

Dr. Arimbi, S.Or., M.Pd.
Nurliani, S.Or., M.Pd.



Manusia

(Sel dan Sistem Organ)



Manusia

(Sel dan Sistem Organ)

Copyright © 2022
PENERBITAN

**KUTIPAN PASAL 72:
Ketentuan Pidana Undang-Undang Republik
Indonesia
Nomor 19 Tahun 2002 tentang HAK CIPTA**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat 1, dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Dr. Arimbi, S.Or., M.Pd.
Nurliani, S.Or., M.Pd.

Manusia

(Sel dan Sistem Organ)



Pekalongan - Indonesia

Manusia

(Sel dan Sistem Organ)

Copyright © 2022

Penulis:

Dr. Arimbi, S.Or., M.Pd.

Nurliani, S.Or., M.Pd.

Editor:

Moh. Nasrudin

(SK BNSP: No. Reg. KOM.1446.01749 2019)

Setting Lay-out & Cover:

Tim Redaksi

Diterbitkan oleh:

PT. Nasya Expanding Management
(Penerbit NEM - Anggota IKAPI)

Jl. Raya Wangandowo, Bojong

Pekalongan, Jawa Tengah 51156

Telp. (0285) 435833, Mobile: 0853-2521-7257

www.penerbitnem.com / penerbitnem@gmail.com

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang.

Dilarang memperbanyak sebagian

atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit

Cetakan ke-1, Oktober 2022

ISBN: 978-623-423-435-0

Prakata

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah, Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat, hidayah dan inayah-Nya penulis dapat menyelesaikan buku ini sebagai pelengkap bahan bacaan bagi kalangan umum dan mahasiswa dalam bidang ilmu fisiologi dan fisiologi olahraga meski penulis menyadari keterbatasan dalam buku ini.

Ilmu fisiologi olahraga membahas lebih spesifik fungsi organ dan sistem organ manusia saat beraktivitas fisik, menyangkut bagaimana metabolisme energi dan respon tubuh seseorang hal ini penting dipahami para praktisi dan pelaku olahraga agar aktivitas fisik yang dilakukan hanya memberikan manfaat bagi kesehatan tubuh, sebab olahraga atau aktivitas fisik yang tidak sesuai atau melebihi kemampuan tubuh seseorang justru akan memberikan pengaruh negatif pada tubuh salah satunya adalah menurunnya sistem imunitas tubuh.

Keilmuan dalam bidang olahraga khususnya terus mengalami perkembangan yang makin pesat, sehingga tentu pembaruan dan penyempurnaan buku ini ke depan adalah sesuatu yang wajib dilakukan, olehnya dengan penuh kerendahan hati kami berharap pembaca buku ini dapat juga memberikan masukan yang dapat memperbaiki kekurangan bacaan ini. Tak lupa kami ucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar yang selalu memberi *support* dan dukungan

kepada kami untuk berkontribusi dalam perkembangan keilmuan dalam bidang ilmu keolahragaan khususnya.

Makassar, September 2022

Penulis

Copyright © 2022
PENERBIT NEM

Daftar Isi

PRAKATA __ v

DAFTAR ISI __ vii

DAFTAR GAMBAR __ ix

DAFTAR TABEL __ x

BAB 1 KONSEP DASAR FISILOGI __ 1

- A. Struktur Organisasi Biologik __ 3
- B. Sistematika Anatomik __ 4
- C. Sistematika Fisiologik __ 6

BAB 2 ORGAN RESPIRASI SEL __ 8

- A. Ciri dan Fungsi Mitokondria __ 8
- B. Mitokondria dalam Metabolisme Karbohidrat dan Lemak __ 11
- C. Mitokondria Organ Respirasi Sel __ 12
- D. Disfungsi Mitokondria __ 13

BAB 3 KARAKTERISTIK TIPE OTOT MANUSIA __ 17

- A. Definisi dan Jenis Otot __ 17
- B. Daya Tahan (*Endurance*) __ 24
- C. Daya Ledak (*Explosive Power*) __ 29
- D. Ketahanan Kardiovaskuler __ 30

BAB 4 METABOLISME AEROBIK DAN ANAEROBIK __ 33

- A. Metabolisme dalam Olahraga __ 33

- B. Metabolisme Anaerobik __ 35
- C. Metabolisme Aerobik __ 38

BAB 5 SISTEM ENERGI DALAM KONTRAKSI OTOT __ 40

- A. Pengertian dan Jenis Energi __ 40
- B. Pembentukan Energi dalam Tubuh __ 43
- C. Sistem Energi Predominan Cabang Olahraga __ 44

**BAB 6 PENERAPAN KONSEP FISILOGI OLAHRAGA
DALAM ILMU KEPELATIHAN __ 56**

- A. Kebugaran Jasmani __ 56
- B. Tes Kebugaran Jasmani __ 61

DAFTAR PUSTAKA __ 69
TENTANG PENULIS

Daftar Gambar

Nomor	Judul Gambar	Hal.
Gambar 1.1	Sistem Organ Manusia	5
Gambar 2.1	Struktur Sel Manusia	8
Gambar 2.2	Mitokondria pada Sel Otot	9
Gambar 2.3	Struktur Mitokondria	12
Gambar 2.4	Perbandingan Sel Mitokondria Sehat dan Mitokondria yang Mengalami Disfungsi	14
Gambar 2.5	Manifestasi Klinis Terkait Disfungsi Mitokondria	16
Gambar 3.1	Jenis-jenis Otot Manusia	18
Gambar 3.2	Otot Rangka/Skeletal Muscle	21
Gambar 3.3	Otot Rangka dan Pembuluh Darah Otot	23
Gambar 3.4	Piramida Program Latihan	26
Gambar 3.5	Tahapan Latihan Ketahanan Kardiovaskuler	31
Gambar 4.1	Sistem Respirasi Aerobik	38
Gambar 5.1	Pembentukan ATP	41
Gambar 5.2	Sistem Aerobik Glikolisis	41
Gambar 5.3	Sistem ATP-PC	42
Gambar 5.4	Anaerobik Glikolisis	43
Gambar 5.5	Mekanisme Pembentukan Energi ATP-PC	49
Gambar 5.6	Mekanisme Siklus Cori di Hati dan Otot	51
Gambar 5.7	Jenis Sistem Energi dan Durasinya	54

Daftar Tabel

Nomor	Judul Tabel	Hal.
Tabel 3.1	Klasifikasi Serabut Otot Skelet Manusia	20
Tabel 6.1	Ergosistema I: Fungsi Dasar dan Kualitas Penampilannya	63
Tabel 6.2	Ergosistema II: Fungsi Dasar dan Kualitas Penampilannya	65

Bab 1

KONSEP DASAR FISILOGI

Fisiologi adalah ilmu yang mempelajari fungsi atau cara kerja tubuh manusia beserta seluruh bagian-bagiannya, maka dalam fisiologi olahraga akan dibahas secara khusus reaksi dan proses metabolisme yang terjadi pada tubuh ketika seseorang melakukan aktivitas olahraga. Tetapi sebelumnya untuk dapat memahami ilmu fisiologi, tentu lebih dahulu harus dipahami apa yang menyusun struktur tubuh manusia beserta bagian-bagiannya disebut sebagai (ilmu) Anatomi. Berolahraga melakukan sesuatu untuk kegiatan tubuh yang melibatkan organ-organ tubuh (jantung, paru, otot, pembuluh darah, dsb). Aktivitas olahraga akan menimbulkan reaksi dari organ-organ tubuh berupa usaha-usaha penyesuaian diri (adaptasi). Dalam melakukan kegiatan sehari-hari manusia senantiasa bergerak. Gerak adalah ciri kehidupan, meningkatkan kualitas gerak berarti meningkatkan kualitas hidup. Olahraga adalah serangkaian gerak yang teratur dan terencana untuk memelihara gerak dan meningkatkan kemampuan gerak.

Dalam melakukan aktivitas jasmani tidak hanya tubuh yang bergerak namun di samping itu untuk melakukan gerakan juga harus berpikir, jadi aspek kognitif juga bekerja sehingga akan berpengaruh pada aspek kognitif seseorang yang melakukan aktivitas jasmani. Dengan melakukan aktivitas jasmani maka akan memicu pertumbuhan dan

perkembangan gerak tubuh dengan begitu aktivitas jasmani berkontribusi langsung dalam peningkatan kebugaran seseorang. Olahraga merupakan alat untuk merangsang perkembangan struktur anatomis dan fungsi fisiologi. Kegiatan olahraga yang dilakukan merupakan aktivitas gerak yang akan merangsang peningkatan fungsi organ-organ dalam tubuh, dan bila dilakukan secara terprogram dan teratur maka dalam jangka panjang organ tubuh akan menjadi terbiasa melakukan kinerja berat sehingga tubuh beradaptasi sebagai akibat dari kegiatan olahraga yang dilakukan. Pada saat melakukan aktivitas biasa yang tidak seberat olahraga maka organ-organ tubuh akan bekerja lebih baik.

Dalam ilmu fisiologi dasar dipelajari fungsi atau cara kerja organ-organ tubuh serta perubahan-perubahan yang terjadi oleh adanya berbagai pengaruh dari dalam maupun dari luar tubuh. Pengaruh-pengaruh itu dapat terjadi secara sendiri-sendiri atau secara bersama-sama, misalnya bagaimana jantung dan paru melaksanakan fungsinya masing-masing di waktu istirahat dan di waktu berolahraga. Demikian pula bagaimana perubahan yang terjadi bila melakukan olahraga yang sama di tempat dingin. Pada fisiologi olahraga akan dipelajari perubahan-perubahan fungsi organ-organ baik yang bersifat sementara maupun yang bersifat menetap, yang disebabkan oleh pengaruh melakukan pelatihan olahraga baik untuk tujuan kesehatan maupun untuk tujuan prestasi. Oleh karena itu, lebih dahulu dikemukakan sistem-sistem yang terdapat di dalam tubuh untuk memudahkan pemahaman terhadap fisiologi olahraga.

A. Struktur Organisasi Biologik

Unsur kehidupan terkecil adalah sel. Satu sel dapat merupakan kehidupan yang mandiri misalnya protozoa (amoeba) atau merupakan bagian dari kehidupan yang lebih kompleks, misalnya pada manusia.

Struktur organisasi biologik manusia terdiri atas unsur kehidupan terkecil yaitu sel, yang meliputi bermacam-macam sel. Sel-sel sejenis bergabung membentuk jaringan misalnya jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan tulang, jaringan otot, dan jaringan saraf. Masing-masing organ tubuh mempunyai fungsi khusus. Berbagai organ tubuh membentuk jalinan kerja sama satu dengan yang lain membentuk satu sistema, misalnya sistema respirasi yang mengambil O_2 yang diperlukan untuk proses pembentukan daya (energi) di dalam sel-sel tubuh dan membuang CO_2 yang merupakan sampah akhir yang berbentuk gas. Sistema respirasi melibatkan organ-organ: rongga dada, otot-otot pernafasan, paru dan saluran nafas (hidung-mulut, trachea-bronchi-bronchioli). Keseluruhan sistem ini dengan masing-masing fungsinya bergabung menjadi organisme yaitu makhluk hidup yang mandiri. Dengan demikian struktur organisasi biologik manusia terdiri dari:

Sel → Jaringan → Organ → Sistema → Organisme (Manusia)

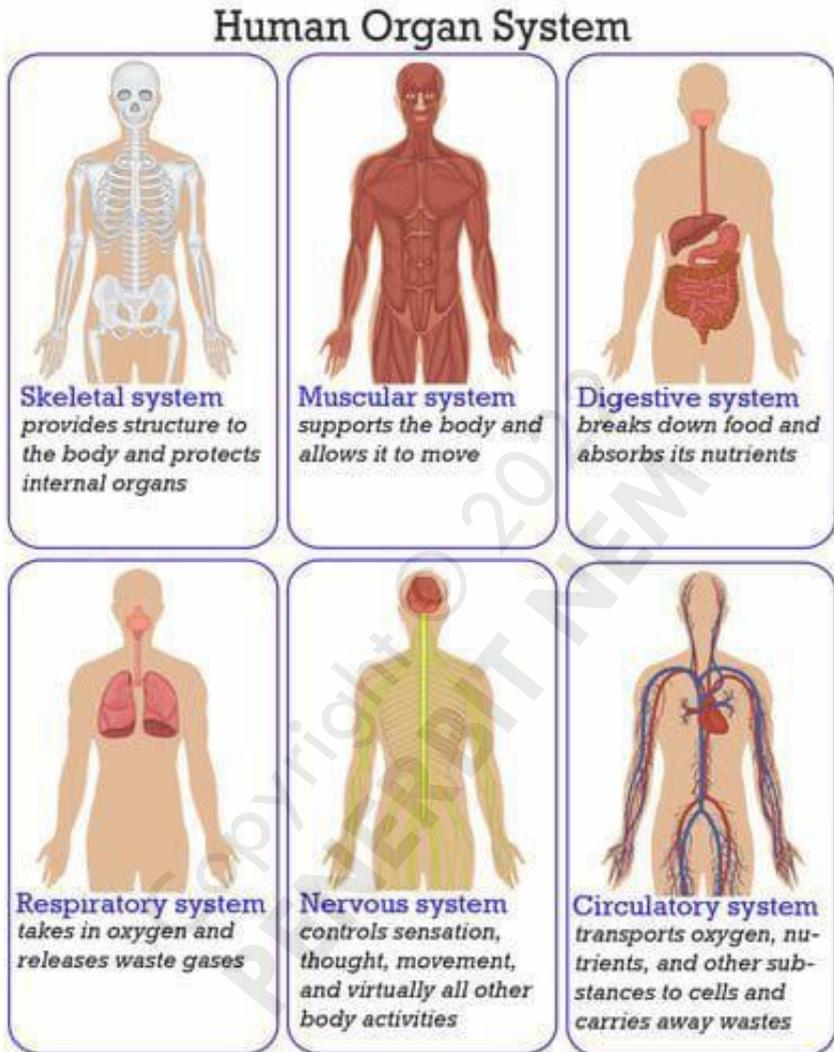
Dilihat dari struktur biologik tersebut sangat mudah dipahami bahwa derajat kesehatan sel menentukan kualitas fungsional atau vitalitas yang sendirinya akan menentukan derajat kesehatan, kualitas hidup dan vitalitas kehidupan individu yang bersangkutan.

Dilihat dari sudut pandang ilmu faal, hakikat pelatihan olahraga adalah meningkatkan kemampuan fungsional sel, yang dengan sendirinya berarti juga meningkatkan kemampuan fungsional individu (manusia) yang bersangkutan. Pelatihan juga harus bersifat fisiologis, artinya dari sudut pandang sel, pelatihan tidak boleh menyebabkan terjadinya gangguan homeostatis yang melebihi batas-batas fisiologis, dan perubahan kondisi homeostatis sudah harus pulih dalam waktu tidak lebih dari 24 jam. Dengan demikian pelatihan pada hari-hari berikutnya selalu berlandaskan kondisi fisik.

B. Sistematika Anatomik

Telah diketahui bahwa tubuh, dalam hal ini jasmani atau raga tersusun dari sekumpulan struktur-struktur (organ) dalam ikatan kerja sama yang secara anatomi disebut sebagai sistema dan terdiri dari sistema:

1. Skelet - kerangka
2. Muscular - otot
3. Nervorum - saraf
4. Hemo - hidro - limfatik - darah - cairan jaringan - getah bening
5. Respirasi - pernafasan
6. Kardiovaskular - jantung - pembuluh darah
7. Termoregulasi - pengatur suhu tubuh
8. Digestivus - pencernaan
9. Ekskresi - pembuangan
10. Endokrin - hormone
11. Sensoris - pengindra
12. Reproduksi - pemulih generasi



Gambar 1.1 Sistem Organ Manusia

Sumber: [pinterest.com](https://www.pinterest.com)

Fisiologi dasar membahas fungsi (fisiologi) satuan-satuan sistem tersebut di atas secara tersekat-sekat, belum membahas tata hubungan fungsionalnya secara integral. Dalam kondisinya yang tersekat-sekat memang sulit untuk dapat menghubung-hubungkannya menjadi bahasan yang

integral. Oleh karena itu, fisiologi mengelompokkan sistem-sistem anatomik tadi ke dalam sistematika fisiologik seperti diuraikan di bawah ini. Hal ini diperlukan untuk dapat memudahkan memahami tata hubungan fungsional antar berbagai sistema anatomik tersebut di atas.

C. Sistematika Fisiologik

Setelah mengenali struktur-struktur anatomis secara sistematis beserta masing-masing fungsinya, maka menjadi lebih mudah untuk memahami fungsi dari struktur-struktur tersebut serta tata hubungan fungsionalnya. Fungsi jasmani yang terdiri dari berbagai macam sistema itu ialah untuk bergerak, mempertahankan hidup, bekerja, mendapatkan kepuasan hidup lahir dan batin. Oleh karena itu jasmani dapat disebut sebagai satu SISTEMA (untuk) KERJA = SK atau ERGOSISTEMA = ES (ergo = kerja). Jadi Ergosistema adalah sekumpulan struktur-struktur anatomis yang secara bersama-sama menjadi satu kesatuan fungsional (fisiologis) yang aktif pada waktu bekerja atau berolahraga. Dalam menjalankan fungsinya sebagai satu ergosistema, sistema-sistema anatomis tersebut secara fisiologis dikelompokkan menjadi tiga kelompok dan jadilah Sistematika Fisiologik yaitu:

1. Perangkat Pelaksana gerak, disebut Ergosistema Primer (ES-I) atau Sistema Kerja Primer (SK-I) yang terdiri dari:
 - a. Sistema skelet
 - b. Sistema muscular
2. Perangkat Pendukung gerak, disebut Ergosistema Sekunder (ES-II) atau Sistema Kerja Sekunder (SK-II) yang terdiri dari:

- a. Sistema hemo-hidro-limfatik
 - b. Sistema respirasi
 - c. Sistema kardiovaskular
3. Perangkat Pemulih/Pemelihara, disebut Ergosistema Tersier (ES-III) atau Sistema Kerja Tersier (SK-III) yang terdiri dari:
- a. Sistema digestivus
 - b. Sistema eksresi
 - c. Sistema reproduksi

ES-III ini berperan lebih dominan pada istirahat.

Pada waktu bekerja atau berolahraga, Ergosistema yang berperan dominan adalah ES-I dan ES-II. Sistema endokrin berfungsi sebagai regulator internal yang bersifat humoral. Sedangkan sistema sensoris berfungsi sebagai komunikator eksternal maupun internal. Sistema Termoregulasi berfungsi menata suhu tubuh. Ketiga sistema tersebut terakhir tidak hanya berperan pada masa pemulihan/istirahat, tetapi bahkan berperan lebih penting dalam olahraga. Seluruh Ergosistema tersebut di atas secara terkoordinasi mempunyai satu tujuan akhir yang sama yaitu berusaha memelihara homeostasis pada istirahat maupun pada olahraga.

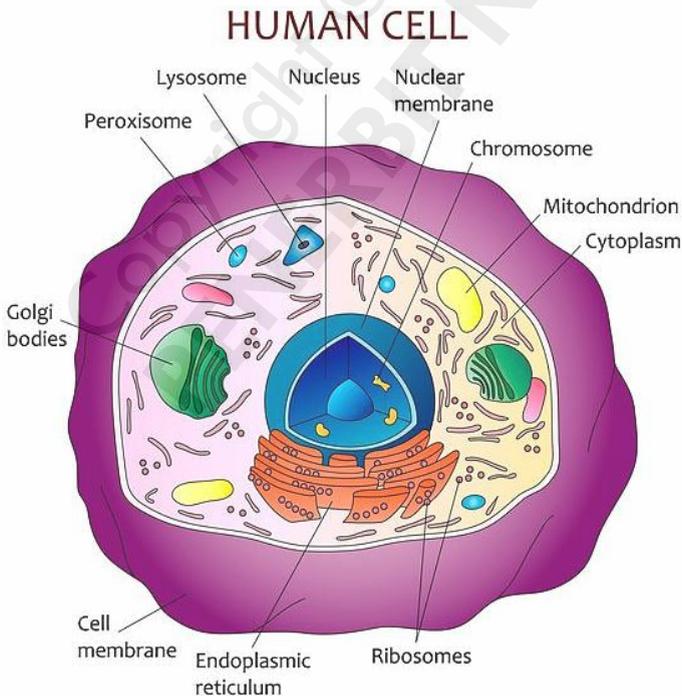


Bab 2

ORGAN RESPIRASI SEL

A. Ciri dan Fungsi Mitokondria

Mitokondria adalah organel sitosol yang cukup besar, melebihi ukuran nukleus, vakuola, dan kloroplas dari banyak sel; volumenya dapat mewakili hingga 25% dari total volume sel. Mitokondria memiliki karakteristik cacing atau bentuk seperti sosis dan dapat mengukur beberapa mikrometer panjangnya.

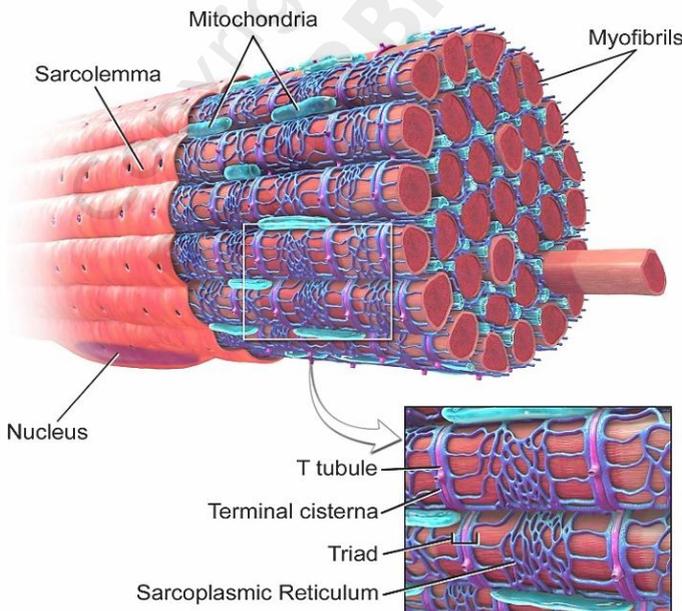


Gambar 2.1 Struktur Sel Manusia

Sumber: <https://www.etsy.com/listing/938547215/human-cell-diagram>

Mitokondria adalah organel yang dikelilingi oleh membran ganda yang memiliki genomnya sendiri, yaitu di dalamnya terdapat molekul DNA asing (berbeda) dari DNA yang terkandung di dalam inti sel. Mereka juga memiliki RNA ribosom mereka sendiri dan RNA transfer. Meskipun demikian, mitokondria bergantung pada gen nukleus untuk produksi sebagian besar protein mereka, yang secara khusus ditandai selama translasi dalam sitosol untuk diangkut ke mitokondria.

Mitokondria membelah dan berkembang biak secara independen dari sel, pembelahan mereka terjadi dengan mitosis, yang menghasilkan pembentukan salinan masing-masing yang kurang lebih tepat. Dengan kata lain, ketika organel-organel ini membelah mereka melakukannya dengan “membelah dua.”



Gambar 2.2 Mitokondria pada Sel Otot

Sumber: <https://www.quora.com>

Jumlah mitokondria dalam sel eukariotik sangat tergantung pada jenis sel dan fungsinya; yaitu, dalam jaringan yang sama dari organisme multiseluler, beberapa sel mungkin memiliki jumlah mitokondria yang lebih besar daripada yang lain. Contohnya adalah sel-sel otot jantung, sel-sel otak, dan sel otot yang memiliki lebih banyak mitokondria.

Peran utama mitokondria adalah sebagai pabrik energi sel yang menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Metabolisme karbohidrat akan berakhir di mitokondria ketika piruvat ditranspor dan dioksidasi oleh O_2 menjadi CO_2 dan air. Energi yang dihasilkan sangat efisien yaitu sekitar tiga puluh molekul ATP yang diproduksi untuk setiap molekul glukosa yang dioksidasi, sedangkan dalam proses glikolisis hanya dihasilkan dua molekul ATP.

Proses pembentukan energi atau dikenal sebagai fosforilasi oksidatif terdiri atas lima tahapan reaksi enzimatik yang melibatkan kompleks enzim yang terdapat pada membran bagian dalam mitokondria. Proses pembentukan ATP melibatkan proses transpor elektron dengan bantuan empat kompleks enzim, yang terdiri dari kompleks I (*NADH dehidrogenase*), kompleks II (*suksinat dehidrogenase*), kompleks III (*koenzim Q - sitokrom C reduktase*), kompleks IV (*sitokrom oksidase*), dan juga dengan bantuan FoF1 ATP Sintase dan Adenine Nucleotide Translocator (ANT).

Mitokondria adalah organel penting untuk sel aerob. Ini bekerja dalam integrasi metabolisme antara dalam beberapa jalur metabolisme, di antaranya fosforilasi oksidatif menonjol untuk produksi ATP dalam sel. Di dalamnya terjadi oksidasi asam lemak, siklus krebs atau asam trikarboksilat, siklus urea, *ketogenesis* dan *glukoneogenesis*. Mitokondria juga berperan dalam sintesis pirimidin dan

beberapa fosfolipid. Mitokondria juga terlibat, sebagian, dalam metabolisme asam amino dan lipid, dalam sintesis kelompok heme, dalam homeostasis kalsium dan dalam proses kematian sel yang diprogram atau *apoptosis*.

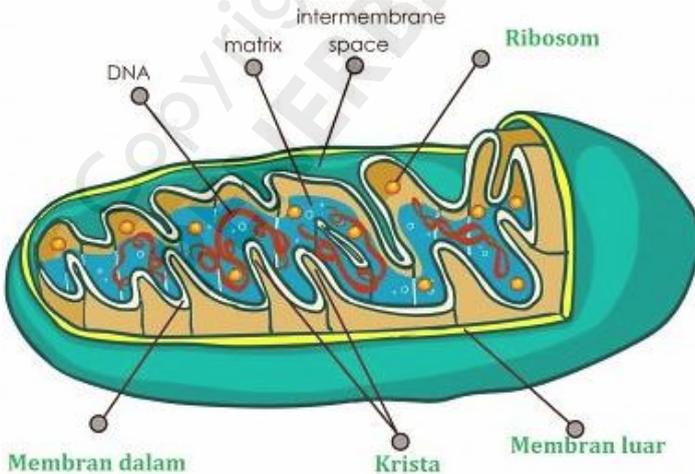
B. Mitokondria dalam Metabolisme Karbohidrat dan Lemak

Glikolisis, proses oksidasi glukosa untuk mengekstraksi energi darinya dalam bentuk ATP, terjadi di kompartemen sitosol. Dalam sel dengan metabolisme aerobik, piruvat (produk akhir dari jalur glikolitik per se) diangkut ke mitokondria, di mana ia berfungsi sebagai substrat untuk enzim piruvat dehidrogenase kompleks. Kompleks ini bertanggung jawab untuk dekarboksilasi piruvat menjadi CO₂, NADH dan asetil-KoA. Energi dari proses ini disimpan dalam bentuk molekul asetil-KoA, karena inilah yang memasuki siklus Krebs, di mana bagian asetilnya sepenuhnya teroksidasi menjadi CO₂ dan air.

Dengan cara yang sama, lipid yang bersirkulasi melalui aliran darah dan memasuki sel secara langsung teroksidasi di mitokondria melalui proses yang dimulai pada ujung karbonil yang sama dan dengan mana dua atom karbon dihilangkan secara bersamaan di setiap putaran, membentuk satu molekul asetil-KoA setiap kali. Pemecahan asam lemak berakhir dengan produksi NADH dan FADH₂, yang merupakan molekul elektron berenergi tinggi yang berpartisipasi dalam reaksi reduksi oksida. Selama siklus krebs, CO₂ dihilangkan sebagai produk limbah, sementara itu molekul NADH dan FADH₂ diangkut ke rantai transpor elektron di membran dalam mitokondria, di mana mereka digunakan dalam proses fosforilasi oksidatif.

C. Mitokondria Organ Respirasi Sel

Respirasi sel yaitu suatu proses penggalan energi dalam bentuk ATP dari glukosa dalam makanan yang kita makan. Respirasi sel terjadi melalui tiga langkah proses. Tahap pertama, glukosa dipecah dalam sitoplasma sel dalam proses yang disebut glikolisis. Kemudian pada tahap kedua, molekul piruvat diangkut ke dalam mitokondria. Mitokondria adalah organel yang biasa dengan sebutan energi "the power house of cell" dari sel-sel. Di dalam mitokondria, piruvat yang diubah menjadi molekul dua karbon kemudian memasuki siklus krebs. Mitokondria memiliki membran bagian dalam dengan banyak lipatan, lipatan itu disebut dengan krista. Pada lapisan sebelah dalam mitokondria terdapat enzim pernapasan dan enzim-enzim yang penting untuk reaksi daur kreb.



Gambar 2.3 Struktur Mitokondria

Sumber: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/320875>

Mitokondria terdapat pada semua sel yang hidup dan jumlahnya tergantung pada aktivitas sel yang bersangkutan.

Pada sel yang aktif, jumlahnya lebih banyak daripada sel yang kurang aktif. Hasil oksidasi senyawa organik di dalam mitokondrion adalah energi, yang berfungsi untuk membentuk ATP. Di dalam krista terdapat enzim untuk sistem transmise electron yang sangat penting dalam mengubah energi potensial dari bahan makanan menjadi energi potensial yang disimpan di dalam ATP.

Krista dapat meningkatkan luas permukaan membran di mana banyak reaksi respirasi seluler berlangsung. Kemudian tahap ketiga adalah energi memasuki rantai transpor elektron. Dalam langkah ini energi digunakan untuk menghasilkan ATP. Oksigen sangat diperlukan untuk membantu proses pengubahan glukosa menjadi ATP. Langkah pelepasan awal hanyalah dua molekul ATP untuk setiap glukosanya, dan langkah-langkah selanjutnya akan lebih banyak melepaskan ATP.

Contoh proses respirasi seluler pada glukosa, reaksi sederhananya adalah:

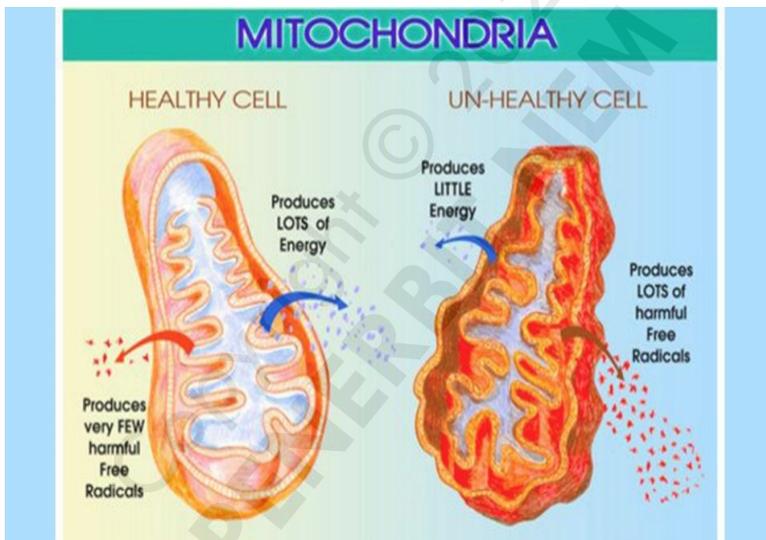


Reaksi pembongkaran glukosa menjadi $H_2O + CO_2 + \text{Energi}$, melalui empat tahap yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, daur krebs, dan sistem transpor elektron respirasi.

D. Disfungsi Mitokondria

Mitokondria merupakan organel sitoplasmik yang berperan dalam menentukan hidup matinya sel, penghasil energi dan terlibat dalam banyak fungsi vital sel seperti produksi ATP, regulasi ion Ca^{2+} intraseluler, produksi *reactive oxygen species* (ROS) dan *scavenger*, regulasi apoptosis

sel, dan aktivasi protease golongan kaspase. Disfungsi mitokondria dan stres oksidatif dicurigai memegang peranan penting dalam proses penuaan, kanker, sindroma metabolik dan penyakit neurodegeneratif terkait proses penuaan. Banyak penelitian mengulas tentang fisiologi mitokondria dan keterkaitannya dengan komponen sindrom metabolik yaitu diabetes, obesitas, stroke dan hipertensi, dan penyakit jantung. Modifikasi gaya hidup diperlukan untuk menjaga homeostasis mitokondria.



Gambar 2.4 Perbandingan Sel Mitokondria Sehat dan Mitokondria yang Mengalami Disfungsi

Sumber: <https://www.medicircle.in%2Fa-healthy-mitochondria-means-a-healthy>

Disfungsi mitokondria adalah kondisi yang ditandai dengan gangguan biogenesis mitokondria, perubahan potensial membran, berkurangnya jumlah mitokondria, serta perubahan aktivitas oksidatif protein karena akumulasi ROS pada sel dan jaringan.

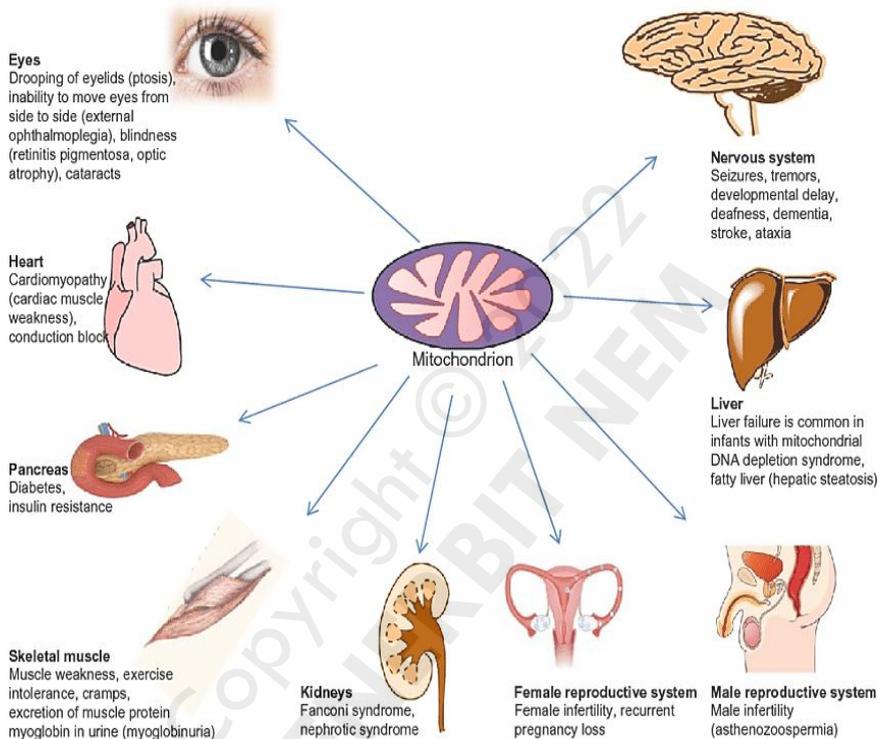
Belum dapat dipastikan apakah penyebab primer disfungsi mitokondria adalah keadaan resistensi insulin atau sebaliknya. Berbagai penelitian menunjukkan adanya hubungan antara disfungsi mitokondria dengan resistensi insulin di berbagai jaringan tubuh. Gangguan fungsi mitokondria di otot rangka menyebabkan penurunan sintesis ATP, dan peningkatan produksi ROS menyebabkan resistensi insulin dan obesitas. Peningkatan kadar gula memicu produksi ROS berlebihan yang menyebabkan gangguan morfologi mitokondria.

Penyakit yang mengganggu fungsi mitokondria manusia adalah kelompok penyakit yang cukup heterogen, karena berkaitan dengan mutasi pada DNA mitokondria. Tergantung pada jenis mutasi atau cacat genetik, ada manifestasi patologis yang berbeda terkait dengan mitokondria, yang dapat memengaruhi sistem organ dalam tubuh seseorang dari segala usia.

Disfungsi mitokondria ini juga dapat ditularkan dari satu generasi ke generasi lain melalui rute *maternal* (garis keturunan ibu), oleh kromosom X atau dengan rute *autosomal*. Untuk alasan ini, gangguan mitokondria benar-benar heterogen baik secara klinis maupun manifestasi spesifik jaringan.

Di antara beberapa manifestasi klinis terkait dengan disfungsi mitokondria dan bagian tubuh yang terkena. Disfungsi mitokondria terlibat dalam patofisiologi berbagai gangguan metabolisme dan neurodegeneratif yang memengaruhi organ tubuh penting termasuk otak, otot, mata, jantung, hati, dan pankreas dalam berbagai tingkat keparahan beberapa lainnya antara lain: atrofi saraf optik, ensefalopati nekrotik pada bayi, gangguan hepatocerebral,

epilepsi katastropik remaja, sindrom ataksia-neuropati, kardiomiopati, penyakit otak materi putih, disfungsi ovarium, tuli (gangguan pendengaran).



Gambar 2.5 Manifestasi Klinis Terkait Disfungsi Mitokondria

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Mitochondria-related-diseases-and-affected-body-parts-Mitochondrial-dysfunction-is_fig3_313264652



Bab 3

KARAKTERISTIK TIPE OTOT MANUSIA

A. Definisi dan Jenis Otot

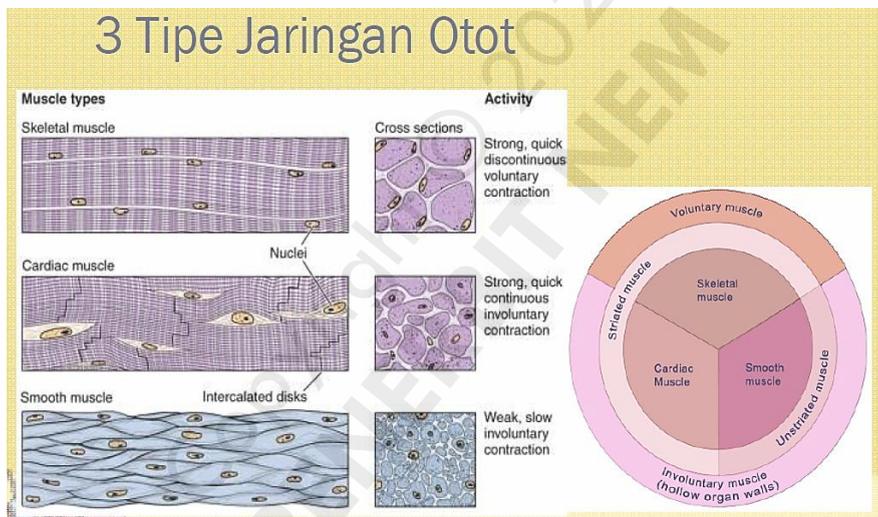
Otot adalah jaringan khusus yang berkontraksi dan berelaksasi untuk dapat menggerakkan bagian tubuh, merupakan jaringan peka rangsang (eksitabel) yang dapat dirangsang secara kimia, listrik, dan mekanik untuk menimbulkan suatu aksi (Yemima, 2010).

Setiap seseorang memiliki lebih dari 640 otot rangka yang melingkupi rangka seperti selimut tebal, tubuh memiliki paling sedikit dua atau tiga lapisan otot setelah lapisan otot permukaan. Sebagian besar otot terikat kuat di kedua sisinya dan melekat kuat pada tulang di kedua sisi persendian secara langsung atau dibantu oleh serat yang disebut *tendon* (Yemima, 2010).

Ada tiga jenis otot dalam tubuh:

1. Otot yang bertanggung jawab untuk menggerakkan anggota badan (ekstremitas) dan area luar tubuh yang disebut otot rangka atau otot lurik, terdiri dari sel-sel yang memiliki banyak nukleus di sepanjang seratnya, yang disebut *miofibril* (serat otot).
2. Otot jantung yang disebut otot kardiak merupakan kombinasi unik antara otot rangka dan otot polos. Otot jantung memiliki kontraksi bawaan sebanyak 70 kali per menit dan memiliki sel otot istimewa yang bekerja seperti layaknya sel saraf, yaitu mengirimkan sinyal untuk pergerakan otot ke seluruh bagian jantung.

- Otot polos didapatkan pada dinding usus, dinding lambung, kandung kemih, uterus, dinding pembuluh darah dan organ dalam lainnya. Otot ini mempunyai sel berbentuk menyerupai butir beras, dan fungsinya diatur oleh sistem saraf tidak sadar. Itu berarti bahwa walaupun otot di usus seseorang bergerak, yang bersangkutan tidak akan merasakannya. Meskipun demikian, bila pergerakannya berlebihan orang tersebut akan merasakan mulas atau *colic*.



Gambar 3.1 Jenis-jenis Otot Manusia
(sumber: Raven dan Johnson, 1996)

Otot rangka sendiri disusun dari serat-serat yang terdiri dari 2 tipe serat: Serat type 1 (*slow twitch*) ST dan serat type 2 (*fast twitch*) FT. Dalam setiap individu terdapat proporsi yang berbeda dari kedua tipe tersebut di setiap otot rangka, dari beberapa penelitian diketahui bahwa distribusi dari serat tersebut tidak diturunkan (*inherited*). Semua otot rangka tersusun dari gabungan ST dan FT (Argyro Sgourou, et al.,

2012). Serabut otot skeletal memperlihatkan beberapa struktural, histokimiawi, dan sifat karakteristik yang berbeda-beda. Karena perbedaan ini memiliki implikasi langsung terhadap fungsi otot, maka serabut otot merupakan hal yang menarik bagi para ilmuwan. Serabut dari beberapa motor unit akan berkontraksi sampai mencapai ketegangan (*tension*) maksimum yang lebih cepat daripada serabut lainnya setelah distimulasi.

Berdasarkan pada perbedaan karakteristik ini, serabut otot dibagi ke dalam 2 kategori utama yaitu serabut *fast twitch* (FT) dan *slow twitch* (ST). Untuk mencapai puncak ketegangan, serabut FT hanya mengambil waktu sekitar $1/7$ dibandingkan dengan waktu yang diperlukan oleh serabut ST. Namun demikian, kisaran waktu *slow twitch* yang besar untuk mencapai ketegangan maksimum nampak terlihat pada kedua kategori tersebut. Perbedaan waktu puncak ketegangan tersebut disebabkan oleh adanya konsentrasi myosin ATPase yang tinggi pada serabut FT. Serabut FT juga lebih besar diameternya daripada serabut ST. Karena karakteristiknya, maka serabut FT bisaanya lebih cepat lelah daripada serabut ST. Meskipun keutuhan serabut FT dan ST dalam otot dapat membangkitkan jumlah gaya puncak isometrik yang sama per area *cross-sectional* (diameter) otot, beberapa orang yang memiliki persentase serabut FT yang tinggi mampu membangkitkan jumlah torque dan power yang tinggi selama gerakan daripada memiliki lebih banyak serabut ST (Argyro Sgourou, et al., 2012).

Tabel 3.1
Klasifikasi Serabut Otot Skelet Manusia

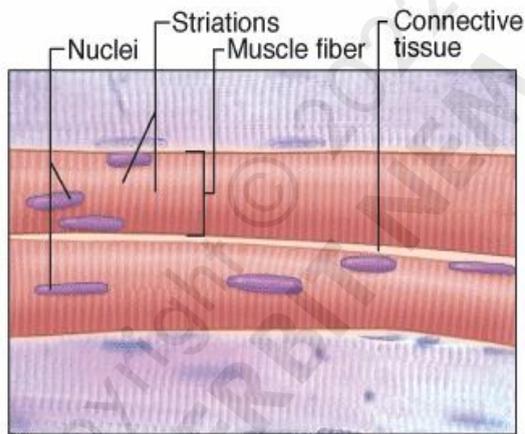
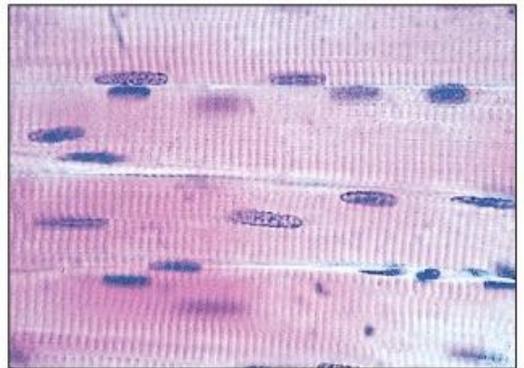
Karakteristik	Tipe I	Tipe II B	Tipe II A
Nama lain	Slow oksidatif; Merah	Fast glikolitik; Putih	Fast oksidatif; Merah
Motoneuron	Kecil	Besar	Besar
Pelepasan Impuls	Rendah	Tinggi	Tinggi
Endurance	Tinggi	Rendah	Sedang
Densitas Kapiler	Tinggi	Rendah	Sedang
Kandungan Miogloblin	Tinggi	Rendah	Sedang
Aktifitas ATPase	Rendah	Tinggi	Tinggi
Kapasitas pompa Ca	Sedang	Tinggi	Rendah
Kapasitas Glikolitik	Sedang	Tinggi	Tinggi
Kapasitas Oksidatif	Tinggi	Rendah	Tinggi

Sumber: Harris Siregar, dkk. 2004

Serabut FT terbagi ke dalam 2 kategori berdasarkan pada unsur histokimiawi. Tipe pertama dari serabut FT tahan terhadap kelelahan seperti karakteristik serabut ST. Tipe kedua dari serabut FT memiliki diameter yang besar, mengandung mitokondria dalam jumlah yang sedikit, dan lebih cepat lelah daripada tipe pertama.

Para peneliti telah menjelaskan beberapa skema kategorisasi berdasarkan pada unsur metabolik dan kontraktil dari ketiga tipe serabut yang berbeda (tabel 3.1).

Pada salah satu skema, serabut ST dikenal sebagai tipe I, dan serabut FT disebut dengan tipe Iia dan tipe Iib. Istilah sistem lainnya adalah serabut ST dikenal sebagai *slow-twitch oxidative* (SO), serabut FT terbagi ke dalam serabut *fast-twitch oxidative glycolytic* (FOG), dan *fast-twitch glycolytic* (FG). Kategorisasi tambahan lainnya adalah serabut ST, dan serabut *fast-twitch fatigue resistant* (FFR) serta serabut *fast-twitch fast fatigue* (FF).



a Skeletal muscle

Source: Mescher AL: *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas, 12th Edition*: <http://www.accessmedicine.com>

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Gambar 3.2 Otot Rangka/Skeletal Muscle

Sumber: Mescher A.L, 2010

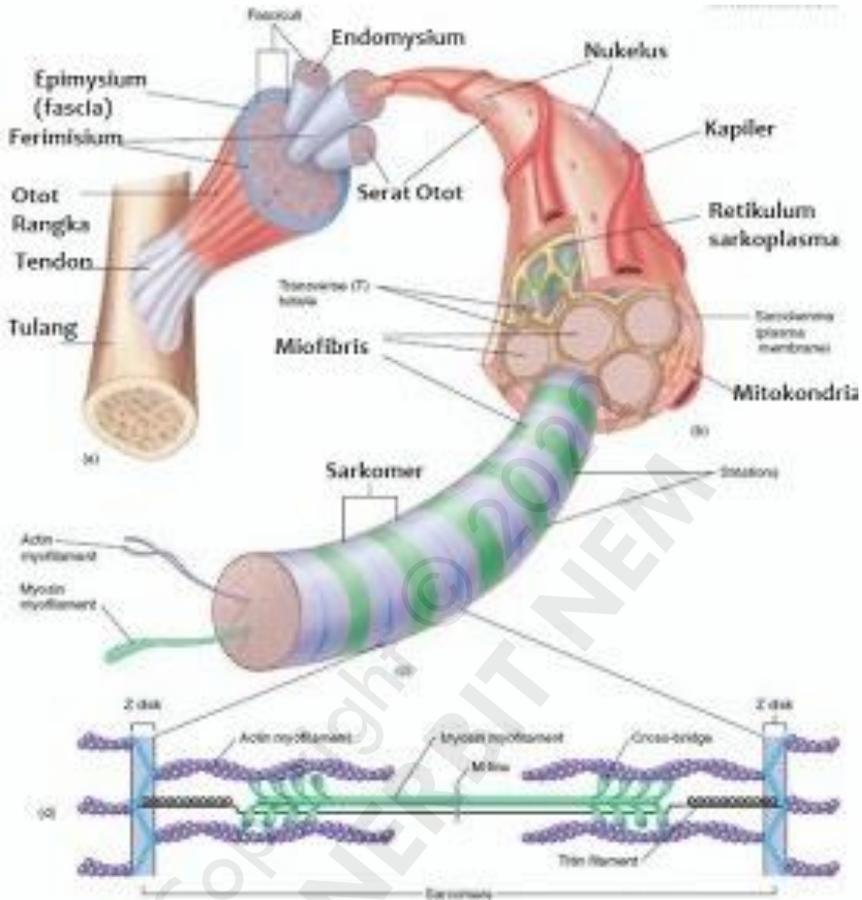
Beberapa sistem klasifikasi ini didasarkan pada perbedaan unsur serabut, dan tidak dapat dipertukarkan, meskipun seluruh serabut pada sebuah motor unit adalah tipe yang sama, sebagian besar otot skeletal mengandung serabut FT dan ST, dengan jumlah yang relatif bervariasi dari otot ke otot dan individu ke individu. Sebagai contoh, otot soleus secara umum hanya digunakan untuk

penyesuaian postural sehingga mengandung terutama serabut ST. Sebaliknya, otot gastrocnemius dapat mengandung lebih banyak serabut FT daripada serabut ST.

Serabut FT merupakan kontributor yang penting untuk kesuksesan performa atlet dalam suatu event atau pertandingan yang memerlukan kecepatan, kontraksi otot yang sangat kuat dan cepat (*power*), seperti lari cepat (*sprint*) dan melompat. Suatu event pertandingan yang membutuhkan *endurance* (daya tahan) seperti lari jarak jauh, bersepeda, berenang memerlukan fungsi serabut ST yang lebih tahan lelah secara efektif (Nir Eynon, 2012).

Penggunaan biopsi otot yang dilakukan oleh para peneliti menunjukkan sangat mendukung kesuksesan atlet pada event-event yang memerlukan kekuatan dan daya ledak yang cenderung memiliki proporsi serabut FT yang tinggi, dan atlet-atlet yang *endurance* tinggi bisaanya secara abnormal memiliki proporsi serabut ST yang tinggi. Meskipun penemuan ini menjelaskan bahwa program atletik training dapat menyebabkan konversi serabut dari ST ke FT atau sebaliknya, hal ini belum ditemukan pada kasus nyata.

Endurance exercise training (latihan daya tahan) menunjukkan dapat meningkatkan kecepatan kontraksi dari serabut ST soleus yang dominan hingga 20 persen. Namun demikian, peningkatan ini berkaitan dengan peningkatan konsentrasi serabut ATPase yang lebih besar daripada peningkatan persentase serabut *fast-twitch* yang ada dalam otot. Meskipun demikian, di dalam serabut FT telah ditemukan dapat terjadi konversi dari tipe IIb ke tipe IIa dengan program *resistance strength training* (latihan penguatan) yang berat, *endurance training* (latihan daya tahan), serta konsentrik dan eksentrik isokinetik training.



Gambar 3.3 Otot Rangka dan Pembuluh Darah Otot
sumber: Raven dan Johnson, 1996

Diketahui ada dua faktor yang memengaruhi komposisi tipe serabut otot yaitu usia dan obesitas. Terjadi secara progresif, di mana usia berkaitan dengan penurunan jumlah motor unit dan serabut otot serta ukuran serabut tipe II tidak berkaitan dengan jenis kelamin atau training. Hingga akhirnya ditemukan bahwa peran genetik terhadap tipe serabut dan bahwa otot skeletal dapat berespon terhadap tuntutan perubahan fungsional dengan menghasilkan

perubahan pada phenotype genetik dari serabut otot seseorang. Sel-sel batang myogenik yang dinamakan dengan sel-sel satelit secara normal menjadi inaktif, tetapi dapat dirangsang melalui perubahan pada aktivitas otot secara habitual (kebiasaan) untuk proliferasi dan membentuk serabut otot yang baru.

Hal ini dapat menjadi hipotesis bahwa regenerasi otot setelah latihan dapat memberikan suatu stimulus terhadap keterlibatan sel satelit dalam *remodeling* (perbaikan) otot melalui perubahan genetik yang nampak pada serabut otot dan fungsinya (Shewata Shenoy, 2010).

B. Daya Tahan (*Endurance*)

Daya tahan (*endurance*) adalah kemampuan seseorang melakukan aktifitas terus menerus yang berlangsung cukup lama. Daya tahan ini dibagi atas 2 (dua) yakni:

1. **Daya tahan umum (*general endurance*)** adalah kemampuan seseorang dalam mempergunakan sistem jantung, paru-paru, dan peredaran darahnya secara efektif dan efisien untuk menjalankan kerja secara terus-menerus yang melibatkan kontraksi sejumlah otot dengan intensitas tinggi dalam waktu yang cukup lama.
2. **Daya tahan otot (*muscle endurance*)** adalah kemampuan seseorang dalam mempergunakan ototnya untuk berkontraksi secara terus-menerus dalam waktu yang relatif lama dengan beban tertentu.

Daya tahan adalah kemampuan peralatan tubuh seseorang untuk melawan kelelahan selama aktifitas berlangsung. Latihan ketahanan memiliki pengaruh terhadap kualitas sistem *cardiovascular*, pernafasan, dan

sistem peredaran darah sehingga proses pemenuhan energi selama aktifitas dapat berlangsung dengan lancar. Atlet yang memiliki daya tahan baik mampu bekerja lebih lama dan tidak cepat merasa lelah. Dengan demikian latihan daya tahan akan memberikan pengaruh positif terhadap kualitas *cardiovascular*, pernafasan dan sistem peredaran darah seorang atlet. Oleh karena atlet yang memiliki komponen ketahanan yang baik, selain mampu bekerja lebih lama dan tidak mudah mengalami kelelahan juga dapat lebih cepat dalam *recovery* dirinya (K. Adina, 2012).

Dalam pengukuran ini menggunakan *Harvard Step Test* yaitu naik turun bangku setinggi 40 cm untuk laki-laki dan 35 cm untuk perempuan. Tujuan dari pengukuran ini yaitu untuk mengukur kemampuan dan kesanggupan kerja fisik seseorang yang ditunjukkan oleh kerja jantung dan paru-paru.

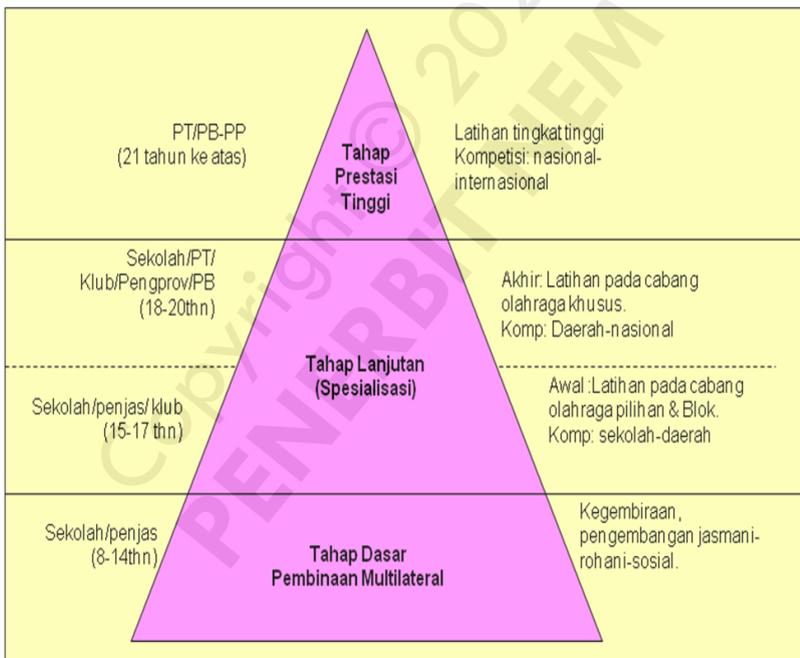
Daya tahan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Umur

Umur memengaruhi hampir semua komponen kesegaran jasmani. Daya tahan *cardiovascular* menunjukkan suatu tendensi meningkat pada masa anak-anak sampai sekitar dua puluh tahun dan mencapai maksimal di usia 20 sampai 30 tahun. Daya tahan tersebut akan makin menurun sejalan dengan bertambahnya usia, dengan penurunan 8-10 persen per dekade untuk individu yang tidak aktif, sedangkan untuk individu yang aktif penurunan tersebut 4 sampai 5 persen per dekade.

Peningkatan kekuatan otot pria dan wanita sama sampai usia 12 tahun, selanjutnya setelah usia pubertas

pria lebih banyak peningkatan kekuatan otot, maksimal dicapai pada usia 25 tahun dan secara berangsur-angsur menurun dan pada usia 65 tahun kekuatan otot hanya tinggal 65 sampai 70 persen dari kekuatan otot sewaktu berusia 20 sampai 25 tahun, oleh sebab itu strategi untuk melahirkan atlet-atlet berprestasi harus berpedoman pada tahap-tahap program pembinaan yang tepat sesuai umur seperti yang dapat kita lihat pada gambar piramida (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Piramida Program Latihan

Sumber: Ria Lumintuarso, 2014

2. Jenis Kelamin

Kesegaran jasmani antara pria dan wanita berbeda karena adanya perbedaan ukuran tubuh yang terjadi setelah masa pubertas. Daya tahan *cardiovascular* pada

masa pubertas terdapat perbedaan, karena wanita memiliki jaringan lemak yang lebih banyak dibandingkan pria. Hal yang sama juga terjadi pada kekuatan otot, karena perbedaan kekuatan otot antara pria dan wanita disebabkan oleh perbedaan ukuran otot baik besar maupun proporsinya dalam tubuh.

3. Kegiatan Fisik

Kegiatan yang memengaruhi semua komponen kesegaran jasmani. Dengan melakukan latihan olahraga atau kegiatan fisik yang baik dan benar berarti seluruh organ dipicu untuk menjalankan fungsinya sehingga mampu berrespon terhadap setiap beban yang diberikan.

Latihan fisik akan menyebabkan otot menjadi kuat. Perbaikan fungsi otot, terutama otot pernapasan menyebabkan pernapasan lebih efisien pada saat istirahat. Ventilasi paru pada orang yang terlatih dan tidak terlatih relatif sama besar, tetapi orang yang berlatih bernapas lebih lambat dan lebih dalam. Hal ini menyebabkan oksigen yang diperlukan untuk kerja otot pada proses ventilasi berkurang, sehingga dengan jumlah oksigen sama, otot yang terlatih akan lebih efektif kerjanya.

Pada orang yang dilatih selama beberapa bulan terjadi perbaikan pengaturan pernapasan. Perbaikan ini terjadi karena menurunnya kadar asam laktat darah, yang seimbang dengan pengurangan penggunaan oksigen oleh jaringan tubuh. Latihan fisik akan memengaruhi organ sedemikian rupa sehingga kerja organ lebih efisien dan kapasitas kerja maksimum yang

dicapai lebih besar. Faktor yang paling penting dalam perbaikan kemampuan pernapasan untuk mencapai tingkat optimal adalah kesanggupan untuk meningkatkan *capillary bed* yang aktif, sehingga jumlah darah yang mengalir di paru lebih banyak, dan darah yang berikatan dengan oksigen per unit waktu juga akan meningkat. Peningkatan ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan jaringan terhadap oksigen.

Penurunan fungsi paru orang yang tidak berolahraga atau usia tua terutama disebabkan oleh hilangnya elastisitas paru-paru dan otot dinding dada. Hal ini menyebabkan penurunan nilai kapasitas vital dan nilai *forced expiratory volume*, serta meningkatkan volume residual paru.

4. Kebiasaan Merokok

Sudah lama diketahui efek jelek rokok terhadap paru-paru, antara lain adalah penyakit paru obstruktif menahun yang dikenal dengan COPD.

Pada asap tembakau terdapat 4 persen karbon monoksida (CO). Afinitas CO pada hemoglobin 200-300 kali lebih kuat dari pada oksigen, ini berarti CO tersebut lebih cepat mengikat hemoglobin daripada oksigen. Hemoglobin dalam tubuh berfungsi sebagai alat pengangkutan oksigen untuk diedarkan ke jaringan tubuh yang memerlukannya. Bila seseorang merokok 10-20 batang sehari di dalam hemoglobin mengandung 4,9 persen CO maka kadar oksigen yang diedarkan ke jaringan akan menurun sekitar 5 persen (DepKes, 2004), selain itu dalam rokok mengandung NO dan NO₂, merupakan substansi yang dapat memicu terbentuknya

radikal bebas yang berlebihan yang menyebabkan terbentuknya lipid peroksida yang lebih lanjut merusak dinding sel. Beberapa sel tubuh telah terbukti mengalami proses degeneratif antara lain membran sel endotel, pembuluh darah, epitel paru, lensa mata, dan neuron.

C. Daya Ledak (*Explosive Power*)

Daya ledak menunjukkan kekuatan dan kecepatan kontraksi otot dalam suatu pola gerakan yang sangat cepat disertai tenaga yang maksimal seperti pada kecepatan pelari sprint atau tolak peluru.

Daya ledak adalah kemampuan untuk melepaskan kekuatan otot secara maksimal dalam waktu sesingkat-singkatnya (Abd Kadir, 2002). Daya ledak penting untuk cabang olahraga yang eksplosif seperti sprint, lari gawang, nomor-nomor lempar dan lompat dalam atletik (Harsono, 2008).

Lebih lanjut dikatakan bahwa daya ledak adalah kemampuan olahragawan untuk mengatasi tahanan dengan suatu kecepatan kontraksi tinggi (Carmen Fiuza, et al., 2011).

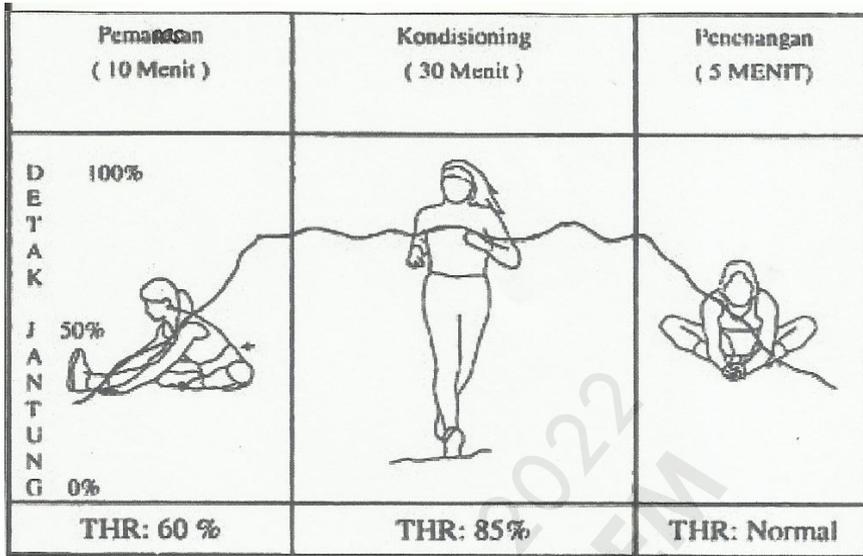
Daya ledak ialah kombinasi dari kecepatan maksimal dan kekuatan maksimal. Daya ledak ini ditunjukkan oleh perpindahan tubuh (dalam tendangan jauh) atau benda (peluru yang ditolakkan) melintasi udara, di mana otot-otot harus mengeluarkan kekuatan dengan kecepatan yang tinggi, agar dapat membawa tubuh atau objek pada saat pelaksanaan gerak untuk dapat mencapai suatu jarak. Untuk mengembangkan daya ledak seorang atlet, maka yang perlu dilatih adalah komponen kondisi fisik yang membentuk daya ledak tersebut yaitu kekuatan dan kecepatan. Daya ledak dipengaruhi oleh kekuatan baik kecepatan rangsang

sistem saraf maupun kecepatan kontraksi otot. Berdasar pada beberapa definisi di atas dapat disimpulkan bahwa dua unsur penting dalam menentukan kualitas daya ledak adalah kekuatan dan kecepatan.

Kekuatan sendiri adalah tegangan suatu otot, yaitu kemampuan untuk membangkitkan tegangan terhadap suatu tahanan. Kebutuhan kekuatan yang diperlukan dalam setiap aktifitas olahraga akan berbeda-beda, maka untuk mengembangkan unsur kekuatan pada suatu cabang olahraga tentunya harus dengan metode latihan yang spesifik, teratur dan terarah sesuai kebutuhan gerak cabang olahraga tersebut, sedang kecepatan merupakan kemampuan seorang atlet untuk mengerjakan gerakan berkesinambungan dalam bentuk yang sama dengan waktu sesingkat-singkatnya. Kecepatan sangat dibutuhkan dalam olahraga yang sangat mengandalkan kecepatan, seperti lari pendek 100 meter dan 200 meter.

D. Ketahanan Kardiovaskuler

Istilah ketahanan kardiovaskuler sama pengertiannya dengan beberapa istilah lain seperti kebugaran kardiovaskuler, daya tahan jantung, kebugaran aerobik, dan daya tahan kardiorespirasi. Kata kardio berarti pembuluh darah dan pembuluh jantung. Sehingga istilah kardiovaskuler lebih tepat daripada kardiorespirasi (Fox, et, al., 1987). Hal ini dikarenakan respirasi lebih mengacu kepada paru-paru dan pergantian oksigen dan karbondioksida yang terjadi di antara paru-paru, darah, dan otot. Kebugaran kardiovaskuler adalah ukuran kemampuan jantung untuk memompa darah yang kaya oksigen ke bagian tubuh lainnya dan kemampuan untuk menyesuaikan serta memulihkan dari aktivitas jasmani (Rusli Lutan.2002).



Gambar 3.5 Tahapan Latihan Ketahanan Kardiovaskuler

Sumber: Djoko Pekik, 2004

Ketahanan kardiovaskuler adalah kesanggupan sistem jantung, paru, dan pembuluh darah untuk berfungsi secara optimal pada keadaan istirahat dan kerja dalam mengambil oksigen dan menyalurkan ke jaringan yang aktif sehingga dapat dipergunakan pada proses metabolisme tubuh (Djoko Pekik, 2004), kebugaran kardiovaskuler juga dapat diartikan sebagai keadaan di mana jantung seseorang mampu bekerja dengan mengatasi berat beban selama suatu kerja tertentu. Ketahanan kardiovaskuler sangat penting untuk menunjang kerja otot dengan mengambil oksigen dan menyalurkannya ke seluruh jaringan otot yang sedang aktif, sehingga dapat digunakan untuk proses metabolisme. Oleh karena itu, ketahanan kardiovaskuler dianggap sebagai komponen kebugaran jasmani yang paling pokok. Ketahanan berhubungan erat dengan kemampuan seseorang dalam menjalankan aktivitas harian. Tujuan untuk meningkatkan

ketahanan kardiovaskuler setiap individu berbeda-beda tergantung kebutuhan dan kondisi seseorang. Semakin berat tugas atau kerja fisik seseorang, semakin tinggi pula tingkat ketahanan kardiovaskuler yang harus dimiliki oleh orang tersebut.

Menurut sejumlah pakar juga dikatakan bahwa latihan kondisi fisik yang umum terdiri dari latihan dasar yang banyak ragamnya, artinya pembangunan dari semua sisi yang serasi dan seimbang dengan peningkatan sistem kardiopulmonal atau jantung dan peredaran darah dengan kekuatan otot, luas pergerakan sendi yang dibutuhkan, sedangkan latihan fisik khusus, dilakukan atas dasar latihan umum yang luas pada kekhususan cabang olahraga misalnya daya tahan aerobik. Agar latihan yang dilaksanakan dapat optimal bagi peningkatan ketahanan kardiovaskuler maka harus berpedoman pada tahap-tahap latihan ketahanan.

~oOo~

Bab 4

METABOLISME AEROBIK DAN ANAEROBIK

A. Metabolisme dalam Olahraga

Di dalam berbagai jenis olahraga baik olahraga dengan gerakan-gerakan yang bersifat konstan seperti jogging, marathon dan bersepeda atau juga pada olahraga yang melibatkan gerakan-gerakan yang eksplosif seperti menendang bola atau gerakan smash dalam olahraga tenis atau bulutangkis, jaringan otot hanya akan memperoleh energi dari pemecahan molekul adenosine triphosphate atau yang biasa disingkat sebagai ATP. Melalui simpanan energi yang terdapat di dalam tubuh yaitu simpanan *phosphocreatine* (PCr), karbohidrat, lemak dan protein, molekul ATP ini akan dihasilkan melalui metabolisme energi yang akan melibatkan beberapa reaksi kimia yang kompleks. Penggunaan simpanan-simpanan energi tersebut beserta jalur metabolisme energi yang akan digunakan untuk menghasilkan molekul ATP ini juga akan bergantung terhadap jenis aktivitas serta intensitas yang dilakukan saat berolahraga.

Secara umum aktivitas yang terdapat dalam kegiatan olahraga akan terdiri dari kombinasi 2 jenis aktivitas yaitu aktivitas yang bersifat aerobik dan dan aktivitas yang bersifat anaerobik. Kegiatan/jenis olahraga yang bersifat ketahanan seperti jogging, marathon, triathlon dan juga bersepeda jarak jauh merupakan jenis olahraga dengan komponen aktivitas aerobik yang dominan sedangkan

kegiatan olahraga yang membutuhkan tenaga besar dalam waktu singkat seperti angkat berat, *push-up*, *sprint* atau juga loncat jauh merupakan jenis olahraga dengan komponen komponen aktivitas anaerobik yang dominan. Namun dalam beragamnya berbagai cabang olahraga akan terdapat jenis olahraga atau juga aktivitas latihan dengan satu komponen aktivitas yang lebih dominan atau juga akan terdapat cabang olahraga yang menggunakan kombinasi antara aktivitas yang bersifat aerobik dan anaerobik. Aktivitas aerobik merupakan aktivitas yang bergantung terhadap ketersediaan oksigen untuk membantu proses pembakaran sumber energi sehingga juga akan bergantung terhadap kerja optimal dari organ-organ tubuh seperti jantung, paru-paru dan juga pembuluh darah untuk dapat mengangkut oksigen agar proses pembakaran sumber energi dapat berjalan dengan sempurna. Aktivitas ini biasanya merupakan aktivitas olahraga dengan intensitas rendah-sedang yang dapat dilakukan secara kontinu dalam waktu yang cukup lama seperti jalan kaki, bersepeda atau juga jogging.

Aktivitas anaerobik merupakan aktivitas dengan intensitas tinggi yang membutuhkan energi secara cepat dalam waktu yang singkat namun tidak dapat dilakukan secara kontinu untuk durasi waktu yang lama. Aktivitas ini biasanya juga akan membutuhkan interval istirahat agar ATP dapat diregenerasi sehingga kegiatannya dapat dilanjutkan kembali. Contoh dari jenis olahraga yang memiliki aktivitas anaerobik dominan adalah lari cepat (*sprint*), *push-up*, *body building*, *gimnastik* atau juga loncat jauh. Dalam beberapa jenis olahraga beregu atau juga individual akan terdapat pula gerakan-gerakan seperti melompat, mengoper, melempar, menendang bola, memukul

bola atau juga mengejar bola dengan cepat yang bersifat anaerobik. Oleh sebab itu, maka beberapa cabang olahraga seperti sepakbola, bola basket atau juga tenis lapangan disebutkan merupakan kegiatan olahraga dengan kombinasi antara aktivitas aerobik dan anaerobik.

B. Metabolisme Anaerobik

1. Sistem PCr (*Phosphocreatine*)

Creatine (Cr) merupakan jenis asam amino yang tersimpam di dalam otot sebagai sumber energi. Di dalam otot, bentuk *creatine* yang sudah ter-fosforilasi yaitu *phosphocreatine* (PCr) akan mempunyai peranan penting dalam proses metabolisme energi secara anaerobik di dalam otot untuk menghasilkan ATP. Dengan bantuan enzim *creatine kinase*, *phosphocreatine* (PCr) yang tersimpan di dalam otot akan dipecah menjadi Pi (inorganik fosfat) dan *creatine* di mana proses ini juga akan disertai dengan pelepasan energi sebesar 43 kJ (10.3 kkal) untuk tiap 1 mol PCr. Inorganik fosfat (Pi) yang dihasilkan melalui proses pemecahan PCr ini melalui proses fosforilasi dapat mengikat kepada molekul ADP (adenosine diphosphate) untuk kemudian kembali membentuk molekul ATP (adenosine triphosphate).

Melalui proses hidrolisis PCr, energi dalam jumlah besar (2.3 mmol ATP/kg berat basah otot per detik) dapat dihasilkan secara instan untuk memenuhi kebutuhan energi pada saat berolahraga dengan intensitas tinggi yang bertenaga. Namun karena terbatasnya simpanan PCr yang terdapat di dalam jaringan otot yaitu hanya sekitar 14-24 mmol ATP/kg

berat basah otot maka energi yang dihasilkan melalui proses hidrolisis ini hanya dapat bertahan untuk mendukung aktivitas anaerobik selama 5-10 detik. Karena fungsinya sebagai salah satu sumber energi tubuh dalam aktivitas anaerobik, suplementasi *creatine* mulai menjadi populer pada awal tahun 1990-an setelah berakhirnya Olimpiade Barcelona.

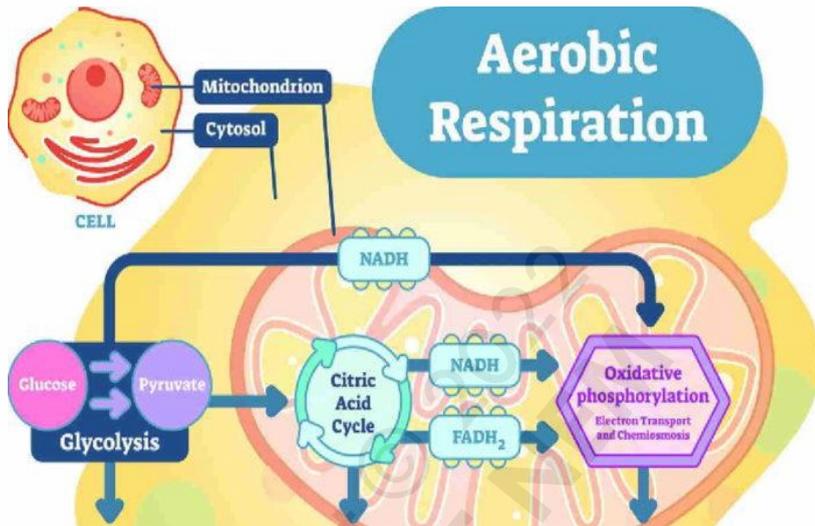
Creatine dalam bentuk *creatine monohydrate* telah menjadi suplemen nutrisi yang banyak digunakan untuk meningkatkan kapasitas aktivitas anaerobik. Namun secara alami, *creatine* ini akan banyak terkandung di dalam bahan makanan protein hewani seperti daging dan ikan. Data dari hasil-hasil penelitian dalam bidang olahraga yang telah dilakukan menunjukkan bahwa konsumsi *creatine* sebanyak 5-20 g per harinya secara rutin selama 20 hari sebelum musim kompetisi berlangsung dan menguranginya menjadi 5 gr/hari saat memulai kompetisi dapat memberikan peningkatan terhadap jumlah *creatine* dan *phosphocreatine* di dalam otot di mana peningkatannya ini juga akan disertai dengan peningkatan dalam performa latihan anaerobik. Data juga membuktikan bahwa cara terbaik untuk 'mengisi' *creatine* di dalam otot pada saat menjalani rutinitas latihan adalah mengimbangnya dengan mengkonsumsi karbohidrat dalam jumlah besar dan mengkonsumsi lemak dalam jumlah yang kecil. Namun, perlu diperhatikan jangan menggunakan *creatine* lebih dari yang direkomendasikan utamanya jika sedang atau pernah mengalami gangguan fungsi ginjal. Dosis tinggi dapat membahayakan jantung, ginjal, serta hati. Jangan gunakan bentuk suplemen lain seperti tablet, cairan,

bubuk, dan minuman di waktu yang bersamaan tanpa saran medis serta perbanyak konsumsi cairan selama mengkonsumsi suplemen *creatine*.

2. Sistem Glikolisis

Glikolisis merupakan salah satu bentuk metabolisme energi yang dapat berjalan secara anaerobik tanpa kehadiran oksigen. Proses metabolisme energi ini menggunakan simpanan glukosa yang sebagian besar akan diperoleh dari glikogen otot atau juga dari glukosa yang terdapat di dalam aliran darah untuk menghasilkan ATP. Inti dari proses glikolisis yang terjadi di dalam sitoplasma sel ini adalah mengubah molekul glukosa menjadi asam piruvat di mana proses ini juga akan disertai dengan pembentukan ATP. Jumlah ATP yang dapat dihasilkan oleh proses glikolisis ini akan berbeda bergantung berdasarkan asal molekul glukosa. Jika molekul glukosa berasal dari dalam darah maka 2 buah ATP akan dihasilkan namun jika molekul glukosa berasal dari glikogen otot maka sebanyak 3 buah ATP akan dapat dihasilkan. Molekul asam piruvat yang terbentuk dari proses glikolisis ini dapat mengalami proses metabolisme lanjut baik secara aerobik maupun secara anaerobik bergantung terhadap ketersediaan oksigen di dalam tubuh. Pada saat berolahraga dengan intensitas rendah di mana ketersediaan oksigen di dalam tubuh cukup besar, molekul asam piruvat yang terbentuk ini dapat diubah menjadi CO_2 dan H_2O di dalam mitokondria sel dan jika ketersediaan oksigen terbatas di dalam tubuh atau saat pembentukan asam piruvat terjadi secara cepat seperti saat melakukan

sprint, maka asam piruvat tersebut akan terkonversi menjadi asam laktat.



Gambar 4.1 Sistem Respirasi Aerobik
Sumber: Biologipedia.com

C. Metabolisme Aerobik

Pada jenis-jenis olahraga yang bersifat ketahanan (*endurance*) seperti lari marathons, bersepeda jarak jauh (*road cycling*) atau juga lari 10 km, produksi energi di dalam tubuh akan bergantung terhadap sistem metabolisme energi secara aerobik melalui pembakaran karbohidrat, lemak dan juga sedikit dari pemecahan protein. Oleh karena itu, maka atlet-atlet yang berpartisipasi dalam ajang-ajang yang bersifat ketahanan ini harus mempunyai kemampuan yang baik dalam memasok oksigen ke dalam tubuh agar proses metabolisme energi secara aerobik dapat berjalan dengan sempurna. Proses metabolisme energi secara aerobik merupakan proses metabolisme yang membutuhkan kehadiran oksigen (O_2) agar prosesnya dapat berjalan

dengan sempurna untuk menghasilkan ATP. Pada saat berolahraga, kedua simpanan energi tubuh yaitu simpanan karbohidrat (glukosa darah, glikogen otot, dan hati) serta simpanan lemak dalam bentuk trigeliserida akan memberikan kontribusi terhadap laju produksi energi secara aerobik di dalam tubuh. Namun bergantung terhadap intensitas olahraga yang dilakukan, kedua simpanan energi ini dapat memberikan jumlah kontribusi yang berbeda.

Secara singkat proses metabolisme energi secara aerobik bahwa untuk meregenerasi ATP, 3 simpanan energi akan digunakan oleh tubuh yaitu simpanan karbohidrat (glukosa, glikogen), lemak dan juga protein. Di antara ketiganya, simpanan karbohidrat dan lemak merupakan sumber energi utama saat berolahraga.

~oOo~

Bab 5

SISTEM ENERGI DALAM KONTRAKSI OTOT

A. Pengertian dan Jenis Energi

Energi untuk suatu kontraksi otot diperoleh dari proses penguraian senyawa kimia, yang disebut *adenosine trifosfat* (ATP). Proses ini terjadi mitokondria serabut otot. Jumlah ATP dalam serabut otot 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 di mana meliputi oksidasi karbohidrat dan lemak.

Pada awal aktifitas fisik atau olahraga, energi untuk kontraksi berasal dari ATP yang tersedia pada serabut-serabut otot, pada proses selanjutnya, apabila kegiatan fisik atau olahraga itu dilanjutkan, maka energi untuk kontraksi otot dari ATP dibentuk melalui proses glikolisis glikogen, protein, dan lemak serta resistensi dari asam laktat dan asam piruvat (Yusuf, 2010).

Sumber ATP diperoleh dari makanan yang kita makan sehari-hari berupa karbohidrat, protein, dan lemak melalui proses sistem pencernaan.



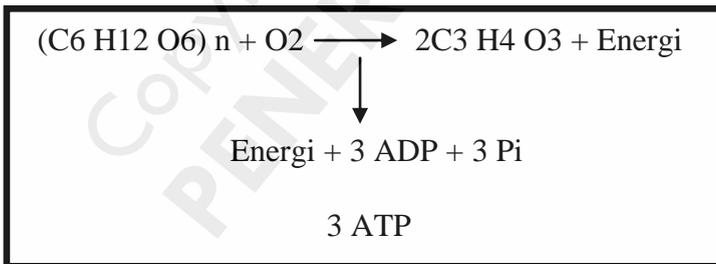
Gambar 5.1 Pembentukan ATP

(Sumber: Fox EL, et al., 1993)

Sistem pembentukan energi secara garis besar melalui dua sistem yaitu sistem aerobik dan anaerobik. Pada sistem aerobik proses pembentukan energinya menggunakan oksigen (O_2). Berdasarkan reaksi-reaksi kimianya sistem ini dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu;

1. Aerobik Glikolisis
2. Siklus Krebs
3. Sistem Transportasi Elektron.

Sistem aerobik glikolisis mengubah glikogen menjadi CO_2 , H_2O dan ATP dengan menggunakan O_2 , yang dapat digambarkan dalam skema berikut:



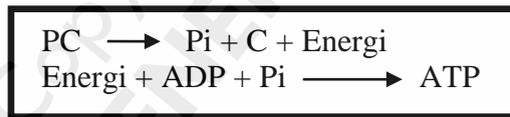
Gambar 5.2 Sistem Aerobik Glikolisis

(Sumber: Fox EL, et al., 1993)

Pada siklus krebs atau yang disebut juga *tricarboxylic Acid (TCA)*, asam piruvat terbentuk ketika proses aerobic glikolisis berlangsung di mitokondria dan terus terjadi penguraian melalui proses reaksi-reaksi kimia. Pada proses ini juga ditemukan terjadinya produksin karbondioksida,

oksidasi, dan produksi ATP (Yusuf, 2010). Sedangkan dalam sistem transportasi elektron yang merupakan lanjutan dari proses penguraian glikogen dan H₂O yang dibentuk dari ion-ion hydrogen dan elektron-elektron yang dilepaskan pada sistem krebs, dan digabung dengan O₂ yang dihirup. Rangkaian reaksi spesifik tersebut dan pembentukan H₂O disebut sistem transportasi elektron atau rantai respiratori dan pembentukan energi dalam sistem ini disebut *oxidative phosphorylation* (Yusuf, 2010).

Dalam sistem anaerobik terbagi pula atas ATP-PC (*phosphagen system*) dan sistem anaerobik glikolisis (*lactic acid system*). Sistem ATP-PC terdapat pada serabut-serabut otot ATP dan PC berisi sejumlah phosphate. Proses pembentukan energinya terdiri dari P = phosphate dan C = Creatin. PC mengalami proses penguraian kimiawi menjadi *inorganic phosphate* (Pi), creatin (C) dan energi kemudian membentuk energi, ADP, Pi dan terbentuklah ATP baru.

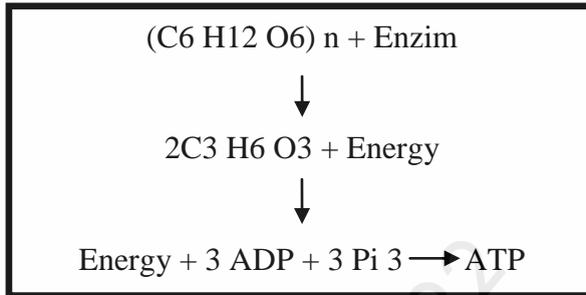


Gambar 5.3 Sistem ATP-PC
(Sumber: Fox EL, et al., 1993)

Pada kegiatan fisik atau olahraga yang maksimal, seperti pada olahraga sprint 100 meter, penyediaan energi kontraksi ototnya dari sistem anaerobik ini, tetapi hanya bertahan kurang lebih 10 detik, setelah melakukan istirahat selama 2-3 menit, maka PC dan ATP terbentuk kembali.

Berbeda dengan aerobik glikolisis, anaerobik glikolisis mengubah glikogen menjadi asam piruvat dibantu sejumlah enzim tanpa O₂, dari proses tersebut juga dihasilkan ATP

tetapi penyediaan energi untuk kontraksi sistem ini hanya mampu bertahan 30 detik sampai 2 menit (Yusuf, 2010).



Gambar 5.4 Anaerobik Glikolisis
(Sumber: Fox EL, et al., 1993)

Menurut Nawawi (2008) energi adalah kemampuan atau kapasitas untuk melakukan kerja. Kerja merupakan hasil perkalian antara tenaga (*force*) dan jarak (*distance*). Semua energi yang digunakan dalam proses biologis berasal dari matahari. Energi dari matahari tersebut dirubah oleh tumbuh-tumbuhan menjadi energi kimia terutama berbentuk karbohidrat, selulosa, protein, dan lemak. Energi dapat terbentuk dari bahan kimia, peristiwa mekanik, panas, cahaya, listrik, dan nuklir. Dari beberapa energi tersebut, dalam proses selanjutnya bisa mengalami proses transformasi energi. Misalnya energi kimia dapat diubah menjadi energi mekanik yang akan menghasilkan gerak, energi nuklir dapat menyebabkan munculnya energi listrik dan lain sebagainya.

B. Pembentukan Energi dalam Tubuh

Untuk melakukan berbagai aktivitas tubuh memerlukan gerak, gerak dihasilkan dari kontraksi dan relaksasi otot rangka, untuk bisa berkerja otot rangka

memerlukan energi. Energi diambil dari pemecahan bahan kimia di dalam otot yaitu ATP (Adenosine Triphosphate). Bahan makanan yang dimakan tidak secara langsung dapat untuk digunakan sebagai energi. Lebih ditekankan lagi bahwa sebenarnya energi pada pemecahan bahan makanan tidak dapat langsung digunakan, tetapi energi pada bahan makanan tersebut harus diubah menjadi kimia yang berbentuk ATP. Di dalam tubuh, ATP dipecah menjadi ADP (Adenosine Diphosphate) dan Pi (Phosphate Inorganik). Putusnya ikatan phosphate berenergi tinggi tersebut menghasilkan energi sebesar 8-12 kcal (Wilmore, 1994). Energi inilah yang akan digunakan untuk kerja semua sel dalam tubuh kita untuk menjalankan tugasnya masing-masing. Oleh karena ATP ini terdapat di dalam semua sel jaringan tubuh, sebab ATP yang tersedia pada satu sel tidak dapat dipakai untuk sel lain, melainkan untuk sel itu sendiri.

Fox (1993) menjelaskan ATP dalam tubuh sangat terbatas jumlahnya, apabila otot berkontraksi dengan cepat dan kuat maka ATP yang tersedia akan cepat habis terpakai menjadi energi oleh karena itu ATP harus dibentuk kembali. ATP dapat dibentuk lagi melalui mekanisme anaerobik dan mekanisme aerobik. Perbedaan dari keduanya adalah penggunaan oksigen dalam proses pembentukannya, mekanisme anaerobik tidak memerlukan oksigen dalam proses pembentukan ATP sedangkan aerobik memerlukan bantuan oksigen.

C. Sistem Energi Predominan Cabang Olahraga

Istilah dominan sistem energi ini dipakai sehubungan dengan pemakaian energi selama olahraga atau latihan. Dalam beberapa cabang olahraga energi anaerobik

dan aerobik sama-sama digunakan untuk pembentukan ATP, namun terjadi perbedaan persentase atau disebut dengan predominan sistem energi. Olahraga yang predominan energi anaerobik berarti olahraga tersebut lebih dominan menggunakan sistem energi anaerobik, biasanya olahraga anaerobik memiliki ciri intensitas olahraga tinggi, frekuensi pergerakannya cepat, jarak yang ditempuh relatif pendek, dan waktu yang digunakan untuk olahraga singkat. Aktivitas olahraga pada umumnya tidak hanya secara murni menggunakan salah satu sistem aerobik atau anaerobik saja. Sebenarnya yang terjadi adalah menggunakan gabungan sistem aerobik dan anaerobik, akan tetapi porsi kedua sistem tersebut berbeda pada setiap cabang olahraga (Fox, dkk., 1988 dan Janssen, 1989). Untuk cabang olahraga yang menuntut aktivitas fisik dengan intensitas tinggi dengan waktu relatif singkat, sistem energi predomnannya adalah anaerobik, sedangkan pada cabang olahraga yang menuntut aktivitas fisik dengan intensitas rendah dan berlangsung relatif lama, sistem energi predomnannya adalah aerobik. Sebagai gambaran Mc Ardle (1986) bahwa dalam menentukan sistem energi predomnan adalah sebagai berikut:

1. Sistem ATP, waktu kegiatannya 0-4 detik, bentuk kegiatannya berupa kekuatan dan *power*. Jenis kegiatan pada cabang olahraganya berupa lompat tinggi, servis tenis, dan sebagainya;
2. Sistem ATP-PC, waktu kegiatannya 0-10 detik, bentuk kegiatannya berupa *power*. Jenis kegiatan pada cabang olahraganya berupa lari *sprint* dan sebagainya.
3. Sistem ATP-PC dan asam laktat, waktu kegiatannya 0-1,5 menit, bentuk kegiatannya berupa anaerobik *power*. Jenis

kegiatan dalam olahraganya berupa lari cepat, lari 200 meter, dan sebagainya; dan.

4. Sistem Aerobik, waktu kegiatannya lebih dari 8 menit, bentuk kegiatannya berupa aerobik daya tahan. Jenis kegiatan olahraganya berupa lari *marathon* dan sebagainya.

Aktivitas olahraga yang menggunakan sistem energi anaerob akan merangsang sistem energi aerob, hal ini untuk mendukung kelangsungan sistem anaerob. Jika sistem aerob tidak mencukupi untuk mendukung aktivitas yang menggunakan sistem anaerob, maka akan menjadi penghambat bagi kegiatan anaerob itu sendiri, berupa penurunan intensitas atau gerakan terhenti. Jadi untuk menentukan apakah sistem energi dominan pada suatu cabang olahraga dasarnya adalah berapa besar energi yang disediakan dan lama waktu yang diperlukan untuk penampilan pada olahraga tersebut, bukan ditentukan oleh macamnya gerakan saja. Sebagai patokan Giriwijoyo (1992) menjelaskan, untuk olahraga dominan aerobik apabila 70% dari seluruh energi untuk penampilannya disediakan secara aerob dan oleh batas waktu minimal 8 menit, sedangkan untuk anaerobik apabila 70% dari seluruh energi untuk penampilan disediakan secara anaerob dan oleh batas waktu maksimal 2 menit. Pada olahraga sepak bola sistem energi yang digunakan adalah sistem aerobik dan anaerobik. Dilihat dari aktivitas dalam permainan sepak bola selama 2 x 45 menit, jelas menggunakan sistem energi dominan aerobik. Dalam permainan 2 x 45 menit terdapat gerakan-gerakan yang eksplosif, baik dengan atau tanpa bola. Gerakan-gerakan eksplosif tersebut dilakukan secara

berulang-ulang dengan diselingi waktu *recovery* yang cukup untuk bekerjanya sistem aerobik. Tanpa ditunjang dengan sistem aerobik, maka gerakan-gerakan eksplosif tidak dapat berlangsung dalam waktu relatif lama. Hal ini dikarenakan sistem energi aerobik tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan gerakan-gerakan yang bersifat anaerobik, sehingga terjadi penurunan intensitas atau berhenti dulu untuk menunggu suplai energi yang disediakan oleh sistem aerobik. Untuk gerakan-gerakan yang lainnya, seperti jalan, jogging dan lainnya tetap ditunjang dengan sistem pembentukan energi aerobik. Besarnya liputan sistem energi aerobik terhadap sistem anaerobik ini merupakan dasar penentuan sistem predominan dalam suatu cabang olahraga.

Pada cabang olahraga sepak bola, liputan sistem energi aerobik jauh lebih besar daripada sistem anaerobik yang tidak dapat diliput, dengan demikian olahraga sepak bola secara kumulatif 2 x 45 menit menggunakan energi predominannya adalah aerobik. Pemahaman sistem energi predominan pada cabang olahraga sangat penting untuk menentukan secara tepat bentuk latihan yang sesuai agar dapat meningkatkan prestasi atlet. Misalnya untuk cabang olahraga dengan energi predominan anaerobik, bentuk latihan diprioritaskan untuk meningkatkan kapasitas anaerobik. Untuk menentukan sistem energi predominan pada cabang olahraga dapat diperkirakan dasarnya pada aktivitas fisik yang dominan dan lama waktu yang dibutuhkan pada olahraga tersebut. Diketuainya sistem energi predominan pada cabang olahraga, akan memudahkan menyusun program latihan untuk mencapai prestasi maksimal. Penentuan sistem energi yang dominan antara anaerobik dan aerobik dalam suatu aktivitas dapat juga dilakukan dengan mengukur denyut nadi latihan. Hal ini dikemukakan oleh

Conconi dengan cara menghubungkan antara jumlah denyut nadi permenit dan kadar asam laktat darah.

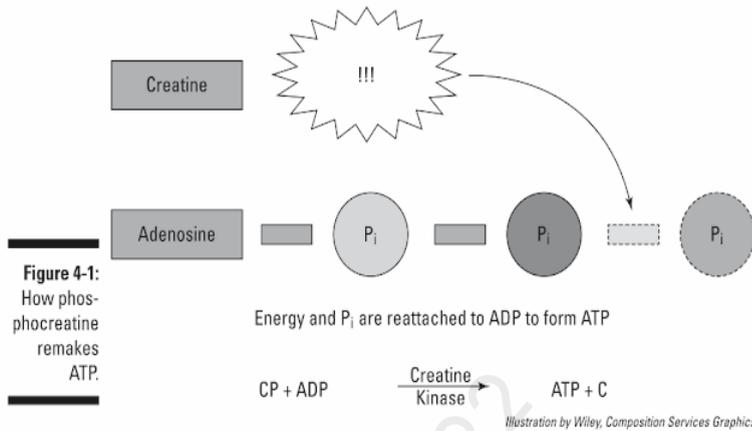
Setiap jenis sistem energi yang digunakan dalam aktivitas olahraga terbentuk melalui mekanisme yang berbeda yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Energi Anaerobik

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya energi anaerobik adalah proses pembentukan kembali ATP untuk menghasilkan energi tanpa menggunakan oksigen. Di dalam sel pembentukan energi secara anaerobik terjadi di sitoplasma. Proses pembentukan secara anaerobik hanya akan membentuk atau menghasilkan sejumlah energi dan hanya cukup untuk membentuk beberapa molekul ATP saja. ATP yang dibentuk tersebut hanya cukup untuk melakukan aktivitas dalam beberapa detik saja, setelah itu kebutuhan ATP dibentuk dalam proses aerobik. Secara anaerobik ATP dihasilkan dengan dua sistem yaitu: sistem ATP-PC dan glikolisis anaerobik atau sistem asam laktat.

a. ATP-PC (*Phospagen System*)

Sistem ATP-PC disebut juga sebagai *aerobic alactic*, karena prosesnya tanpa menghasilkan asam laktat. ATP dipecah menjadi $ADP + P_i$ dan menghasilkan energi, energi ini digunakan untuk melakukan aktivitas. Selanjutnya untuk membentuk kembali ATP adalah dengan jalan menggabungkan kembali ADP dan P_i , penggabungan menggunakan bantuan PC (*Phospate Creatine*). PC ini jumlahnya sangat sedikit, tetapi PC merupakan cadangan energi tingkat tinggi yang tercepat untuk pembentukan ATP kembali.



Gambar 5.5 Mekanisme Pembentukan Energi ATP-PC
Sumber: <https://www.arhamsyahban.com/2020/01/atp-pc.html>

Reaksi pemecahan ATP dan PC berlangsung sangat cepat, segera setelah ATP digunakan, PC langsung dipecah dan menghasilkan energi untuk mengisi ATP yang telah digunakan. ATP-PC yang terdapat di dalam otot hanya cukup untuk penyajian energi selama 5-10 detik. Untuk dapat melakukan aktivitas perlu adanya pembentukan ATP yang baru dengan cepat. Sistem energi ATP-PC merupakan sistem penyediaan energi yang paling cepat dan banyak digunakan pada cabang olahraga yang memerlukan kecepatan.

Menurut Wilmore, cepatnya proses penyediaan energi melalui sistem ini disebabkan oleh karena:

- 1) Tidak melalui proses reaksi kimia yang panjang.
- 2) Tidak membutuhkan oksigen.
- 3) ATP-PC tertimbun di dalam sel sehingga sangat cepat dan mudah digunakan.

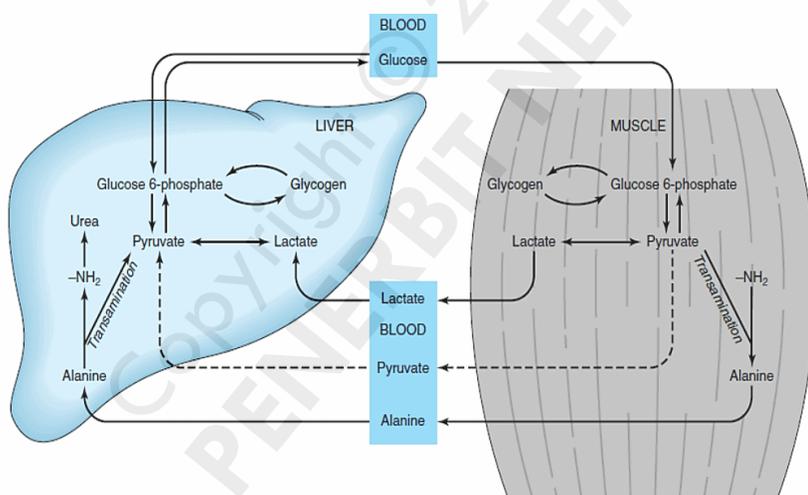
b. Anaerobik Glikolisis

Setelah melakukan latihan yang berat maka cadangan ATP-PC akan berkurang, karena aktivitas tersebut maka berikutnya energi dapat diperoleh melalui sistem glikolisis anaerobik. Glikolisis anaerobik adalah pemecahan glukosa tanpa menggunakan oksigen. Glikolisis anaerobik tersebut disebut juga sebagai sistem asam laktat, karena dari proses pemecahan glukosa tersebut akan menghasilkan asam laktat. Semakin banyak pemakaian sistem energi ini, maka semakin banyak terbentuknya asam laktat. Namun ketika mengurangi intensitas kerja dan tubuh mulai mendapatkan oksigen maka sistem energi akan berpindah ke sistem energi aerobik. Sistem glikolisis anaerobik ini sangat diperlukan pada intensitas kerja yang tinggi dan cepat karena proses kimianya berlangsung dengan cepat. Menurut Fox glikolisis anaerobik memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- 1) Menyebabkan terbentuknya asam laktat yang dapat menimbulkan kelelahan.
- 2) Tidak membutuhkan oksigen.
- 3) Hanya menggunakan karbohidrat yang kemudian berbentuk glukosa.
- 4) Menghasilkan energi untuk resistensi ATP.

Pada sebuah pabrik yang sedang beroperasi, di samping menghasilkan produk, pabrik tersebut juga akan menghasilkan limbah industri. Begitu pula pada tubuh manusia, proses metabolisme yang berlangsung di dalam tubuh termasuk pembentukan

energi selain menghasilkan energi dan kalor (panas), juga menghasilkan limbah metabolisme (*waste product*) seperti CO₂ dan H₂O, serta asam laktat dan lain-lain yang harus dibuang keluar dari tubuh. Penumpukan asam laktat di dalam sel otot akan menyebabkan keasaman atau pH otot meningkat sehingga menghambat pemecahan glikogen lebih lanjut karena fungsi enzim glikolitik terganggu, di samping itu juga mengurangi kapasitas otot untuk mengikat kalsium sehingga menghalangi terjadinya kontraksi otot.



Gambar 5.6 Mekanisme Siklus Cori di Hati dan Otot
Sumber: caiherang.com

Asam laktat merupakan limbah metabolisme yang menyebabkan kelelahan, namun di satu sisi asam laktat bisa menjadi salah satu sumber energi cadangan yang dapat dipergunakan kembali setelah melalui serangkaian proses kimia. Selama melakukan latihan yang berat, akumulasi asam laktat baik dalam otot maupun di dalam

darah bisa dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi dengan serangkaian proses sebagai berikut: pertama pada saat kita mengurangi intensitas latihan, atau istirahat dan suplai oksigen ke jaringan sudah mencukupi, maka hidrogen terikat ke asam laktat dan diangkut oleh NAD⁺ dan akhirnya terjadi peristiwa oksidasi yang menyebabkan asam laktat dikonversikan menjadi asam piruvat dan siap digunakan sebagai sumber energi. Selanjutnya asam piruvat disimpan dan dapat digunakan untuk proses sintesa glukosa dan proses ini dinamakan dengan proses glukoneogenesis yang terjadi dalam siklus cori.

Nawawi (2008) menjelaskan mekanisme siklus cori bermula dari akumulasi asam laktat di dalam otot yang tinggi sehingga menyebabkan kelelahan pada otot. Pada saat intensitas latihan dikurangi karena lelah, maka secara bertahap asam laktat diangkut keluar otot masuk ke dalam darah dan dibawa ke hati. Selanjutnya di hati asam laktat dikonversikan menjadi asam piruvat, dari asam piruvat dikonversikan lagi menjadi glukosa. Apabila glukosa yang terbentuk ini ingin dipergunakan sebagai sumber energi maka glukosa tersebut dikeluarkan dari hati dan diangkut menuju sel yang membutuhkannya. Tetapi apabila tidak dipakai maka dirubah menjadi glikogen dan disimpan di dalam hati yang disebut dengan glikogen hati. Proses pengangkutan asam laktat dari otot ke hati lalu kemudian dikonversikan menjadi asam piruvat kemudian menjadi glukosa kemudian dikirim ke sel yang membutuhkan disebut dengan siklus cori.

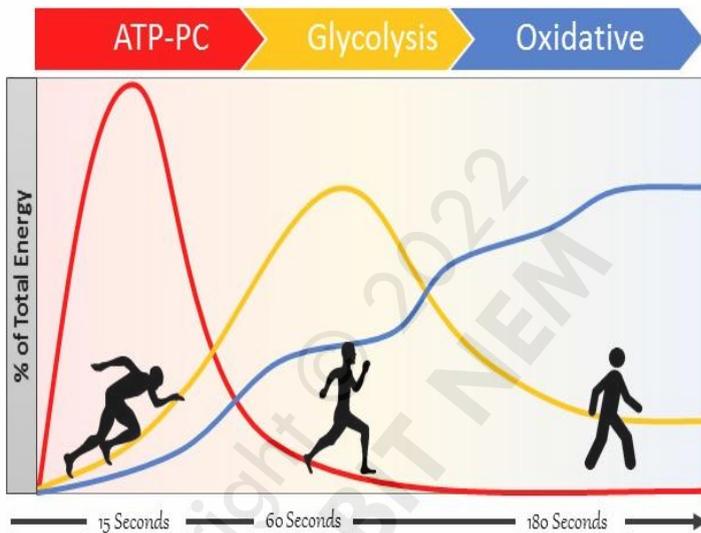
2. Energi Aerobik

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa aerobik adalah proses metabolisme energi dengan menggunakan oksigen. Sistem aerobik ini utamanya menggunakan glukosa yang merupakan pemecahan karbohidrat sebagai sumber utama, namun apabila glukosa tubuh sudah habis maka akan digunakan lemak sebagai sumber pembentukan ATP, bahkan di saat tertentu tubuh dapat menggunakan protein sebagai sumber energi.

Penggunaan protein hanya digunakan saat tertentu dan mendesak, ketika kelaparan, karbohidrat menurun dan lemak tidak dapat bertahan maka katabolisme protein untuk menghasilkan energi akan terjadi. Energi aerobik dapat digunakan untuk menyediakan ATP bila oksigen dalam otot mencukupi dan kerja otot tidak berlangsung cepat dan bertahan lama. Proses secara aerobik merupakan serangkaian proses yang panjang dan kompleks sehingga bisa dikatakan lebih rumit dari sistem anaerobik karena sistem ini melibatkan oksigen juga melibatkan bahan-bahan kimia lainnya. Akan tetapi mampu menghasilkan energi dalam jumlah yang besar, proses ini membentuk ATP sebanyak 34 ATP sehingga sistem ini dapat digunakan untuk melakukan aktivitas dalam waktu yang cukup lama.

Dari gambar sebelumnya dapat dilihat bahwa dari glikolisis anaerobik dibentuk 2 ATP dan sistem aerobik (siklus kreb's dan sistem transport elektron) menghasilkan 34 ATP, sehingga total ATP bisa dibentuk kembali dari sistem anaerobik dan aerobik adalah 34-36 ATP. Jadi sebenarnya tubuh akan lebih efisien menggunakan sistem aerobik daripada sistem anaerobik,

karena di samping mampu menghasilkan energi lebih besar sehingga bisa membentuk ATP lebih banyak, juga tidak terjadinya akumulasi asam laktat yang dapat menyebabkan kelelahan.



Gambar 5.7 Jenis Sistem Energi dan Durasinya

Sumber: <https://www.unaidsfitness.org/2020/12/02/training-the-aerobic-energy-system-the-principles/>

Akan tetapi sistem aerobik akan terpakai pada intensitas kerja yang rendah dan dalam waktu yang lama. Sebaliknya apabila intensitas kerja meningkat terutama aktivitas yang dilakukan dengan cepat dan kuat, maka sistem energi akan berubah memakai sistem glikolisis anaerobik sebagai efeknya akan terjadi penumpukan asam laktat. Karena itu pada intensitas kerja yang tinggi tubuh akan cepat mengalami kelelahan dibanding dengan intensitas kerja yang rendah.

Latihan fisik yang dilakukan dalam jangka waktu yang lama pemecahan energi yang digunakan berasal dari

pemecahan lemak. Pada saat berolahraga kompetitif dengan intensitas tinggi, penggunaan lemak sebagai sumber energi tubuh akibat dari mulai berkurangnya simpanan glikogen otot dapat menyebabkan tubuh terasa lelah sehingga secara perlahan intensitas olahraga akan menurun. Hal ini disebabkan karena produksi energi melalui pembakaran lemak berjalan lebih lambat jika dibandingkan dengan laju produksi energi melalui pembakaran karbohidrat walaupun pembakaran lemak akan menghasilkan energi yang lebih besar (9 kkal/gr) jika dibandingkan dengan pembakaran karbohidrat (4 kkal/gr). Beta oksidasi merupakan proses kimiawi yang mengubah lemak (asam lemak) menjadi ATP (Adenosin Triphospat), banyak ATP yang dihasilkan bergantung pada banyaknya atom C (Carbon) dari jenis lemak tertentu. Misalnya asam lemak mengandung 6 atom C akan menghasilkan 45 ATP, asam palmitat memiliki 16 atom C akan menghasilkan 130 ATP, sedangkan asam stearat yang mengandung 20 atom C akan menghasilkan 164 ATP (Djoko Pekik Irianto, 2007: 39). Lemak merupakan bentuk persediaan energi yang terbanyak dibandingkan dengan persediaan karbohidrat sebagai sumber energi, besarnya persediaan lemak kira-kira 40 kali lebih banyak. Lemak akan dapat menghasilkan energi bila O₂ cukup. Lemak dapat menghasilkan energi hanya pada olahraga yang bersifat aerobik, seperti lari marathon.

Bab 6

PENERAPAN KONSEP FISILOGI OLAHRAGA DALAM ILMU KEPELATIHAN

A. Kebugaran Jasmani

Ada beberapa istilah lain yang dipergunakan untuk maksud yang sama dengan kebugaran jasmani, yaitu:

1. Kesegaran jasmani
2. Kesanggupan jasmani
3. Kesamaptaan jasmani.

Kesemuanya dimaksudkan untuk menerjemahkan istilah asal yaitu *physical fitness* (Giriwijoyo, 2012).

Untuk dapat memahami arti kebugaran jasmani, perlu ditelusuri kembali dari istilah asalnya. Secara harfiah arti *physical fitness* ialah kecocokan fisik atau kesesuaian jasmani. Ini berarti ada sesuatu yang harus cocok dengan fisik atau jasmani itu; yaitu macam atau beratnya tugas yang harus dilaksanakan oleh fisik atau jasmani itu. Dengan demikian secara garis besar dapat dikatakan bahwa kebugaran jasmani ialah kecocokan keadaan fisik terhadap tugas yang harus dilaksanakan oleh fisik itu; atau dengan perkataan lain: Untuk dapat melaksanakan tugas fisik tertentu -dengan hasil yang baik- diperlukan syarat-syarat fisik tertentu yang sesuai dengan sifat tugas fisik itu. Pengertian secara garis besar ini masih memerlukan penjabaran lebih lanjut khususnya. dalam kaitan dengan syarat-syarat fisik tertentu.

Syarat-syarat fisik itu dapat bersifat:

1. Anatomis (Struktural) = *Anatomical (Structural) fitness*.
2. Fisiologis (Fungsional) = *Physiological (Functional) fitness*.

Dengan demikian *physical fitness* terdiri dari 2 bagian yaitu:

1. *Anatomical (Structural) fitness*
2. *Physiological (Functional) fitness*.

1. *Anatomical fitness*

Berhubungan dengan masalah-masalah yang bersifat anatomis yaitu:

- a. Tinggi badan
- b. Berat badan
- c. Kelengkapan anggota badan
- d. Ukuran berbagai bagian badan.

2. *Physiological fitness*

Berhubungan dengan masalah-masalah yang bersifat fisiologis yaitu tingkat kemampuan menyesuaikan fungsi alat-alat tubuhnya terhadap:

- a. Keadaan lingkungan:
 - 1) Suhu
 - 2) Kelembaban
 - 3) Ketinggian
 - 4) Sifat medan, dan/atau
- b. Tugas fisik:

Berbagai bentuk kegiatan dan beban (intensitas) kerja jasmaniah, secara fisiologis yaitu:

- 1) Alat-alat tubuh berfungsi dalam batas-batas normal
- 2) Efisien

- 3) Tidak terjadi kelelahan yang berlebihan atau kelelahan yang bersifat kumulatif.
- 4) Telah pulih sempurna sebelum datangnya tugas yang sama pada esok harinya.

Pada saat ini pengertian *physical fitness* lebih bertitik berat pada *physiological fitness* yang pada hakikatnya berarti: Tingkat kesesuaian derajat sehat dinamis yang dimiliki oleh si Pelaksana terhadap beratnya tugas fisik yang harus dilaksanakan (lihat: Sehat ditinjau dari Ilmu Faal). Penitikberatan kepada *physiological fitness* disebabkan oleh karena mengembangkan kemampuan fungsional tubuh lebih memberikan hasil yang nyata bila dibandingkan dengan mengembangkan struktur tubuh. Contoh: orang yang lemah tetapi sehat (statis) dengan melatih fisiknya melalui olahraga akan menjadi orang yang lebih sehat (dinamis). Sebaliknya orang yang cacat jasmaniahnya misalnya kehilangan satu tungkai atau lengannya tidak mungkin dapat diperbaiki dengan melatih fisik melalui olahraga kecuali dengan menggunakan prothese, tetapi fungsi jasmaninya masih selalu dapat diperbaiki sehingga prestasi kerja/produktivitasnya masih selalu dapat ditingkatkan.

Telah disebutkan di atas bahwa kebugaran jasmani ialah kecocokan keadaan fisik terhadap tugas yang harus dilaksanakan oleh fisik itu. Oleh karena itu, maka kebugaran jasmani bersifat relatif, artinya kebugaran jasmani tidak bebas tetapi bersifat terkait, yaitu terkait secara anatomis dan/atau terkait secara fisiologis; artinya fit atau tidaknya seseorang selalu dalam hubungan dengan tugas fisik yang harus dilaksanakan.

1. Kebugaran jasmani dimiliki oleh semua orang, baik yang mempunyai derajat sehat yang tinggi maupun yang mempunyai derajat sehat yang rendah (sakit).
2. Pembinaan/peningkatan derajat kebugaran jasmani berarti pembinaan/peningkatan derajat sehat maupun kemampuan kerja fisik.
3. Kemampuan melakukan kerja fisik yang lebih berat berarti derajat sehat (dinamis) yang lebih tinggi, sebaliknya,
4. Derajat sehat (dinamis) yang lebih tinggi berarti kemampuan melakukan kerja fisik yang lebih berat.

Dengan demikian sekali lagi terlihat jelas bahwa orang yang sehat dinamis adalah juga sehat statis, tetapi belum tentu sebaliknya. Demikian pula terlihat jelas bahwa olahraga yang dilakukan dengan intensitas yang adekuat, akan mempertinggi atau setidaknya mempertahankan derajat sehat dinamis yang telah dimiliki, apalagi bila intensitasnya dinaikkan secara bertahap.

Semua bentuk kegiatan manusia selalu memerlukan dukungan fisik/jasmani, sehingga masalah kemampuan fisik/jasmani merupakan faktor dasar bagi setiap aktivitas manusia. Oleh karena itu, untuk setiap aktivitas kita sehari-hari, minimal kita harus mempunyai kemampuan fisik/jasmani yang selalu mampu mendukung tuntutan aktivitas itu dan tentu saja lebih baik lagi bila kita memiliki pula cadangannya. Adanya kemampuan fisik yang melebihi kebutuhan minimal, menjamin kelancaran tugas dan kesejahteraan diri dan keluarganya, karena ia masih selalu mempunyai kemampuan untuk melakukan tugas ekstra dan tugas/perhatian bagi keluarganya sepulang kerja, bukannya langsung tidur saja oleh karena sudah kehabisan tenaga.

Kebugaran jasmani seperti telah dikemukakan di atas, adalah keadaan kemampuan jasmani yang dapat menyesuaikan fungsi alat-alat tubuhnya terhadap tugas jasmani tertentu dan/atau terhadap keadaan lingkungan yang harus diatasi dengan cara yang efisien, tanpa kelelahan yang berlebihan dan telah pulih sempurna sebelum datang tugas yang sama pada esok harinya. Dengan demikian, kebugaran jasmani sesungguhnya adalah derajat sehat dinamis tertentu yang dapat menanggulangi tuntutan jasmani dalam melaksanakan tugas hidup sehari-hari dengan selalu masih mempunyai cadangan kemampuan (tidak lelah berlebihan) untuk melakukan kegiatan fisik ekstra serta telah pulih kembali esok harinya menjelang tugas sehari-harinya lagi. Kebugaran jasmani/sehat dinamis harus selalu dipelihara dan bahkan ditingkatkan agar kemampuan cadangan untuk menghadapi tugas-tugas ekstra, khususnya bagi kesejahteraan keluarga, bagi kegiatan kemasyarakatan dan guna menghadapi keadaan darurat –dapat bertambah.

Secara akademis, pengertian Kebugaran Jasmani hanya menunjukkan hubungan relatif (keterkaitan) antara derajat sehat dinamis (kemampuan fisik) yang dimiliki seseorang pada saat itu dengan tugas fisik yang harus dilakukan artinya hanya menunjukkan adakah kesesuaian antara kondisi fisiknya pada saat itu dengan tugas fisik yang harus dilakukan. Dengan pengertian demikian maka sesungguhnya Kebugaran Jasmani tidak bertingkat-tingkat. Yang bertingkat-tingkat adalah kemampuan/kondisi fisik (sehat dinamis) dan beratnya tugas yang harus dilaksanakan. Dalam perkembangannya di masyarakat Kebugaran Jasmani kemudian diartikan sebagai derajat sehat dinamis, sehingga oleh karena itu maka Kebugaran Jasmani menjadi bertingkat-tingkat sesuai derajat

sehat dinamis yang dimilikinya saat itu. Demikianlah maka derajat Kebugaran Jasmani hakikatnya adalah derajat sehat dinamis yang diperlukan (yang sesuai) dengan kebutuhannya untuk melakukan sesuatu tugas fisik. Dari penjelasan terakhir ini semakin jelas bahwa Kebugaran Jasmani lebih bertitik berat kepada *Physiological Fitness*.

B. Tes Kebugaran Jasmani

Dalam hal Ilmu Faal Olahraga struktur itu ialah jasmani atau raga beserta seluruh bagian-bagiannya. Oleh karena itu sebelum membicarakan fungsinya perlu lebih dahulu mengenali struktur-struktur itu beserta sistematiknya, artinya perlu mengenali struktur-struktur itu secara sistematis. Namun sebelumnya perlu diingat kembali struktur organisasi biologis tubuh manusia yang terdiri dari unsur kehidupan yang terkecil yaitu sel, sampai kepada wujud utuhnya yaitu manusia. Susunan organisasi biologis tersebut adalah sebagai berikut:

Sel → jaringan → organ → sistema → organisme (Manusia)

Dengan demikian maka jasmani atau raga (manusia) tersusun dari sekumpulan struktur-struktur yang secara anatomis disebut sebagai sistema dan terdiri sistema:

1. Skelet - kerangka
2. Muscular - otot
3. Nervorum - saraf
4. Hemo - hidro - limfatik - darah - cairan jaringan - getah bening
5. Respirasi - pernafasan
6. Kardiovaskular - jantung-pembuluh darah
7. Termoregulasi - tata suhu tubuh

8. Digestivus – pencernaan
9. Exkresi – pembuangan
10. Endokin – hormone
11. Sensoris – penginderaan
12. Reproduksi – pemulihan generasi.

Fungsi jasmani yang terdiri dari berbagai macam sistema tersebut ialah untuk: gerak, kerja, mempertahankan hidup, mendapatkan kepuasan hidup lahir dan batin. Oleh karena itu, jasmani dapat disebut sebagai satu SISTEMA (untuk) KERJA (SK) atau ERGOSISTEMA (ES).

Dalam menjalankan fungsinya sebagai satu ES, sistema-sistema anatomis tersebut secara fisiologis dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu:

1. Perangkat pelaksana gerak, disebut sebagai Ergosistema primer (ES-1) atau sistema kerja primer (SK-1) terdiri dari:
 - a. Systems skelet
 - b. Sistema muscular
 - c. Sistema nervorum
2. Perangkat pendukung gerak, disebut sebagai ergosistema sekunder (ES-II) atau sistema kerja sekunder (SK-II) terdiri dari:
 - a. Sistema hemo-hidro-lomfatik
 - b. Sistema respirasi
 - c. Sistema kardiovaskular
3. Perangkat pemulih/pemelihara, disebut sbagai Ergosistema tersier (ES-III) atau sistema kerja tersier (SK-III) terdiri dari:
 - a. Sistema digestivus
 - b. Sistema termoregulasi

- c. Sistema ekskresi
- d. Sistema reproduksi.

Sistema endokrin berfungsi sebagai regulator internal yang bersifat humoral (melalui cairan jaringan) dan fungsinya tersebar pada ketiga Ergosistema tersebut di atas baik pada waktu istirahat maupun pada waktu aktif. Sedangkan sistema sensoris berfungsi sebagai komunikator eksternal (exteroceptor) maupun internal (proprioceptor, andoreceptor). Ergosistema yang langsung berhubungan dengan aktifitas fisik ialah ES-I dan ES-II.

Bila ditinjau dari sudut Kebugaran Jasmani (KJ) = *Physical fitness* yang terdiri dari *Anatomical Fitness* dan *Physiological fitness*, maka ES-I dan ES-II adalah komponen dasar Anatomis Kebugaran Jasmani (Komponen dasar *Anatomical Fitness*); sedangkan 107 komponen dasar Fisiologisnya (Komponen dasar *Physiological Fitness*-nya) dengan sendirinya ialah fungsi dasar dari sistema sistema (Anatomis) penyusunan ES-I dan ES-II tersebut di atas, fungsi dasar itu ialah:

Tabel 6.1
Ergosistema I: Fungsi Dasar dan Kualitas Penampilannya

Anatomis	Fungsi Dasar (Fisiologis)	Kualitas
Sistema Skelet	Pergerakan Persendian	Luas pergerakan
Sistema Muskular	Kontraksi Otot	Kekuatan dan daya tahan otot
Sistema Nervorum	Penghantar rangsang	Koordinasi fungsi otot

(Sumber: Giriwijoyo, 2012)

Fungsi dasar sistem skelet dalam hubungan dengan aktivitas fisik terletak pada persendiannya dalam bentuk luas pergerakan persendian (fleksibilitas = kelentukan), yang merupakan kualitas dari pergerakan persendian itu. Fungsi dasar sistem muscular ialah kontraksi. Tidak ada fungsi lain dari otot selain berkontraksi. Perwujudan dari berkontraksi otot dapat berupa kekuatan dan daya tahan otot. Inilah fungsi dasar otot yang bersifat endogen. Fungsi dasar susunan syaraf (sistem nervorum) ialah menghantarkan rangsang. Perwujudan dalam hubungannya dengan aktivitas fisik ialah kemampuannya dalam mengkoordinasikan fungsi otot untuk menghasilkan ketepatan gerak.

Dari fungsi dasar tersebut dapat dikembangkan gerakan-gerakan yang berupa: kelincahan (*agility*), kecepatan (*speed*), dan *power*. Gerakan-gerakan tersebut di atas bersama-sama dengan fungsi dasar lainnya merupakan penampilan dasar yang diperlukan oleh berbagai cabang olahraga; yang merupakan gabungan fungsi-fungsi dasar sistem-sistem (anatomis) penyusun ES-I. Oleh karena itu, bila dijumpai kesulitan dalam meningkatkan gerakan-gerakan penampilan dasar tersebut di atas, haruslah dicari kembali pada komponen fisiologisnya dan kemudian dilatih untuk dapat meningkatkan kualitas fungsi dasarnya. Misalnya kesulitan dalam meningkatkan kecepatan (*speed*) haruslah dicari kembali pada komponen dasar fisiologisnya yang terpenting yaitu kekuatan otot-otot yang bersangkutan, oleh karena hanya otot-otot yang lebih kuat yang mampu menimbulkan gerakan yang lebih cepat, di samping pelatihan khusus untuk kecepatan.

Contoh lain ialah misalnya dijumpai kesulitan dalam meningkatkan kelincahan (*agility*). Lebih dahulu harus

dianalisa komponen dasar fisiologis apa saja yang menyusun kelincahan. Dari analisa terhadap gerakan kelincahan dapat dikemukakan bahwa untuk dapat meningkatkan kelincahan diperlukan kualitas yang lebih baik dan karena itu perlu diberikan latihan khusus terhadap:

1. Luas pergerakan persendian untuk meningkatkan kelentukan
2. Kekuatan otot untuk meningkatkan kecepatan gerak
3. Koordinasi fungsi otot untuk meningkatkan ketepatan gerak.

Hal ini disebabkan oleh karena kelincahan memerlukan:

1. Kelentukan (*flexibility*)
2. Kecepatan gerak (*speed*)
3. Ketepatan gerak (*accuracy*).

Tabel 6.2

Ergosistema II: Fungsi Dasar dan Kualitas Penampilannya

Anatomis	Fungsi Dasar (Fisiologis)	Kualitas
Hemo-hidro-limfatik	Transportasi: O ₂ - CO ₂ nutrisi, sampah, panas	Daya tahan umum
Respirasi	Pertukaran gas: O ₂ - CO ₂	
Kardiovaskular	Sirkulasi	

(Sumber: Giriwijoyo, 2012)

Daya tahan umum. Daya tahan umum sering juga disebut sebagai (general) *endurance* atau kemampuan (kapasitas) aerobik.

1. Dengan demikian maka komponen dasar Kebugaran Jasmani (KJ) menurut Ilmu Faal terdiri dari: Kemampuan/Kualitas dasar ES-I:

- a. Luas pergerakan persendian-*flexibility*
 - b. Kekuatan dan daya tahan otot
 - c. Koordinasi fungsi otot.
2. Kemampuan/Kualitas dasar ES - I: Daya tahan umum

Demikianlah maka dengan memahami pengertian Sistem Kerja atau Ergosistema akan lebih mudah memahami komponen dasar KJ apa saja yang diperlukan oleh sesuatu cabang OR dan kualitas dasar ES mana yang perlu dilatih secara khusus untuk menampilkan mutu tinggi cabang OR tersebut.

Bila kemudian kita simak komponen kebugaran jasmani yang dikemukakan oleh Larson yang terdiri dari:

1. *Endurance*
2. *Biological function*
3. *Body composition*
4. *Muscle strength*
5. *Muscle explosive power*
6. *Muscle endurance*
7. *Speed*
8. *Agility*
9. *Flexibility*
10. *Reaction time*
11. *Coordination*
12. *Balance.*

Maka cara membagi dalam komponen-komponen tersebut di atas tidak tampak jelas dasar pemikirannya dan karena itu pula maka tidak jelas sistematikanya. Dengan menganalisisnya lebih lanjut terlihat bahwa komponen-komponen itu sesungguhnya terdiri dari:

1. Komponen *anatomical fitness: body composition*
2. Kondisi kesehatan statis: *biological function*
3. Komponen *physiological fitness* terdiri dari:
 - a. Kemampuan/kualitas dasar ES-I:
 - 1) *Muscle strength*
 - 2) *Muscle explosive power*
 - 3) *Muscle endurance*
 - 4) *Flexibility* – luas pergerakan persendian
 - 5) *Reaction time* – fungsi dasar syaraf: - menerima dan mengantarkan rangsangan
 - 6) *Coordination* – koordinasi fungsi otot
 - 7) *Balance* atau keseimbangan: hasil dari koordinasi fungsi otot
 - b. Kemampuan/kualitas dasar ES-II: *Endurance* – daya tahan umum – kapasitas aerobik.
 - c. Kemampuan penampilan yang merupakan gabungan dari berbagai kemampuan/kualitas dasar ES-I: *Speed* (kecepatan) dan *agility* (kelincahan).

Body composition (komposisi tubuh) dan *biological function* (status kesehatan statis, fungsi biologis yang normal) memang merupakan faktor yang sangat dasar bagi penampilan seseorang dalam suatu cabang olahraga. Akan tetapi bila mana kedua faktor tadi masih menjadi masalah berarti masih pada tahap yang sangat awal dalam memilih orang-orang yang akan ditampilkan dalam suatu cabang olahraga, karena itu tidaklah tepat membicarakan masalah KJ pada tahap seperti itu. KJ dibicarakan bila komposisi tubuh dan status kesehatan statis tidak merupakan masalah lagi karena sesungguhnya membicarakan KJ kaitannya ialah kepada derajat sehat dinamis seseorang.

Demikianlah, maka sekali lagi terlihat jelas bahwa dengan memahami pengertian ergosistema atau sistema kerja akan lebih mudah untuk memahami apa-apa yang menjadi komponen dasar KJ. Dengan sendirinya akan lebih mudah untuk melacak dan kemudian melihat bagaimana kondisinya untuk kemudian melihat bagaimana kondisinya untuk kemudian meningkatkan kemampuan/kualitas fungsi dasarnya bila terdapat kesulitan dalam meningkatkan prestasi suatu cabang olahraga.

~oOo~

Copyright © 2022
PENERBIT NEM

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiaria, Martha. 2019. Disfungsi Mitokondria dan Stress Oksidatif. *JNH (Journal of Nutrition and Health)* Vol. 7, No. 3.
- Fox EL, Bowers, Foss ML. 1993. *The Physiological Basis of Exercise and Sport*, 5th Edition. Iowa: Brown & Benchmark.
- Giriwijoyo, H.Y.S. Santoso. 2016. *Fisiologi Kerja dan Olahraga*. Jakarta: Raja Grafindo.
- Irawan, M. Anwari. 2007. Metabolisme Energi Tubuh & Olahraga. *Sport Science Brief*, Volume 01 No. 07.
- Irianto, Djoko Pekik. 2004. *Bugar dan Sehat dengan Berolahraga*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Irianto, Djoko Pekik. 2004. *Pedoman Praktis Berolahraga untuk Kebugaran dan Kesehatan*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Nawawi, Umar dan Masrun. 2008. *Fisiologi Olahraga*. Padang: FIK UNP.
- Niedzielska E., Smaga I., Gawlik M., Moniczewski A., Stankowicz P., Pera J., et al. 2015. Oxidative Stress in Neurodegenerative Diseases. *Mol. Neurobiol.*
- Ria Lumintuarso. *Makalah pada Pelatihan Pelatih Pemandu Bakat Bibit Olahragawan Berprestasi*. Makassar 13-18 Oktober 2014.

Sayre LM, Smith MA, Perry G. Chemistry and Biochemistry of Oxidative Stress in Neurodegenerative Disease. *Curr. Med. Chem.* 8 (2001) 721-738.

Shewata Shenoy, Phd, et al. 2010. Association of Angiotensin Converting Enzyme Gene Polymorphism and Indian Army Triathletes Performance. *Physical Fitness Genotyping*.

Sidik, Dikdik Zafar. Giriwijoyo, H.Y.S. Santoso. 2012. *Ilmu Faal Olahraga*. Bandung: Remaja Rosdakarya.

~oOo~

Copyright © 2022
PENERBIT NEM

Tentang Penulis



Dr. Arimbi, S.Or., M.Pd., lahir di Ujung Pandang, pada tanggal 14 Mei 1984. Menyelesaikan pendidikan S1 Ilmu Keolahragaan di Universitas Negeri Makassar tahun 2006, S2 Pendidikan Jasmani dan Olahraga di Pascasarjana Universitas Negeri Makassar tahun 2009, dan pendidikan S3 Ilmu Kedokteran di Pascasarjana Universitas Hasanuddin tahun 2015. Mengawali karier sebagai dosen luar biasa pada jurusan ilmu keolahragaan Universitas Negeri Makassar tahun 2006-2008 dan sebagai dosen tetap pada jurusan yang sama sejak 2008 sampai sekarang. Pernah menjabat sebagai sekretaris Pusat Penelitian Pemuda dan Olahraga Universitas Negeri Makassar dan saat ini menjabat sebagai kepala Laboratorium jurusan Fisioterapi pada Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar. Penulis juga aktif sebagai peneliti dan pengabd.



Nurliani, S.Or., M.Pd., lahir di Ujung Pandang, pada 29 Desember 1984. Merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Di tahun 2006 berhasil menyelesaikan pendidikan Strata 1 Ilmu Keolahragaan pada program studi Ilmu Keolahragaan di Universitas Negeri Makassar. Di tahun 2007 melanjutkan pendidikan magister pada program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar. Penulis aktif di beberapa organisasi di antaranya pengurus di YAGPI, Ketua Departemen Pembinaan Prestasi P3KORIN, dan Ketua Bidang Pembinaan Prestasi PODSI SULSEL. Sejak tahun 2010 menjadi dosen tetap di Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar.

Manusia



(Sel dan Sistem Organ)

Saatnya setiap orang menyadari, bahwa setiap fungsi tubuh kita merupakan kesatuan kompleks dari triliunan sel yang membentuk organ, kemudian organ-organ tersebut bekerja membentuk sistem organ, sistem kerja tubuh kita juga butuh *maintenance* layaknya kendaraan, agar tetap dapat bekerja dengan baik. Aktivitas apapun termasuk olahraga yang berlebihan bukannya menjaga kesehatan tetapi menurunkan fungsi beberapa organ yang pada akhirnya memengaruhi kinerja sistem organ.

Dalam buku ini membahas bagaimana tubuh manusia tersusun mulai dari sel, hingga bagaimana energi yang kita gunakan dalam beraktivitas setiap hari terbentuk. Semoga dapat bermanfaat dan menjadi salah satu bahan bacaan yang mudah dipahami.