dipecah pada saat kontraksi otot berlangsung, kemudian dibentuk kembali dari ADP + P_i oleh adanya enersi yang berasal dari pemecahan simpanan PC. (Katch, 1983; Cerretelli, 1992).



(Fox, 1988: 16).

Fosfagen yang tersimpan di dalam otot hanya sekitar 20 mM/kg otot, keadaan ini hanya cukup untuk penyajian enersi yang sangat bermanfaat untuk keadaan gerakan-gerakan mendadak/berat selama 5 - 10 detik. Reaksi pemecahan ATP dan PC di dalam sel berlangsung sangat cepat. Sewaktu ATP digunakan, PC akan segera terpecah dan membebaskan enersi sehingga resintesa ATP dapat terjadi lagi. Dengan latihan yang cepat dan berat, maka jumlah sistem ATP-PC tersebut dapat

ditingkatkan (Fox, 1988).

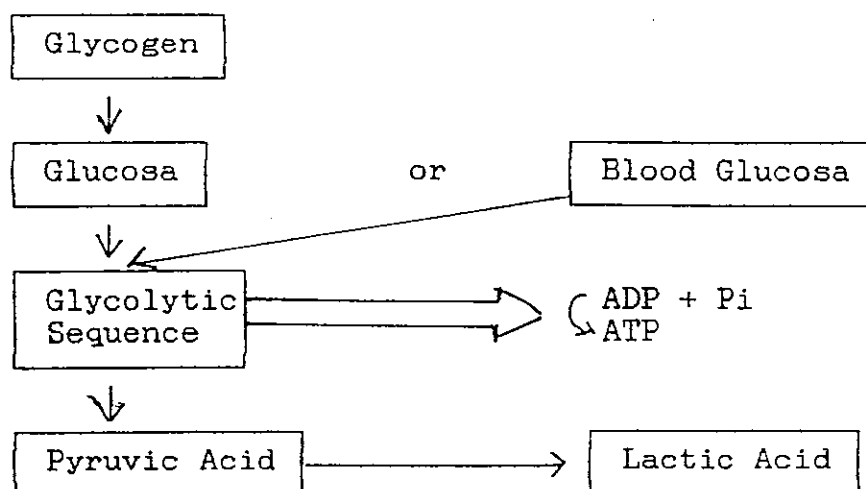
Sistem fosfagen menggambarkan penyediaan sumber ATP yang paling cepat untuk dapat dipergunakan oleh otot (Fox, 1988, Cerretelli, 1992). Ada beberapa alasan mengapa penyediaan ATP begitu cepat, sehingga otot dapat mempergunakannya dengan cepat, Astrand dan Rodahl (1986) mengemukakan sebagai berikut:

- a. Sistem fosfagen tidak tergantung kepada rangkaian reaksi kimia yang panjang.
- b. Sistem fosfagen tidak tergantung kepada transport oksigen ke otot yang sedang bekerja.
- c. ATP dan PC kedua-duanya disimpan langsung di dalam mekanisme kontraksi otot.

2 Glikolisis Anaerobik (*Lactic Acid System*)

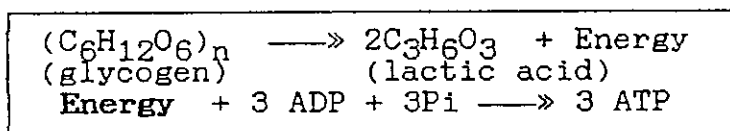
Peristiwa glikolisis terjadi apabila sebuah molekul glukosa masuk ke dalam sel dan digunakan untuk menyajikan enersi, maka molekul glukosa tersebut mengalami serangkaian reaksi kimia. Peristiwa ini terjadi dalam cairan sel di luar mitokondria. Glikolisis anaerobik melibatkan pemecahan tidak sempurna dari salah satu bahan makanan, yaitu karbohidrat (gula) menjadi asam laktat. Di dalam tubuh, semua karbohidrat dikonvensi menjadi glukosa, disimpan di dalam hati dan otot sebagai glikogen untuk dipergunakan kemudian. Asam laktat adalah hasil glikolisis anaerobik (Karlsson, 1972; Cerretelli, 1992).

Secara sederhana glikolisis anaerobik digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1.3. Glikolisis anaerobik (Fox, 1988: 18).

Reaksi-reaksi kimia dalam sistem glikolisis anaerobik dapat disederhanakan menjadi:



(Fox, 1988: 18).

Proses glikolisis anaerobik ini memerlukan 12 macam reaksi berurutan, oleh karena itu pembentukan enersi lewat sistem ini berjalan lebih lambat jika dibandingkan dengan sistem fosfagen. Reaksi pertama, ATP bertindak selaku donor fosfat untuk mengfosforkan glukosa menjadi glukosa 6-fosfat. Selanjutnya molekul-molekul glukosa dapat saling dihubungkan

(dipolimerkan) sehingga membentuk molekul glikogen sebagai cadangan simpanan glukosa. Reaksi kedua pada rangkaian peristiwa glikolisis berupa fosforilasi, lebih lanjut menjadi fruktosa-6-fosfat, dan fosforilasi terjadi lagi pada reaksi yang ketiga, selanjutnya berubah menjadi fruktose 1,6-difosfat. Fruktose 1,6-difosfat ini setelah melewati rangkaian reaksi kelima lalu terpecah menjadi 2 molekul 3 fosfogliseraldehid. Kemudian setelah melewati 5 rangkaian reaksi lain 3 fosfogliseraldehid ini akan berubah menjadi 2 molekul asam piruvat (Martin, 1991; Brooks dan Fahey, 1984;).

Apabila dalam keadaan tanpa atau kekurangan oksigen maka asam piruvat ini tidak masuk ke dalam mitokondria, tetapi selanjutnya berubah menjadi asam laktat. Waktu asam laktat terbentuk dalam otot, maka asam laktat segera merembes ke dalam darah dan ikut peredaran darah. Bila kadar asam laktat dalam darah meninggi, sintesa ATP tidak seirama dengan penggunaannya, hal ini menimbulkan kelelahan, karena itu latihan harus dihentikan atau setidaknya intensitasnya dikurangi. Penyebab kelelahan karena meningkatnya keasaman, mengakibatkan mengganggu akan kelancaran kerja enzim-enzim yang terlibat dalam transfer energi (Brooks dan Fahey, 1985; Fox, 1988)

Pada sisi lain asam laktat merupakan sumber berharga energi kimia yang tertimbun dan tersimpan di dalam tubuh selama berlangsungnya aktivitas fisik yang berat. Jika

oksigen segera tersedia dan mencukupi hidrogen yang terikat pada asam laktat akan diambil oleh NAD (*Nicotinamida adenin dinucleotida*) dan mungkin teroksidasi. Selanjutnya asam laktat siap untuk diubah kembali menjadi asam piruvat, dan asam piruvat yang terbentuk kembali ini dapat digunakan untuk resintesa ATP. Pada masa pemulihan, asam piruvat akan diubah kembali menjadi glikogen di hati dan bila diperlukan glikogen ini dapat diubah menjadi glukosa lagi di dalam darah (Brooks dan Fahey, 1985; Fox, 1988).

Tabel 1. 1. Perkiraan penggunaan enersi dalam tubuh waktu keadaan glikolisis anaerobik (*Lactic Acid System*) (Fox, 1988: 19).

	Per kg otot	Keseluruhan otot
1. Toleransi maks.asam laktat (grams)	2.0-2.3	60-70
2. Pembentukan ATP millimoles)	33-38	1000-1200
3. Pernggunaan enersi (kilocalories)	0.33-0.38	10.0-12.0

Jadi, ciri-ciri sistem glikolisis anaerobik Teasch, (1978) menyimpulkan sebagai berikut:

- a. Menyebabkan terbentuknya asam laktat yang dapat menyebabkan kelelahan.
- b. Tidak membutuhkan oksigen.
- c. Hanya menggunakan karbohidrat.
- d. Memberikan enersi untuk resistensia beberapa molekul ATP saja.

Olahraga yang memerlukan kecepatan, pertama-tama menggunakan sistem ATP-PC dan kemudian baru sistem asam laktat

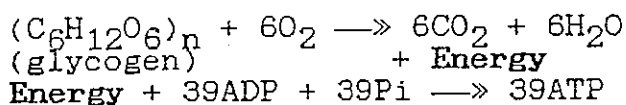
(*lactic acid system*). Selanjutnya asam laktat dapat diubah menjadi glukosa lagi di dalam hati. Glikolisis anaerobik dan juga sistem fosfagen merupakan faktor yang penting dalam olahraga, karena dapat memberikan ATP dengan cepat. Untuk olahraga yang memakan waktu 1 sampai 3 menit energi yang digunakan terutama dari glikolisis (Katch, 1983).

3. Sistem Aerobik

Sistem aerobik terjadi di dalam mitokondria. Bila oksigen mencukupi, maka asam piruvat yang terjadi karena pemecahan glikogen atau glukosa hanya sedikit sekali yang berubah menjadi asam laktat. Bagian terbesar asam piruvat masuk ke dalam mitokondria melibatkan sistem enzim yang kompleks. Jadi dikarenakan oksigen mencukupi maka asam laktat tidak menumpuk, serta konsentrasinya tidak meninggi (Brooks dan Fahey, 1985; Fox, 1988).

Prosedur proses sistem aerobik merupakan suatu rangkaian reaksi kimia yang panjang dan kompleks. Dalam reaksi tersebut diperlukan beratus-ratus reaksi kimia serta bantuan beratus-ratus enzim. Akibatnya sistem ini tidak dapat digunakan secara cepat seperti sistem anaerobik. Terjadinya rangkaian reaksi kimia yang panjang karena di dalam mitokondria mempunyai sistem membran yang khas dengan adanya *kriste* (lipatan-lipatan dan lekukan-lekukan kedalam). *kriste* mengandung hampir semua enzim yang diperlukan bagi metabolisme secara aerobik (Fox, 1988; Bowers, 1992).

Sistem aerobik ini akan memecah glikogen secara sempurna dan menghasilkan CO₂ serta melepaskan sejumlah enersi yang cukup untuk meresintesa 39 molekul ATP.



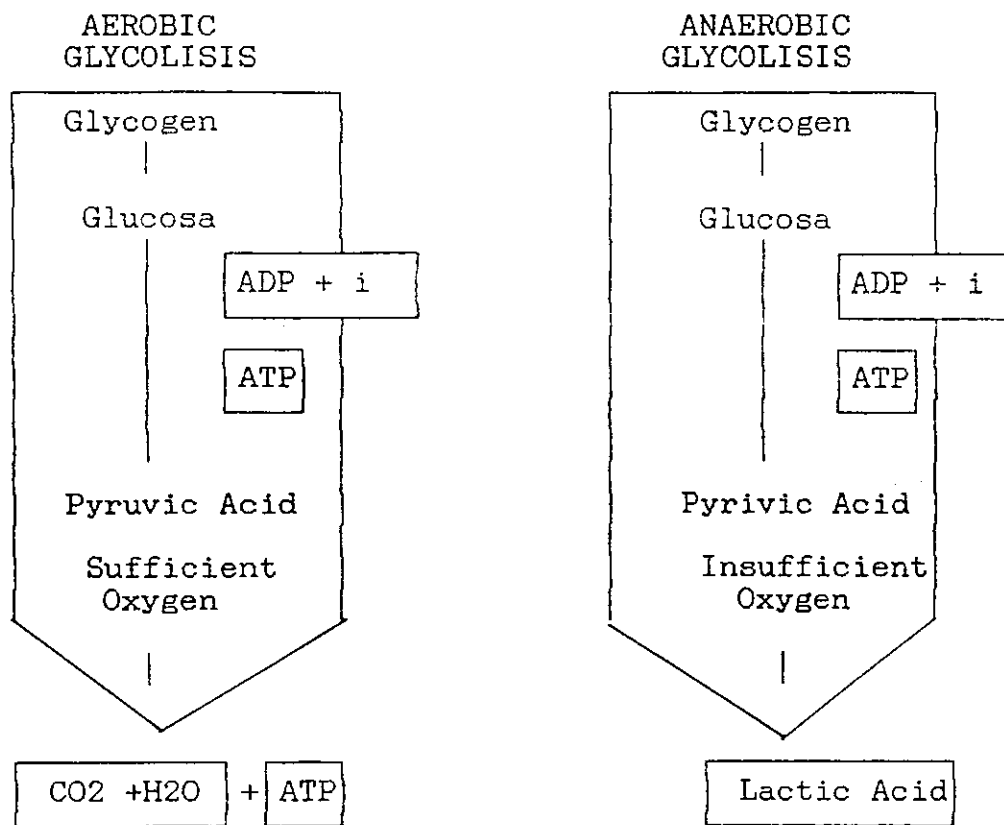
(Fox, 1988: 22).

Sistem aerobik terdiri dari; glikolisis aerobik, daur krebs dan sistem transport elektron.

a. Glikolisis Aerobik

Pada tahap ini, rangkaian reaksi-reaksi yang terjadi dari glikogen sampai ke asam piruvat persis sama dengan rangkaian reaksi pada proses glikolisis anaerobik. pada glikolisis anaerobik asam piruvat tidak masuk ke dalam mitokondria, asam piruvat membentuk asam laktat di dalam sitoplasma. Perbedaannya, bila oksigen mencukupi sebagian besar asam piruvat masuk ke dalam mitokondria melalui sistem enzim yang kompleks dan mengalami serangkaian siklus kimia yang disebut daur krebs. Jadi dengan adanya oksigen menghambat penumpukan asam laktat, tetapi tidak menghalangi pembentukan ATP kembali (Brooks dan Fahey, 1985; Fox, 1988; Bowers, 1992)

Perbedaan antara glikolisis aerobik dengan glikolisis anaerobik digambarkan seperti halaman berikut:



Gambar 1.4. Perbedaan glikolisis aerobik dengan glikolisis anaerobik (Fox, 1988: 21).

b. Daur Krebs

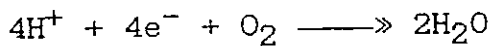
Daur Krebs (*Krebs cycle*) disebut daur asam trikarboksila (Daur asam sitrat), dalam daur ini terjadi dua perubahan kimia, yaitu; terbentuknya CO₂, enersi dan terjadinya oksidasi serta terbebaskannya elektron-elektron. Elektron-elektron dipisahkan dari atom karbon dalam bentuk atom hidrogen dari asam piruvat yang semula berasal dari glikogen. Berarti, pada daur Krebs asam piruvat dioksidasi, dan menghasilkan CO₂ (Mayes, 1985; Mc Ardle, 1986).

Dengan cukupnya oksigen, asam piruvat dapat masuk ke dalam daur Krebs. Hal ini terjadi setelah CO₂ terlepas, asam piruvat sebagai hasil akhir glikolisis anaerobik masuk ke dalam mitokondria untuk bersenyawa dengan koenzim A, sehingga terbentuklah senyawa asetil ko-A. Selanjutnya Asetil Ko-A ini bersenyawa dengan asam oksalat membentuk asam sitrat. Kemudian, asam sitrat masuk ke daur Krebs (Brooks dan Fahey, 1985; Martin, 1991).

Fungsi utama daur Krebs dalam proses produksi ATP adalah menghasilkan elektron-elektron yang selanjutnya akan diikat oleh NAD (*Nicotinamida adeninedinucleotida*) dan FAD (*Flavin adenin dinucleotida*). Metabolisme karbohidrat (*glikolisis aerobic*), setiap satuan asetil yang turut serta dalam daur Krebs ini, menghasilkan ikatan dehidrogenasi dengan 3 buah NAD dan 1 buah FAD, serta terbentuk pula GTP (*Guanosin Triphosphate*) yang mengandung sejumlah enersi sepadan dengan ATP. Koenzim NADH₂ dan FADH₂ yang terundusir dari bermacam langkah dehidrogenase akan masuk kerantai pernafasan atau sistem transport elektron (Astrand dan Rodahl, 1986).

c. Sistem Transport Elektron

Sistem transport elektron (*elektron transport system*) (*ETS*), merupakan kelanjutan pemecahan glikogen. Pada tahap ini akhirnya terbentuk H₂O yang dihasilkan dari persenyawaan H⁺ terjadi dalam daur Krebs serta O₂ yang dihirup. Adapun reaksi yang terjadi digambarkan sebagai berikut:



Fox, (1988: 22).

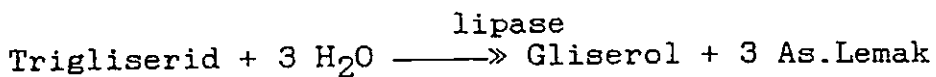
Proses transport elektron ini sangat kompleks, terdiri dari lipoprotein dengan bermacam sitokrom dan pembantu lainnya. Pengaliran dua elektron melalui sistem transport elektron ini akan membebaskan enersi guna fosforilasi ADP menjadi ATP pada tiga titik yang berbeda, pada akhir mata rantai setiap pasang elektron akan bergabung dengan 2 buah proton (H^+) dan oksigen sehingga terbentuk air. NADH_2 masuk ketitik pertama dan menghasilkan NAD dan 3 molekul ATP, sedang FADH_2 akan masuk ketitik kedua menghasilkan FAD, dan 2 molekul ATP. Koenzim-koenzim yang baru saja terbebaskan dapat kembali berperan serta pada proses dehidrogenase lagi (Mc Ardle, 1986; Fox, 1988).

Hasil akhir dari sistem aerobik secara keseluruhan sebanyak 39 mol ATP. Jumlah ini diperoleh, 3 mol ATP sebagai hasil glikolisis anaerobik (dalam sitoplasma), dan 36 molekul ATP didapat sebagai hasil oksidasi aerobik (dalam mitokondria) (Brooks dan Fahey, 1985; Martin, 1991).

d. Lemak Sebagai Sumber Enersi

Simpanan lemak merupakan sumber enersi potensial terbanyak dalam tubuh yang digunakan sebagai sumber enersi aerobik di samping karbohidrat. Untuk dapat serta dalam rangkaian reaksi pada sistem aerobik agar mampu melepaskan enersi,

sebelumnya molekul trigliserid terurai menjadi molekul gliserol 3 molekul asam lemak, dengan enzim lipase bertindak sebagai katalisator (Brooks dan Fahey, 1984; Mc Ardle, 1986).



Depot utama lemak adalah jaringan adipose, Adiposit atau sel lemak berfungsi khusus tempat sintesa dan tempat penyimpanan trigliserid. Segera setelah berdifusi ke dalam peredaran darah, asam lemak berubah menjadi asam lemak bebas (*free fatty acids*) yang terus mengalir ke jaringan aktif bekerja. Dalam sitoplasma, asam lemak harus diaktifkan terlebih dulu menjadi ester CoA. Pengaktifan ini memerlukan enersi dengan menggunakan 1 molekul ATP. Segera setelah diaktifkannya, ester Ko-A masuk ke proses Beta oksidasi. Hasil akhir pemecahan seluruh molekul asam lemak menjadi asetil-CoA yang siap untuk mengalami oksidasi lanjutan di dalam daur Krebs. Gliserol diterima pada reaksi aerobik glikolisis sebagai 3 fosfogliseraldehid dan berubah menjadi asam piruvat. Pada proses ini ATP dibentuk melalui fosforilasi, atom-atom hidrogen dilepas ke NAD^+ , selanjutnya asam piruvat dioksidasi ke dalam daur Krebs (Brooks dan Fahey, 1985; Martin, 1991).

Penggerakan asam lemak bebas dari jaringan adipose ditunjang oleh hormon epinephrine, norepinephrine, glucagon dan hormon pertumbuhan. Masuknya epinephrine ke dalam peredaran darah, menyebabkan kenaikan asam lemak bebas dalam plasma darah lebih cepat. Waktu latihan, konsentrasi hormon-hormon ini dalam plasma darah meningkat, enzim lipase lebih diaktifkan sehingga otot mendapat tambahan enersi (Astrand dan Rodahl, 1986).

Jumlah ATP yang dibentuk dari sebuah asam lemak (18 karbon) 147 molekul ATP dari molekul ADP lewat Beta oksidasi dan pertukaran zat dalam daur Krebs. Karena trigliserid mengandung 3 molekul ATP, maka akan terjadi 441 molekul ATP. Di samping itu, trigliserid juga memiliki 1 molekul gliserol yang menghasilkan 22 molekul ATP lewat glikolisis dan pertukaran zat pada daur Krebs. Jadi, setiap molekul trigliserid membentuk 463 molekul ATP (Brooks dan Fahey, 1984; McArdle, 1986).

e. Protein Sebagai Sumber Enersi

Dalam keadaan terpaksa protein dibutuhkan sebagai sumber enersi untuk resintesa ATP. Agar dapat menjadi enersi, sebelumnya protein (asam amino) harus diubah bentuknya. Setelah amino yang mengandung nitrogen dipisahkan dari asam amino, proses ini berlangsung di dalam hati (hepar). Misalnya; alanine, setelah kehilangan aminonya akan bersenyawa dengan oksigen dan terbentuklah asam piruvat, selanjutnya



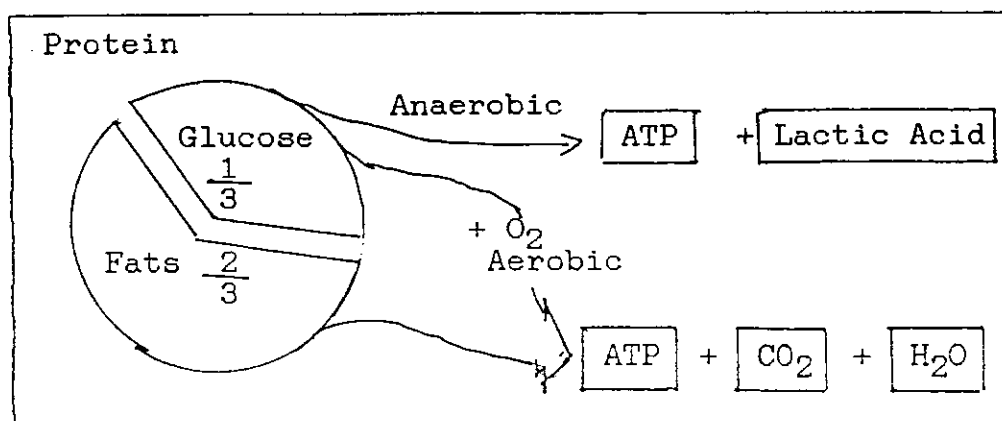
menjadi asetil-CoA dan terus masuk ke daur Krebs. Asam glutamik akan terbentuk asam alfa ketoglutarat yang selanjutnya diproses dalam daur Krebs. (Brooks dan Fahey, 1984; Mc Ardle, 1986).

Asam amino yang telah mengalami deaminasi akan masuk ke dalam daur Krebs melalui beberapa jalur, misalnya alanin glisin melalui asetil-CoA, sedangkan asam glutamik langsung masuk daur Krebs. Berarti siklus Krebs, berperan sebagai lintas dalam senyawa organik hasil pemecahan lemak atau protein diproses secara efektif untuk menghasilkan enersi, bukan hanya sekedar tempat terprosesnya asam piruvat saja, melainkan juga menghasilkan enersi yang berguna bagi resintesa ATP.

C. Penggunaan Sistem Enersi

1. Sistem Enersi Saat Istirahat

Pada saat istirahat resintesa ATP melalui sistem aerobik, karena tubuh mampu mencukupi kebutuhan oksigen melalui sistem transport oksigennya. Bahan bakar penyaji enersi dua pertiganya berasal dari karbohidrat, ATP yang terbentuk kembali telah mencukupi terhadap keperluan tenaga gerak bagi berfungsinya organ-organ tubuh pada saat istirahat (Fox, 1988; Bowers 1992). Sesuai dengan gambar pada halaman berikut:



Gambar 1.5. Sistem enersi pada saat istirahat (Fox, 1988: 28).

2. Sistem Enersi Saat Latihan

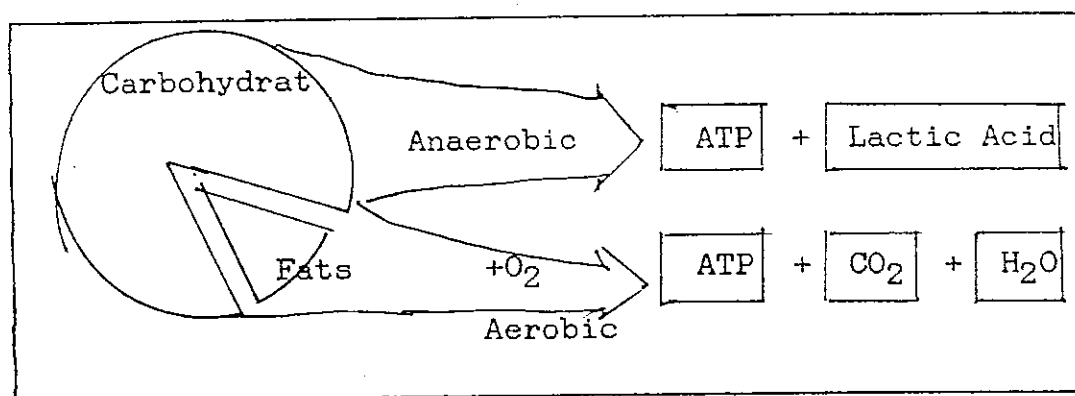
Tiga hal yang perlu diperhatikan untuk mengetahui sistem enersi waktu latihan, karena penggunaan sistem enersi tersebut tergantung dari tingkatan yang ditentukan berdasarkan intensitas (dosis/beratnya beban) dan durasi (lamanya) aktivitas itu berlangsung, yaitu; jenis bahan makanan yang dimetabolisir, sistem aerobik atau anaerobik serta akumulasi asam laktat di dalam otot dan darah (Fox, 1988).

Antara intensitas dan durasi latihan terdapat hubungan yang erat antara keduanya. Bila latihan dengan intensitas tinggi, maka durasinya pendek, sebaliknya jika latihan dengan intensitas rendah, maka durasinya panjang (Bompa, 1990).

a. Sistem Enersi Saat Latihan Berat dan Singkat

Maksud dari latihan berat dan singkat adalah latihan dengan intensitas tinggi (maksimal atau mendekati maksimal)

dan hanya berlangsung dalam waktu yang singkat (kurang dari 3 menit). Pada latihan semacam ini, tubuh belum mampu memenuhi kebutuhan oksigen. Energi yang disajikan bagi keperluan resintesa ATP berlangsung secara anaerobik disebut sebagai sistem fosfagen dan sistem glikolisis anaerobik, sebagai bahan bakar utamanya adalah karbohidrat. Saat oksigen sudah cukup tersedia maka lemak mungkin turut berperan dalam resintesa ATP (Fox, 1988). Sesuai dengan gambar berikut:



Gambar 1.6. Sistem enersi saat latihan berat dan singkat (Fox, 1988: 31).

Latihan yang berlangsung dengan intensitas tinggi selama 1-4 detik, sistem enersinya adalah sistem anaerobik tanpa laktat, dan hanya berasal dari ATP otot saja. Bila latihan berlangsung selama 4-20 detik, sistem enersinya adalah anaerobik tanpa laktat yang berasal dari sistem ATP - PC. Jika latihan berlangsung 20-45 detik sistem enersi utamanya adalah ATP - PC sedikit ditambah dengan sistem glikolisis anaerobik. Latihan dengan intensitas tinggi selama 30-90

detik, resintesa ATP berasal dari ATP - PC dan glikolisis anaerobik, bahan bakarnya adalah karbohidrat dan mulai terjadi penumpukan laktat. Apabila latihan berlangsung sekitar 90-180 detik, sistem enersi utamanya adalah sistem glikolisis anaerobik dan oksigen. Sebagai bahan bakar adalah karbohidrat ditambah sedikit lemak dan akhirnya terjadi penumpukan asam laktat yang tinggi dalam darah dan otot (Fox, 1988; Janssen, 1989).

Efek samping resintesa ATP yang berasal dari sistem fosfagen dan sistem glikolisis aerobik ini adalah penumpukan asam laktat. Bila kadar asam laktat tinggi akan menghambat kontraksi otot. Brooks dan Fahey, (1984) mengemukakan, ada empat cara untuk menyingkirkan asam laktat, yaitu:

- 1). Pengeluaran bersamaan melalui air seni dan keringat, meskipun dalam jumlah yang sedikit sekali.
- 2). Dalam masa pemulihan asam laktat dapat menjadi glikogen atau glukosa di hati, dan menjadi glikogen di otot. Pengubahan asam laktat menjadi glikogen ini baik di hati maupun di otot sangat lambat, sehingga perannya dalam menyingkirkan asam laktat juga sedikit.
- 3). Karena dalam tubuh glikogen dapat diubah menjadi protein, maka secara berantai asam laktat setelah lewat pengubahan menjadi glikogen selanjutnya juga dapat terus menjadi protein, dan ini juga dalam jumlah yang sedikit sekali.
- 4). Bila oksigen mencukupi kebutuhan, maka asam laktat

diubah menjadi asam piruvat untuk seterusnya menjadi CO_2 dan H_2O pada daur Krebs dan sistem transport elektron.

b. Sistem Enersi Saat Latihan Lama

Pada latihan yang berlangsung lama, intensitasnya sedang atau mendekati submaksimal, kebutuhan oksigen mencukupi selama latihan. Berarti sistem untuk resintesa ATP adalah sistem aerobik, dan bahan bakar utamanya lemak di samping karbohidrat. Kecuali pada awal latihan saat tubuh belum mampu mencukupi kebutuhan oksigen, maka sistem glikolisis anaerobik juga sedikit berperan (Fox, 1988).

D. Sistem Enersi Predominan pada Berbagai Aktivitas Olahraga

Aktivitas dalam setiap cabang olahraga pada umumnya tidak menggunakan sistem enersi aerobik atau anaerobik saja secara murni. Tetapi ada gabungan antara kedua sistem tersebut. Bagi cabang olahraga yang membutuhkan intensitas tinggi dan durasi yang singkat, maka sistem enersi predominan (enersi utama) yang digunakan adalah sistem anaerobik, sedangkan olahraga yang membutuhkan daya tahan (intensitas rendah dan durasi lama) sistem enersi predominannya adalah sistem aerobik (Fox, 1988; Bowers, 1992).

Tabel 1.2. Sistem enersi utama pada beberapa cabang olahraga
(Bowers, 1992: 230).

Sports Or Activity	% Emphasis per Energy System		
	ATP-PC and LA	LA-O2	O2
1	2	3	4
Baseball	80	20	-
Basketball	85	15	-
Fencing	90	10	-
Field hockey	60	20	20
Football	90	10	-
Golf	95	5	-
Gymnastics	90	10	-
Ice hockey			
Forwards, defense	80	20	-
Goalie	95	5	-
Lacrosse			
Goalie, defense, attack men	80	20	-
Midfielders, man-down	60	20	20
Recreational Sports	5	5	90
Rowing	20	30	50
Skiing			
Slalom, jumping, downhill	80	20	-
Cross-country	-	5	95
Soccer			
Goalie, eings, strikers	80	20	-
Halfbacks, link men	60	20	20
Softball	80	20	-
Swiming and diving			
50-m freestyle, diving	98	2	-
100 m, 100 yd (all strokes)	80	15	5
200 m, 220 yd (all strokes)	30	65	5
400 m, 440 yd, 500-yd	20	55	25
freestyle			
1500 m, 1650 yd	10	20	70
Tennis	70	20	10

1	2	3	4
Track and Field			
100 m, 100 yd;200 m,220 yd	95	5	-
Field events	98	2	-
400 m,440 yd	80	15	5
800 m, 880 yd	30	65	5
1500 m,1 mile	15	55	30
2 miles	15	20	65
3 miles, 5000 m	10	20	70
6 miles (cross-country)			
10.000 m	5	15	80
Marathon	-	2	98
Volleyball	85	10	5
Wrestling	90	10	-

E. Pemupukan Karbohidrat (*Carbohydrate Loading*)

Sebagaimana yang telah dikemukakan bahwa, karbohidrat (glikogen maupun glukosa) di dalam otot yang diubah menjadi asam piruvat menghasilkan enersi dalam bentuk senyawa ATP. Namun, keberadaan ATP dan kreatin fosfat yang sangat penting untuk menghasilkan enersi awal untuk kontraksi otot (hanya beberapa detik pada fase permulaan), tidak dapat disimpan dalam jumlah yang lebih banyak, karena itu harus cepat-cepat diganti (*resintesa*) sebab habis terpakai.

Lemak terlebih dulu harus di hidrolisis menjadi asam lemak yang kemudian akan diubah secara bertahap untuk menghasilkan acetyl co-enzyme A. Selanjutnya acetyl co-enzyme A inilah yang akan dioksidasi secara lengkap di dalam mitokhondria dengan oksigen. Keseluruhan proses oksidasi