# BAB I

# PENDAHULUAN

Vo2 max adalah volume maximal o2 (oksigen) yang di proses oleh tubuh manusia pada saat melakukan kegiatan yang intensif. Volume O2 max ini adalah suatu tingkatan kemampuan tubuh yang dinyatakan dalam liter per menit atau mililiter/menit/kg berat badan. Ada 3 cara untuk meningkatkan volume maximal oksigen atau VO2 max pada setiap atlet dari cabang olahraga manapun. Semakin tinggi VO2 max atlet bersangkutan , maka semakin tinggi daya tahan dan stamina atlet tersebut.

Ada langkah awal yang harus menjadi pegangan para pelatih sebelum melaksanan 3 cara peningkatan VO2 max, yakni pelatih harus mengetahui berapa jarak dan waktu yang dibutuhkan sang atlet untuk mendapat VO2 max, sebelum memulai pelaksanaan pemusatan latihan ,tutur paulus pasurney dari bidang Litbang KONI pusat. Setelah menjalani tes Balke, umpamanya, sang atlet mampu menyelesaikan lari sejauh 3.600 meter untuk waktu 15 menit, itu berarti kecepatan perdetik hanya 4 meter.

Guna meningkatkan daya tahannya, harus diberikan latihan aerobik dengan intensitas 85 persen sebagai tahap pertama dalam meningkatkan VO2 max –nya. Artinya , sang atlet harus terus dilatih agar mampu melakukan lari dengan kecepatan 85% atau 3.6 meter perdetik, selama 1 jam. Metode kedua lebih untuk meningkatkan Vo2 max itu adalah memberikan latihan kepada atlet dengan intensitas mencapai 95 persen. Ini artinya sang atlet diharuskan mampu berlari dengan kecepatan 3.8 meter perdetik selama setengah jam.

Adapun metode terakhir adalah memberikan latihan secara ekstrem kepada atlet dengan intensitas 100 persen, tentu ketiga latihan ini harus di berikan secara bertahap sehingga atletnya dapat mengetahui dengan mudah. Memang, setelah mendapat latihan terakhir ini, atlet akan memiliki stamina yang andal, dengan begitu sang atlet, akan cepat mengalami pemulihan dari kelelahan yang dialaminya, tentu dengan stamina yang istimewa pula,tutur pelatih senior itu.

Sekalipun memiliki stamina yang istimewa,atlet tetap harus memiliki penguasaan teknik cabangnya dengan baik. Sebab dengan teknik yang baik, sang atlet akan efisien dalam bertanding. Artinya,sekalipun lawannya memiliki stamina yang istimewa, tetapi dengan teknik pas- pasan, maka atlet kita yang bakal menang, jika diimbangin dengan teknik yang baik.Menurut paulus pasurney, latihan untuk meningkatkan VO2 max ini harus dilakukan pada seluruh cabang olahraga, karena semakin cepat tingkat pemulihan diri kita dari kelehan yang dialami, berarti atlet kita tetap tampil prima hingga selesai latihan atau pertandingan.

VO2 max adalah kapasitas maksimum tubuh untuk mengangkut dan menggunakan oksigen selama latihan intensif yang mencerminkan kebugaran fisik individu. Nama ini berasal dari V- volume, O2 –oksigen, max- maximal.VO2 max dihitung dalam satuan mililiter / kilogram berat badan / menit ( ml/kg/menit).

Volume oksigen maksimal sering diangggap sebagai tolak ukur kebugaran fisik seseorang, terutama sebagai tolak ukur stamina seorang atlet. Sebenarnya selain VO2 max masih banyak faktor yang mempengaruhi stamina seseorang diantaranya mental, teknik , taktik, faktor cuaca ,dll.

Untuk seseorang yang bukan atlet mempunyai VO2 max yang tinggi berarti juga mempunyai kebugaran fisik yang baik dan pastinya tidak gampang lelah dalam beraktivitas.

Faktor- faktor yang dapat mempengaruhi VO2 max diantaranya : umur, latihan, ketinggian suatu tempat (kadar O2) dan faktor fisiologis seperti :

1 . Kemampuan jaringan otot untuk menggunakan oksigen dalam proses produksi energi tubuh.

2. Kemampuan sistem jantung dan paru (Cardiovascular) untuk mengangkut oksigen ke sistem jaringan otot.

Buku ini, walaupun tidak lengkap dalam faktor faktor yang membahas VO2 Max dan daya tahan serta membahas sumber energi aerobik dan anaerobik atau gabungan kedua sumber energi tadi, namun penulis berusaha sedapat mungkin supaya buku ini bisa dimanfaatkan oleh masyarakat pelaku dalam bidang pendidikan jasmani dan kesehatan, baik itu mahasiswa, pelatih, guru pendidikan jasmani, dan lain lain. Buku ini berguna sebagai pengetahuan bagi masyarakat yang ingin meningkatkan VO2 Max.

Dalam buku ini dapat dirumuskan permasalahan bagaimana latihan untuk meningkatkan VO2 Max, dalam buku ini juga dipaparkan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan permasalahan tersebut. Dan juga dibahas antara keterkaitan antara konsentrasi hemoglobin, denyut nadi, kadar lemak tubuh dengan daya tahan aerobik.

Kemudian yang tidak kalah pentingnya adalah bagaimana upaya-upaya atau bentuk-bentuk latihan untuk meningkatkan VO2 Max dan unsur-unsur yang mempengaruhi daya tahan aerobik tersebut dapat ditingkatkan. Sehingga dapat diharapkan dapat meningkatkan kinerja seseorang yang berhubungan dengan VO2 Max dan daya tahan aerobik.

# BAB II

# DAYA TAHAN AEROBIK

Daya tahan aerobik adalah kapasitas seseorang untuk menahan kelelahan. Daya tahan aerobik tidak hanya merupakan faktor yang sangat penting dalam kinerja kompetitif untuk sebagian besar cabang olahraga, tetapi merupakan faktor yang sangat menentukan untuk kinerja atlet di dalam latihan dan kapasitas umum. Pengembangan kualitas daya tahan yang baik, sangat penting untuk segera pulih asal *(recovery)* setelah melakukan latihan berat.

Ada beberapa macam istilah yang biasa digunakan untuk daya tahan aerobik di antaranya: kebugaran aerobik, daya tahan kardiovaskuler, kebugaran kardiovaskuler, kebugaran kardiorespiratori, kapasitas kerja fisik, kapasitas aerobik dan maximal *oxygen up-take (* Melvin H. Williams; 1990: 173) atau disebut juga dengan istilah *maximal oxygen consumption, maximal oxygen in-take* dan *maximal aerobic power* (David R. Lamb; 1984: 173).

Hoeger (1989: 15) menyatakan bahwa daya tahan kardiovaskuler adalah kemampuan paru, jantung, pembuluh darah dan darah untuk menyampaikan sejumlah oksigen yang cukup dan zat-zat gizi ke sel-sel yang bekerja untuk memenuhi tuntutan aktivitas fisik yang berlangsung dalam waktu yang lama. Menurut Shaver (1981: 267) hal tersebut juga mengangkut hasil metabolisme.

Daya tahan aerobik menurut Hazeldine (1989: 122) berhubungan dengan proses di dalam mengisap, mengangkut dan mempergunakan oksigen. Lamb (1984: 37) menyatakan, daya tahan *(endurance)* atau keajekan daya ledak *(power]* selama bermain sepakbola, lari jarak jauh dan diklasifikasikan sebagai daya tahan aerobik. Menurut deVries dan Housch (1994: 254) tergantung kepada kapasitas orang tersebut untuk mengsuplai oksigen ke otot yang sedang bekerja. Jadi daya tahan aerobik adalah komponen yang kompleks dari kebugaran jasmani, karena melibatkan interaksi beberapa proses fisiologis di dalam kardiovaskuler, sistem respiratori dan sistem perototan, termasuk kapasitas paru untuk menghirup oksigen, kapasitas darah di dalam paru untuk menyerap oksigen, kapasitas jantung untuk memompa darah yang mengandung oksigen ke jaringan otot dan kapasitas jaringan otot untuk menyerap oksigen dari darah dan mempergunakannya untuk menghasilkan energi.

Pada tingkat seluler, oksigen dipakai untuk merubah sari makanan, terutama karbohidrat dan lemak menjadi energi yang sangat dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi tubuh. Jadi kombinasi kardiovaskuler dan sistem respiratori merupakan mekanisme pengsuplai oksigen ke otot. Apabila kebutuhan energi otot meningkat, maka tuntutan terhadap sistem respiratori dan kardiovaskuler juga meningkat.

Selama kegiatan fisik yang berlangsung dalam waktu yang lama, seseorang dengan tingkat daya tahan kardiovaskuler yang tinggi mampu me­nyampaikan sejumlah oksigen yang diperlukan ke jaringan-jaringan dengan relatif mudah. Sebaliknya orang dengan tingkat daya tahan sistem kardiovaskuler rendah, harus bekerja lebih keras, karena jantung harus memompa lebih sering untuk mengsuplai sejumlah oksigen yang sama ke jaringan-jaringan dan sebagai konsekuensinya kelelahan lebih cepat datang. Oleh karena itu kapasitas yang lebih tinggi untuk menyampaikan dan menggunakan oksigen (isapan oksigen) menunjukkan sistem kardiovaskuler yang lebih efisien.

Neumann (1988: 97) menyatakan bahwa daya tahan adalah prakondisi yang menentukan kinerja mempergunakannya untuk menghasilkan energi. Pada tingkat seluler, oksigen dipakai untuk merubah sari makanan, terutama karbohidrat dan lemak menjadi energi yang sangat dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi tubuh. Jadi kombinasi kardiovaskuler dan sistem respiratori merupakan mekanisme pengsuplai oksigen ke otot. Apabila kebutuhan energi otot meningkat, maka tuntutan terhadap sistem respiratori dan kardiovaskuler juga meningkat.

Selama kegiatan fisik yang berlangsung dalam waktu yang lama, seseorang dengan tingkat daya tahan kardiovaskuler yang tinggi mampu me­nyampaikan sejumlah oksigen yang diperlukan ke jaringan-jaringan dengan relatif mudah. Sebaliknya orang dengan tingkat daya tahan sistem kardiovaskuler rendah, harus bekerja lebih keras, karena jantung harus memompa lebih sering untuk mengsuplai sejumlah oksigen yang sama ke jaringan-jaringan dan sebagai konsekuensinya kelelahan lebih cepat datang. Oleh karena itu kapasitas yang lebih tinggi untuk menyampaikan dan menggunakan oksigen (isapan oksigen) menunjukkan sistem kardiovaskuler yang lebih efisien.

Neumann (1988:97) menyatakan bahwa daya tahan adalah prakondisi yang menentukan kinerja olahraga pada berbagai macam cabang olahraga. Setiap kinerja daya tahan didasarkan pada pengaturan mekanisme yang rumit, kebermaknaan proses-proses energi, pengendalian dan pengaturan proses-proses. Menurut Harre (1982: 124), derajat daya tahan sangat ditentukan oleh efisiensi fungsi kardiovaskuler, metabolik dan sistem pernafasan, seperti tingkat koordinasi dari aktivitas semua organ dan sistem tubuh. Eksploitasi umum dari semua yang berhubungan dengan kemampuan biologis atlet akan menghasilkan daya tahan yang sangat tinggi tergantung kepada tingkat koordinasi dan kemampuan mental, terutama pemanfaatan kemauan yang keras. Jadi daya tahan hanya merupakan salah satu elemen dari struktur kinerja secara keseluruhan tetapi berhubungan dengan faktor-faktor kinerja lainnya.

Selanjutnya Harre ( 1982: 124) menyatakan bahwa: daya tahan diklasifikasikan ke dalam daya tahan dalam waktu yang lama, dalam waktu menengah dan waktu yang singkat. Daya tahan yang berlangsung untuk waktu yang lama adalah kegiatan yang berlangsung dalam waktu lebih dari 15 menit sampai beberapa jam (berenang 1500 m dan lari marathon) tanpa mengalami pengurangan kecepatan yang berarti. Tipe ini juga masih dibagi menjadi daya tahan dalam waktu yang panjang I, II dan III yang artinya 11 - 30 menit, 30 -

90 menit dan lebih dari 90 menit. Pembagian ini berdasarkan pada kebutuhan metabolisme. Daya tahan yang berlangsung untuk waktu menengah adalah kegiatan yang berlangsung dari 2 sampai 11 menit. Kinerja ini memerlukan bahan bakar dari sistem anaerobik dan aerobik. Tingkat daya tahan kekuatan dan daya tahan kecepatan sangat menentukan daya tahan yang berlangsung dalam waktu, menengah ini yang pada umumnya memerlukan tahanan yang relatif tinggi dan berulang-ulang sepanjang kegiatan itu berlangsung. Daya tahan dalam waktu yang singkat, berlangsung dari 45 detik sampai dua menit. Proses metabolik anaerobik lebih menonjol. Daya tahan semacam ini sangat tergantung kepada daya tahan kekuatan dan daya tahan kecepatan.

Pendapat di atas itu diperkuat oleh Neumann (1988: 97) yang menyatakan: pada praktiknya, daya tahan dibagi menjadi jangka waktu singkat, menengah dan untuk waktu yang lama. Semua kinerja daya tahan dengan durasi antara 35 detik sampai 2 menit dikatakan daya tahan dalam waktu singkat, kinerja daya tahan dari 2 - 10 menit kelompok menengah dan yang lebih dari 10 menit kelompok yang lama. Kelompok yang lama ini masih dibagi lagi menjadi I kegiatan yang berlangsung antara 10 - 35 menit, II antara 35 - 90 menit, III antara 90 - 360 menit dan ke IV lebih dari 360 menit.

Pembagian tersebut sebenarnya hanya merupakan pegangan bagi pelatih bersama-sama dengan atletnya di dalam merancang suatu program latihan. Tetapi yang penting menurut Burke (1980: 15), pelatih dan atlet harus betul-betul mampu memahami, bahwa daya tahan aerobik *(aerobic power]* sebenarnya merupakan gabungan dari dua sub-kemampuan yang melibatkan (1) sistem transport oksigen dan (2) otot itu sendiri. Sistem transport oksigen melibatkan paru, jantung, darah dan pembuluh darah dan ini dapat dilatih dengan berbagai macam cara. Sepintas kelihatannya sangat mudah untuk meningkatkan daya tahan aerobik yang dapat dilatih dengan berbagai macam cara. Tetapi kenyataannya untuk mencapai tujuan itu tidak semudah seperti dibayangkan semula, karena untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan seorang pelatih. Ward and Watts seperti dikutip Daly dan Parkin (1991: 3) mengatakan bahwa, pelatih adalah orang yang mempunyai tugas untuk membantu atlet dalam usahanya mencapai kesempurnaan. Pada dasarnya pelatih memberikan pengetahuan dan waktunya untuk atlet dan membantu mereka untuk meninggikan keterampilan dan mengembangkan potensi mereka yang pada gilirannya dapat memberikan kepuasan. Junusul Hairy (1995: 8) mengatakan, untuk menjadi seorang pelatih yang baik, diperlukan lebih dari sekedar hanya memiliki topi, peluit dan buku catatan. Seorang pelatih tidak cukup hanya pandai bermain dan memerintah, walaupun itu semua sangat banyak membantu. Untuk menjadi pelatih yang baik, seseorang dituntut untuk memiliki keterampilan, pengetahuan, kemampuan untuk mengorganisir dan pembawaan sebagai seorang guru yang baik. Pelatih yang berhasil harus memiliki dan memahami prinsip-prinsip ilmiah yang dapat menjelaskan dan menentukan kinerja berolahraga atletnya. Latihan ditekankan pada komponen-komponen fisik, seperti daya tahan, kekuatan, kelincahan, kecepatan, fleksibilitas, *power, stamina* dan faktor-faktor lain guna pengembangan fisik atlet secara keseluruhan.

Brooks and Fahey (1987: 18) mengatakan, bahwa aktivitas fisik merupakan suatu kejadian yang memerlukan energi. Bagaimana tubuh menggunakan energi ditentukan oleh keberhasilan di dalam berolahraga, rekreasi, melakukan pekerjaan sehari-hari dan kegiatan yang bersifat rehabilitasi. Jadi untuk mengerti bagaimana fungsi tubuh selama aktivitas fisik diperlukan pengertian bagaimana energi kimia potensial di dalam bahan makanan ditangkap dan dikonversi ke dalam bentuk energi kimia yang dapat menyediakan energi untuk kegiatan yang memerlukan *power* dari kerja reguler.

Menurut Katch and McArdle (1987: 18), aspek penting di dalam berbagai macam bentuk aktivitas fisik adalah kebutuhan untuk menghasilkan energi dengan cepat, karena begitu energi dikeluarkan dengan seketika, oksigen dalam jumlah yang cukup tidak dapat disampaikan ke otot dengan cukup cepat untuk memenuhi kebutuhan energi. Walaupun oksigen segera tersedia, tetapi metabolisms tidak dapat dilakukan dengan cukup cepat untuk dapat dipergunakan. 'Dengan demikian keberhasilan seseorang pada saat berlari dengan cepat di dalam sepakbola, gerakan melompat *(smash)* pada bola voli atau gerakan memukul pada sofbol tergantung pada kapasitasnya untuk menghasilkan energi secara anaerobik (Katch dan McArdle; 1983: 217)

Hampir seluruh sel-sel tubuh, terutama di dalam sel otot rangka konversi energi dapat dibagi ke dalam dua kategori umum. *Pertama,* melibatkan reaksi kimia sehingga energi kimia yang ada sebagai hasil dari mencerna makanan yang kemudian dikonversi menjadi zat ber-energi tinggi yang dapat dipergunakan oleh tubuh, yaitu *ATP* .*Kedua,* transfer energi yang melibatkan konversi energi kimia *ATP* menjadi kerja sel. Kemudian beberapa kerja sel terjadi, seperti kontraksi otot, sintesis protein dan pemompaan ion. Ketiga kerja sel ini terutama penting di dalam memahami pengaruh latihan baik yang bersifat segera maupun yang berlangsung dalam waktu yang lama di dalam tubuh (Brooks dan Fahey; 1987: 18).

Dikatakan pada halaman sebelumnya bahwa aktivitas fisik dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok berdasarkan pada sistem energi yang mendukungnya, seperti *power* dalam tolak peluru, kecepatan dalam lari cepat dan daya tahan dalam lari maraton. Dalam kegiatan tersebut keberhasilan seseorang tergantung pada semangat dan pengembangan yang tinggi sistem energy seluler yang berbeda. Pada nomor-nomor yang memerlukan daya ledak *(power)* yang kegiatannya hanya berlangsung dalam beberapa detik, otot memerlukan sumber energi yang cepat. Untuk kegiatan yang sangat cepat dan memerlukan pengerahan tenaga maksimal serta hanyaberlangsung dari beberapa detik sampai satu menit, otot tergantung kepada non-oksidatif atau glikolitik yang sumber energinya sama dengan sumber energi cepat. Untuk kegiatan yang berlangsung dari 90 menit atau lebih mekanisme oksidatif menjadi sangat penting. Untuk melakukan kerja biologis, energi yang dipakai berasal dari energi yang disimpan di dalam ikatan-ikatan atau senyawa-senyawa kimia dari berbagai molekul. Apabila reaksi-­reaksi kimia menyebabkan pecahnya senyawa-­senyawa tersebut, maka beberapa energi dari senyawa-senyawa tersebut dikeluarkan sebagai panas dan hanya membantu untuk meningkatkan atau mempertahankan temperatur tubuh, sedangkan bagian yang lain dari pengeluaran energi dinamakan energi bebas yang dapat digunakan untuk melakukan kerja biologis.

Beberapa molekul mengeluarkan banyak energi bebas apabila senyawa-senyawa tersebut pecah. Molekul energi tinggi terutama sangat ber­guna untuk melakukan kerja biologis. Energi tinggi yang paling biasa digunakan adalah *ATP* yang dapat mengeluarkan energi bebas dengan jumlah yang sangat besar. Apabila *ATP* dipecah menjadi *adenossine diphosphate (ADP)* ditambah *inorganic phosphate (Pi)* dan energi bebas (Lamb; 1984: 38).

Dalam reaksi ini sebagai stimulusnya adalah ion kalsium *(Ca++)* yang dikeluarkan di dalam otot apabila dirangsang oleh adanya rangsangan syaraf. *ATP* adalah sumber energi kimia tinggi, *actin* dan *myosin* adalah dua kontraktil protein otot, *actomyosin* merupakan kombinasi antara *actin* dan *myosin,* sedangkan *ADP* dan *Pi* merupakan hasil dari penggunaan *ATP.* Jadi di dalam tubuh, otot mengkonversi energi kimia menjadi energi mekanik (kerja luar). Proses kontraksi otot merupakan transfer energi kimia menjadi energi mekanik.

Menurut Powers dan Howley (1997: 29), simpanan *ATP* di dalam otot hanya dalam jumlah yang sangat terbatas dan cukup untuk menyediakan kontraksi otot maksimal selama kurang lebih 1 detik (Lamb; 1984: 29). Selanjutnya tubuh mempunyai kemampuan untuk mengganti *ATP* hampir secepat pecahnya. Penggantian *ATP* ini dapat dilakukan apabila cadangan molekul bahan bakar seperti karbohidrat dan lemak dipecah untuk menyediakan energi bebas yang dapat dipergunakan utuk menyatukan *ADP* dan *Pi* untuk membentuk *ATP* .

Lamb menyatakan (1984: 39), bahwa simpanan bahan bakar seperti karbohidrat dan lemak tidak dapat diubah menjadi molekul *ATP.* Cadangan bahan bakar pertama yang akan dipakai apabila *ATP* sudah dipakai adalah molekul *PC (phosphocreatine) yang* disimpan di dalam serabut otot. Oleh karena itu para ahli sependapat bahwa energi untuk kontraksi otot selama latihan fisik atau dengan kata lain mekanisme untuk regenerasi *ATP* melibatkan tiga proses atau tiga sumber yang saling ketergantungan, yaitu: (1) sistem fosfagen (sistem *ATP-PC* atau *phosphagen system), (2)* sistem glikolisis anaerobik atau sistem asam laktat *(Anaerobic Glycolysis system* atau *Lactic acid system),* dan (3) sistem aerobik atau sistem oksigen atau sistem oksidatif *(Aerobic system* atau *Oxygen system* atau *Oxydative system ).* Dua dari tiga sistem energi tersebut yaitu sistem fosfagen dan sistem asam laktat diklasifikasikan ke dalam sistem anaerobik, yang berarti tanpa oksigen dan metabolismenya berhubungan dengan berbagai rangkaian reaksi kimia yang terjadi di dalam tubuh (dalam sel otot). Jadi metabolisme anaerobik atau produksi *ATP* anaerobik berhubungan dengan resintesis *ATP* melalui reaksi kimia yang tidak memerlukan adanya oksigen yang dihisap dan yang satu lagi sistem aerobik, yaitu produksi *ATP* yang memerlukan adanya oksigen.

# BAB III

# SISTEM AEROBIK

**A. Sistem *ATP - PC* atau Sistem Fosfagen**

Molekul *ATP* terdiri dari *adenosine* (molekul *adenine* bergabung dengan molekul *ribose)* menyatu dengan tiga kelompok fosfat inorganik (Pi). Apabila diaktivasi oleh enzim *ATPase ,* maka kelompok fosfat yang terakhir pecah dari molekul *ATP* secara cepat sekali mengeluarkan sejumlah besar energi (7.6 kcal/molekul *ATP)* (Jack H. Wilmore dan David L. Costill; 1994: 97). Simpanan *PC* ini akan habis setelah latihan maksimal selama 5 - 8 detik. Oleh karena di dalam latihan otot diperlukan suplai *ATP* secara konstan untuk menyediakan energi yang diperlukan untuk kontraksi otot, maka jalur metabolik harus ada dalam sel dengan kemampuan menghasilkan *ATP* dengan cepat. Powers and Howley (1997: 29) menyatakan, bahwa metode yang paling sederhana dan paling cepat untuk memproduksi *ATP* melibatkan sumbangan kelompok fosfat yang dinamakan fosfat kreatin *(phosphocreatine - PC),* dan Lamb (1984: 39) menyatakan bahwa *PC* merupakan cadangan bahan bakar utama yang oleh Green (1982: 4) disebut sebagai sumber energi anaerobik tanpa asam laktat, maksudnya oksigen tidak dipergunakan secara langsung (anaerobik) dan asam laktat belum terbentuk. Tetapi menurut Wilmore dan Costill (1994: 97), tidak seperti pada *ATP,* energi yang dikeluarkan melalui pemecahan *PC* tidak dapat langsung dipakai untuk pekerjaan seluler, karena itu harus dibangun kembali *ATP* untuk mempertahankan suplai yang relatif konstan. Pengeluaran energi dari *PC* dipermudah oleh enzim *creative kinase (CK)* yang bertindak pada *PC* untuk memisahkan *Pi* dari keratin (Brooks dan Fahey; 1984: 31), dan menurut Wilmore dan Costil (1994: 97), energi yang dikeluarkan dapat dipergunakan untuk beberapa *Pi* menjadi *ADP* untuk membentuk *ATP.*

Jadi sebenarnya proses penyediaan energi secara cepat melibatkan tiga komponen, yaitu, (1) *ATP* itu sendiri, (2) *PC* dan (3) enzim *myokinase* yang mempunyai kemampuan untuk menghasilkan satu *ATP* dari dua *ADP* (Brooks dan Fahey; *1984:* 2) .

*PC* sangat terbatas di dalam kemampuannya untuk regenerasi *ATP* dalam jumlah yang besar sehingga tidak mampu untuk mempertahankan kontraksi otot maksimal lebih dari beberapa detik. Karena itu menurut Green *(1982: 4),* apabila konsentrasi *ATP* ingin tetap tinggi sehingga kontraksi otot dapat lebih lama dipertahankan, maka harus dibantu oleh jalur metabolik yang lain yaitu yang bersifat anaerobik dan aerobik*.*

**B. Glikolisis anaerobik atau sistem asam laktat**

Mekanisme lain yang mampu menghasilkan *ATP* dengan cepat tanpa memerlukan oksigen adalah glikolisis anaerobik atau sistem asam laktat. Mekanisme tersebut dikatakan glikolisis anaerobik karena melibatkan pemecahan glukose (gula sederhana) tanpa memerlukan oksigen menjadi dua molekul asam piruvat atau asam laktat. Tetapi kalau rangkaian reaksi ini dimulai dengan simpanan glikogen, proses tersebut dinamakan glikogenolisis *(glycogenolysis)* dan terjadi di luar mitokhondria, yaitu terjadi di sarkoplasma *(sarcoplasm)* (McArdle, Katch dan Katch; 1994: 44) sel otot menghasilkan tambahan dua atau tiga molekul *ATP* tergantung dari mana memulainya dan dua molekul asam piruvat atau asam laktat per molekul glucose (Power dan Holey; 1997: 30). Karena itu jaringan otot sangat padat dengan enzim-enzim glikolitik dan glikogenolitik, sehingga otot merupakan spesialis dalam proses-proses tersebut yang dapat memecah glukose dan glikogen dengan sangat cepat (Brooks dan Fahey; 1987: 21). Tetapi semua proses-proses tersebut diatur dan dibatasi oleh enzim *phosphorylase* sedangkan aktivitas enzim tersebut sangat dipengaruhi oleh *epinephrine* yaitu hormon sistem syaraf simpatetik *(sympathetic)* (McArdle, Katch dan Katch; 1994: 44).

Wilmore dan Costll (1994: 98) menjelaskan bahwa, kira-kira 99% dari glukose itu adalah gula yang disirkulasi di dalam darah. Glukose darah berasal dari pemecahan karbohidrat dan glikogen hati. Glikogen disintesis dari glukose melalui proses yang dinamakan *glycogenesis* kemudian glikogen disimpan di dalam hati atau otot sampai diperlukan sebagai sumber energi. Apabila glukose diperlukan sebagai sumber energi, maka glikogen di dalam hati dikonversi kembali menjadi glukose I fosfat (Wilmore dan Costill; 1994: 98) dan diangkut oleh darah ke otot yang bekerja. Proses konversi dari glikogen menjadi glukose dinamakan *glikogenolysis.* Glukose juga dapat diproduksi di dalam hati melalui proses *glukoneogenesis* dari asam laktat, asam piruvat, gliserol dan alanin (Wasserman, dkk.1987: 5).

Wilmore dan Costill (1994: 98) mengatakan bahwa sebelum glukose atau glikogen dapat dipakai untuk menghasilkan energi, kedua zat tersebut harus dikonversi dulu menjadi suatu ikatan yang dinamakan glucose 6 fosfat dan untuk ini diperlukan satu molekul *ATP.* Glikolisis akhirnya memproduksi asam piruvat. Sampai terbentuknya asam piruvat, semua proses tidak memerlukan oksigen sampai pada akhirnya asam piruvat dikonversi menjadi asam laktat. Karena. itu Green(1982: 4) menyebut sumber *ATP* melalui glikolisis anaerobik sebagai laktat anaerobik.

Pada latihan yang memerlukan kecepatan maksimal yang berlangsung antara satu sampai dua menit, tuntutan terhadap sistem glikolitik tinggi, sehingga tingkat asam laktat otot menjadi lebih dari 25 mmol. kg- 1 (Wilmore dan Costill; 1994: 99).

McArdle, Katch and Katch (1981: 81) mendukung pendapat tersebut dengan menjelaskan bahwa penumpukan asam laktat yang paling cepat dan paling tinggi dicapai selama latihan yang berlangsung selama 60 sampai 180 detik. Jadi glikolisis anaerobik sangat tidak efisien dalam memproduksi *ATP,* karena lebih banyak energi potensial untuk memproduksi *ATP* yang tertinggal di dalam senyawa kimia asam. laktat (Lamb; 1984: 41). Kalau penumpukan asam laktat menjadi sangat banyak, menyebabkan terjadinya *acidossis* yang besar pada otot dan/atau pengosongan glikogen pada laju tercepatnya dan ini mendorong menurunnya intensitas kerja (Green; 1982: 4). Menurunnya intensitas kerja yang disebabkan oleh *acidosis* menghambat pemecahan glikogen lebih jauh karena fungsi enzim glikolitik terganggu, di samping itu menurunkan kapasitas serabut otot untuk mengikat Ca++ dan menghalangi terjadinya kontraksi otot (Wilmore dan Costil; 1994: 99). Tetapi kalau latihan harus diperpanjang, maka sistem *ATP - PC* dan glikolitik saja tidak dapat mengsuplai semua kebutuhan energi, maka sumber energi melalui oksidatif menjadi meningkat. Ini terjadi karena metabolisme oksidatif dipercepat menuju puncak potensi dan karena penggunaan energi oleh otot sangat menurun.

**C. Sistem oksigen atau Sistem oksidatif**

**1.Oksidasi Karbohidrat**

Sistem ketiga dari produksi energy seluler adalah system oksidatif yang merupakan jalur enzimatik yang paling rumit dari pada dua system energi yang lain (Reid dan Thomson; 1985: 48). Karena pada proses ini memerlukan oksigen,maka proses ini dinamakan proses aerobik atau metabolisme aerobik. Produksi *ATP* melalui system ini terjadi di dalam organel sel khusus yang dinamakan mitokhondria *(mitochondria).*

Otot memerlukan suplai energi yang lancar dan stabil untuk secara berkesinambungan menghasilkan daya yang diperlukan selama aktivitas dalam waktu yang lama. Tidak seperti produksi *ATP* secara anaerobik, sistem oksidatif ini menghasilkan energi yang sangat besar, sehingga metabolisme aerobik ini menurut Pate dkk., (1984:220) merupakan sistem energi utama dalam memproduksi energi selama kegiatan yang memerlukan daya tahan.

Sebelum menjelaskan reaksi sistem oksigen, perlu kiranya untuk memperkenalkan terlebih dahulu istilah-istilah biokimia seperti kelompok asetil *(acetyl: NAD+, NADH, FAD'* clan *FADH2.* Kelompok asetil dalam pembahasan selanjutnya dapat disederhanakan yaitu sebagai molekul dua karbon. Sebagai contoh, asam piruvat (molekul tiga karbon) kehilangan CO2 menjadi kelompok asetil, yang kemudian bergabung dengan Koenzim A untuk membentuk asetil KoA sebelum ke siklus Krebs. Demikian juga di dalam metabolisme asam lemak dua karbon kelompok asetil dibentuk untuk dapat masuk ke siklus Krebs. Metabolisms protein asam amino lebih rumit, karena hanya beberapa dari protein yang dapat masuk ke dalam siklus Krebs sebagai kelompok asetil.

*NAD+ (nicotinamide adeninne dinocleotide),* dan *FAD+ (flavo adenine dinocleotide)* membantu sebagai aseptor hidrogen. H+ dipisah dari karbohidrat selama kegiatan glikolisis dan siklus Krebs. Pembuangan ion H+ dari ikatan merupakan salah satu bentuk dari oksidasi. Apabila ikatan menerima ion H+ ini dikatakan berkurang. Jadi *NADH dan FADH2*merupakan bentuk pengurangan dari *NAD+FAD+.* Fungsi dari *NADH* dan *FADH2* adalah mengangkut elektron melalui sistem transport elektron.

Produksi *ATP* yang terjadi di mitokhondria melibatkan interaksi kerjasama dua jalur metabolisme, yaitu (1) siklus Krebs atau *tricarboxilic acid cycle* atau *citric acid cycle* dan (2) sistem transport electron (Powers dan Howley; 1997: 33), tetapi Wilmore dan Costill (1994: 99) mengatakan sebelum masuk ke siklus Krebs, harus

mengalami glikolisis. Sebab di dalam metabolisme karbohidrat glikolisis memainkan peranan di dalam produksi *ATP,* baik secara aerobik maupun secara anaerobik.

**a. Siklus Krebs**

Asam piruvat yang dibentuk selama proses glikolisis aerobik masuk ke dalam mitokhondria dan terus dipecah di dalam rangkaian yang dinamakan siklus Krebs *(Krebs Cycle),* atau disebut juga siklus asam trikarboksilik (*Tricarboxylic acid (TCA) cycle ),* atau disebut juga siklus asam sitrat *(Citric acid cycle).* Menurut Fox dkk., (1993: 21) beberapa peristiwa penting yang terjadi selama siklus Krebs, adalah (1) dihasilkannya karbondioksida, (2) oksidasi (dan reduksi) dan (3) produksi ATP. Ditegaskan oleh Mc Ardle dkk., (1994: 47) bahwa, fungsi utama dari siklus Krebs adalah untuk mendegradasi substrat asetil KoA menjadi karbondioksida dan atom hidrogen, kemudian dioksidasi dan dengan melibatkan *transport electron-oxidative phosphorilation* menghasilkan *ATP.*

Pada bagian atas dari gambar 10 dapat dilihat bahwa asetil KoA bergabung dengan asam oksaloasetat *(oxaloacetic acid)* dan kehilangan molekul koenzim A, dan reaksi ini menghasilkan asam sitrat *(citric acid).* Asam sitrat kemudian dikonversi menjadi asam sisasonitat *(cis-aconitic acid)* dan selanjutnya diubah menjadi asamisositrat *(isocitric acid).* Pada reaksi B, asam isositrat dioksidasi (dengan bantuan pengangkut elektron, *NAD+)* untuk menjadi asam oksalosuksinat. Pada reaksi C, asamoksalosuksinat kehilangan/mele­paskan molekul CO2 dan menjadi asam alfa­ketoglutarat.

Dengan kehilangan molekul CO*2* di dalam reaksi C, artinya, dapat dianggap bahwa hanya satu dari tiga atom karbon yang berasal dari molekul asam piruvat yang tinggal. Terakhir karbon hilang sebagai CO*2* di dalam rangkaian D pada waktu asam alfa­ketoglutarat mengalami oksidasi (dengan *NAD+)* dan kehilangan CO*2* ketika menghasilkan satu molekul *ATP.* Sebenarnya hanya molekul ATP yang diproduksi di dalam siklus Krebs untuk setiap molekul asetil-KoA yang melintasi siklus.

Setelah reaksi D dapat dianggap setiap karbon yang berasal dari asam piruvat tidak dapat tinggal terlalu lama, dan karbon tetap hanya untuk mengangkut 4 elektron tambahan dan ion hidrogen di dalam. reaksi E dan F. Di dalam reaksi pengangkut elektron bukan molekul *NAD+* yang biasa, tetapi molekul yang lain yang dinamakan *FAD.* Pada reaksi F asam oksaloasetat mengalami regenerasi, dan siklus dapat dimulai dengan yang baru lagi. Untuk menghasilkan sejumlah *ATP* yang lebih besar melalui pemecahan asam piruvat secara aerobik, elektron dan ion hidrogen dikeluarkan ke pengangkut elektron *NAD* dan *FAD* dan harus diangkut ke oksigen dengan cara/melalui sistem transport elektron.

**b. Sistem Transport Elektron**

Produksi *ATP* di dalam mitochondria yang berhubungan dengan oksidasi molekul secara berturut-turut, menurut Lamb (1984: 48) dinamakan *oxidative phosphorylation.* Jalur yang bertanggungjawab dalam proses ini menurut Powers dan Holey (1997: 35) dinamakan *electron transport chain,* atau *respiratory chain,* atau *cytochrome chain,* sedangkan menurut Fox, Bowers dan Foss (1993: 21) dinamakan *electron transport system.*

Di dalam sistem transport elektron, seperti elektron dan ion hidrogen ditransfer dari senyawa yang satu ke senyawa berikutnya, energi kimia ditentukan melalui tiga tahapan (pada reaksi A, D dan G) untuk menyedia-kan energi dalam rangka pembentukan *ATP* dari *ADP* dan kelompok fosfat. Dalam proses ini menurut Lamb (1984: 48) penyediaan sumber ATP untuk kontraksi otot adalah yang terbesar. Bagian terbesar dari elektron yang masuk ke sistem transport elektron berasal dari molekul *NADH* dan *FADH2*yang dibentuk sebagai hasil dari oksidasi di dalam siklus Krebs (Powers dan Holey; 1997: 36). *NADH* dan *FADH2*merupakan gabungan dari *NAD+* dan *FAD+*dengan hydrogen yang dikeluarkan selama glikolisis dan siklus Krebs, sebab kalau hydrogen masih tetap tinggal dalam system ini, maka bagian dalam sel akan menjadi sangat asam.Karenanya NAD+ dan FAD+ mengangkut atom hydrogen ke system transport elektron, dipecah menjadi proton dan elektron, dan pada akhir system transport ion hydrogen bergabung dengan oksigen membentuk air untuk mencegah keasaman (Wilmore dan Costill; 1994: 100). Di samping air juga terbentuk karbondioksida. Menurut H. J. Green (1982: 4) sebagian air tetap tinggal di dalam tubuh untuk membantu mempertahankan homeostasis, sedangkan karbondioksida dibuang ke atmosfir melalui pernafasan.

Elektron yang dipisah dari hidrogen terus melewati rangkaian reaksi, oleh karena itu dinamakan rantai transport ' elektron yang menyediakan energi untuk fosforilasi *ADP,* yang kemudian terbentuk *ATP.* Karena proses ini tergantung pada oksigen, maka proses ini dinamakan fosforilasi oksidatif.

Dalam diagram sistem transport elektron dapat dilihat bahwa setiap dua elektron (atom hidrogen) melewati semua lintasan dari *NADH +* H+ menjadi H20, dihasilkan tiga molekul *ATP* (pada reaksi A, D dan G). Jadi dalam pemecahan glukose secara aerobik atau dari glikogen menjadi karbondioksida dan air, setiap molekul *NADH* yang masuk ke sistem transport elektron secara potensialdapat menghasilkan tiga molekul *ATP.* Jadi produksi energi melalui sistem oksidatif dapat menghasilkan 39 molekul *ATP* dari satumolekul glikogen. Apabila proses tersebut dimulai dari glukose, *ATP* yang dihasilkan sebanyak 38 molekul, karena satu molekul *ATP* dipergunakan untuk mengkonversi glikogen menjadi glukose-6- fosfat sebelum glikolisis dimulai, sehingga kalau diperinci adalah sebagai berikut: dua molekul *ATP* dari glikolisis aerobik, 30 molekul ATP dari perjalanan *NADH* menuju sistem transport elektron, empat molekul *ATP* dari perjalanan *FADH2* menuju sistem transport elektron dan dua molekul *ATP* dari siklus Krebs itu sendiri.

**2. Oksidasi Lemak**

Seperti telah dikatakan pada halaman sebelumnya, bahwa lemak memberikan kontribusi energi yang dibutuhkan oleh otot. Simpanan glikogen otot dan hati mungkin hanya mampu menyediakan 1200 sampai 2000 kcal., tetapi lemak yang disimpan di dalam serabut otot dan sel-sel lemak dapat mengsuplai sekitar 70.000 sampai 75.000 kcal (Wilmore dan Costill; 1994: 100).

Walaupun berbagai macam senyawa kimia (seperti: trigliserida, lemak fosfat dan kolesterol) diklasifikasikan ke dalam lemak, hanya trigliserida sebagai sumber energi terbesar setelah dipecah rnenjadi molekul asam lemak, dan proses produksi *ATP* dari asam lemak dinamakan *beta oxidation of fatty acid* (biasa disebut beta oksidasi )dan terjadi di dalam sel mitochondria (Lamb; 1984: 51), agar dapat masuk ke dalam siklus Krebs dan sistem transport elektron (Fox dkk; 1993: 23). Tetapi menurut Hahn (1992: 71), agar asam lemak dapat masuk ke mitokhondria, dikonversi terlebih dahulu agar menjadi bentuk yang sedikit berbeda di dalam reaksi katalisis oleh *carnitine palmityl transferase.*

Wasserman dkk., ( 1987: 5) berpendapat, bahwa otot dapat menyimpan lemak secara intramuskuler rata-rata 20 mg trigliserida per gr berat basah. Jumlah ini dapat mencukupi total energi yang diperlukan oleh otot, walaupun pada waktu melakukan latihan lemak ekstramuskuler juga dipergunakan. Orang dengan berat badan 70 kg, lemak yang ada mendekati 15 kg trigliserida, ekuivalen dengan 140.000 kcal. energi. Pada manusia sebagian besar asam lemak mempunyai 16 atau 18 atom karbon, sedangkan *stearic acid* memiliki 18 atom karbon dan menyimpan energi yang sangat besar.

Berapa sebenarnya molekul *ATP* yang dapat dihasilkan melalui pemecahan yang sempurna dari satu molekul *stearic acid* yang memiliki 18 atom karbon.

Pada perjalanan pertama melalui siklus oksidasi asam lemak, satu. molekul *ATP* dipergunakan di dalam aktivasi reaksi A. Pada reaksi B satu molekul FADH2 dibentuk, yang kemudian terus ke sistem transport elektron dan menghasilkan dua molekul *ATP.* Pada reaksi C, molekul *NADH* diproduksi, melalui sistem transport elektron menyebabkan tiga molekul *ATP* dibentuk. Akhirnya pada reaksi D molekul asetil KoA dihasilkan melalui siklus Krebs dan sistem transport elektron, yang dapat digunakan sebagai energi untuk menghasilkan 12 molekul *ATP.* Jadi pada siklus pertama oksidasi asam lemak, diproduksi 17 molekul *ATP* dan satu dikeluarkan, sehingga hasil bersih 16 molekul *ATP.* Perjalanan berikutnya melalui oksidasi dan siklus Krebs akan diresintesis 17 molekul *ATP.* Pada perjalanan terakhir, terlibat empat rantai karbon, akandiresin- tesis 17 *ATP* dan 12 *ATP* (kelompok asil yang terakhir tidak melalui ? oksi-dasi) (Fox dkk; 1993: 25). Asam lemak yang berbeda akan menghasilkan jumlah resintesis *ATP* yang bervariasi. Untuk dua jenis asam lemak, yaitu *stearic acid* (18 molekul karbon) menghasilkan 147 molekul *ATP* (Lamb1984: 53) dan *palmitic acid* (16 molekul karbon) akan menghasilkan 130 molekul *ATP* (Fox dkk; 1993: 25).

Satu molekul *palmitic acid* (lebih sedikit dari setengah pon) mengeluarkan energi yang cukup untuk resintesis 130 molekul *ATP,* melebihi dari satu molekul glikogen. Jadi 23 molekul atau 23 x 22,4 = 515,2 liter oksigen yang diperlukan. Oleh karena itu diperlukan 3,96 liter oksigen untuk resintesis per molekul *ATP (* 515,2 : 130 = 3,96). Untuk mengoksidasi satu molekul glikogen diperlukan 6 molekul oksigen (6 x 22,4 liter

oksigen per molekul = 134,4 liter oksigen) dan 3,45 liter oksigen untuk menghasilkan satu molekul *ATP.* Jadi untuk menghasilkan satu molekul *ATP* melalui oksidasi asam lemak memerlukan sekitar 15% lebih oksigen dari pada satu molekul *ATP* melalui pemecahan glikogen. Dengan kata lain, diperlukan lebih banyak lagi oksigen untuk menghasilkan satu molekul *ATP* melalui pemecahan lemak secara aerobik dari pada glikogen.

Protein juga merupakan sumber tambahan *ATP,* tetapi peranannya sangat kecil sekali baik pada saat istirahat, maupun pada saat latihan. Kecuali dalam keadaan kelaparan dan kehabisan karbohidrat atau karena melakukan pertandingan tanpa berhenti selama seminggu, maka metabolisme protein baru akan menjadi sangat penting (Fox dkk; 1993: 26).

**D. Konsentrasi hemoglobin**

Sel darah merah mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasi hemoglobin di dalam cairan sel sampai kira-kira 34 gram per 100 ml cairan sel. Konsentrasi ini tidak pernah naik di atas nilai tersebut, karena merupakan batas mekanisme pembentukan hemoglobin. Pada orang-orang yang normal persentase hemoglobin hampir selalu mendekati maksimum pada setiap sel. Tetapi bagaimanapun juga, apabila pembentukan hemo­globin pada sumsum tulang mengalami defisiensi, persentase hemoglobin di dalam sel menurun di bawah nilai tersebut (Guyton; 1981: 56). Apabila *hematocrit* dan kuantitas hemoglobin di dalam masing-masing sel normal, darah keseluruhan seorang laki-laki mengandung rata-rata 16 gram hemoglobin per 100 ml, dan perempuan rata-rata mengandung 14 gramhemoglobin per 100 ml. Setiap gram hemoglobin murni mampu untuk bergabung *(combining)* dengan kira-kira 1,39 ml oksigen. Karena itu, pada laki-laki normal oksigen yang dapat diangkut di dalam kobinasi *(combination)* dengan hemoglobin lebih dari 21 ml per 100 ml darah, dan pada perempuan normal sebanyak 19 ml (Guyton; 1981: 57).

Sekali oksigen berdifusi dari *alveoli* ke darah *pulmoner,* oksigen terutama diangkut di dalam kombinasi dengan hemoglobin ke kapiler-kapiler jaringan kemudian dilepaskan untuk dipergunakan oleh sel-sel dalam tubuh. Dengan adanya hemoglobin di dalam sel darah merah, menyebabkan darah dapat mengangkut 30 sampai 100 kali sebanyak oksigen yang dapat diangkut dalam bentuk larutan oksigen di dalam cairan darah. Biasanya, 97% dari oksigen yang diangkut dari paru ke jaringan-jaringan dibawa oleh gabungan kimia dengan hemoglobin dalam sel darah merah, dan sisanya yang 3% dalam keadaan larutan di dalam cairan plasma dan sel-sel. Jadi dalam keadaan normal, oksigen dibawa ke jaringan hampir seluruhnya oleh hemoglobin (Guyton; 1981: 507). Ikatan oksigen dengan hemoglobin membentuk oksihemoglobin *(oxy-hemoglobin - HbO2 ).* Proses pengikatan ini meningkatkan kapasitas darah untuk mengangkut oksigen sebesar 65 kali (Fox, dkk.; 1993: 232). Hemoglobin yang tidakterikat dengan oksigen dinamakan *deoxy-hemoglobin (* Powers dan Howley; 1997: 188).

**1. Oksihemoglobin**

Hemoglobin terdapat di dalam sel-sel darah merah yang merupakan rangkaian molekul dan mengandung zat besi *(heme)* dan protein *(globin).* Oksigen berhubungan dengan kemampuan *heme* itu sendiri. Setiap kelompok *heme,* terdiri dari empat komponen dalam setiap molekul hemoglobin, yang mampu untuk bersenyawa secara kimiawi dengan satu molekul oksigen.

**2. Kapasitas Oksigen yang diangkut Hemoglobin**

Jumlah maksimum oksigen (kapasitas oksigen) yang dapat diangkut oleh darah ditentukan oleh banyaknya hemoglobin yang ada di dalam sel darah merah. Darah pada manusia normal terdiri dari kira-kira 15 gram sampai 16 gram hemoglobin di dalam setiap 100 ml darah pada laki-laki, sedangkan pada perempuan rata-rata skitar 14 gram pada setiap 100 ml darah. Menurut Shaver (1981: 65) setiap gram hemoglobin dapat mengikat oksigen maksimum 1,34 ml (1,39 apabila hemoglobin murni, tetapi menurun 4% karena ketidakmurnian, seperti *methemoglobin).* Oleh karena itu rata-rata hemoglobin di dalam 100 ml darah dapat bersenyawa dengan 20,1 ml oksigen (15 X 1,34) apabila hemoglobin 100% jenuh, dan dinyatakan sebagai *20,1 volumes per cent* (Guyton; 1981: 508).

Dengan mengetahui kandungan hemoglobin, maka kapasitas oksigen yang dapat diangkut oleh darah, dapat dengan mudah dihitung.Apabila hemoglobin sudah sepenuhnya jenuh terhadap oksigen yaitu, apabila semua hemoglobin dikonversi menjadi Hb02, maka rata-rata 20,1 ml oksigen yang dapat diangkut oleh hemoglobin dalam setiap 100 ml darah.Menurut Junusul Hairy (yang dikutip dari Astrand 1989: 137) selama latihan konsentrasi Hb di dalam darah meningkat dari 5 sampai 10%. Ini disebabkan oleh karena mengalirnya cairan yang ada di dalam tubuh ke sel-sel otot yang sedang bekerja, dan mengakibatkan hemokonsentrasi (hemoconcentration). Keadaan ini menjadi lebih banyak lagi keluarnya cairan dari darah, apabila melakukan latihan dalam waktu yang lama dan di tempat yang panas, karena keringat makin banyak dikeluarkan untuk mengurangi panas tubuh. Selama latihan hemokonsentrasi 10%, artinya Hb mencapai 16,5 gram per 100 ml darah, sedangkan dalam keadaan istirahat hanya 15 gram per 100 ml darah. Dengan demikian kapasitas oksigen yang dapat diangkut oleh hemoglobin, meningkat dari 20,1 ml menjadi 22,1 ml., suatu perubahan yang sangat menguntungkan. Tetapi menurut Gardner, Yang dikutip Junusul Hairy (1989: 138) pada orang-­orang yang menderita anemia (kekurangan konsentrasi hemoglobin) kemampuan untuk melakukan latihan, walaupun ringan, sangat rendah sekali.

**E. Transport Karbondioksida**

Sekali karbondioksida dibentuk di dalam sel, satu-satunya jalan zat tersebut harus keluar melalui proses difusi dan selanjutnya dibawa ke paru melalui darah vena. Seperti halnya dengan oksigen, sejumlah kecil karbondioksida diangkut di dalam larutan fisik di dalam plasma darah. Karbondioksida juga diangkut bersama dengan hemoglobin. Fraksi yang besar bersenyawa dengan air, dan dibawa ke paru dalam bentuk bikarbonat yang menurut McArdle dkk., (1994: 221-222) seperti terlihat pada reaksi berikut:

Reaksi ini berjalan lambat, dan sedikit karbondioksida yang akan diangkut dalam bentuk ini apabila tidak untuk tindakan *carbonic anhydrase* seng yang berada dalam enzim-enzim di dalam sel darah merah. Katalisis ini mempercepat interaksi karbondioksida dengan air sekitar 5000 kali. Di dalam kenyataannya reaksi mencapai keseimbangan ketika sel darah mengalir ke kapiler-kapiler jaringan.Begitu asam karbonat terbentuk di dalam jaringan­jaringan, sebagian besar menjadi ion hidrogen (H+) dan ion bikarbonat (HCO3-).Di dalam jaringan-jaringan:Kemudian H+ menjadi penyangga hemoglobin untuk mempertahankan pH darah. Karena HCO3- mudah larut di dalam darah, maka berdifusi dari sel darah merah ke plasma untuk bertukar dengan ion klorida *(Chloride - Cl-)* yang masuk ke sel darah untuk mempertahankan keseimbangan ion. Akibatnya, kandungan klorida pada sel darah merah *(erythrocytes)* vena lebih tinggi dari pada kandungan di sel darah merah arteri; terutama selama melakukan latihan (McArdle, Katch dan Katch; 1994: 222).Enampuluh sampai delapanpuluh persen dari jumlah total karbon-dioksida diangkut sebagai bikarbonat plasma. Pada saat tekanan karbon­dioksida (PCO2) pada jaringan meningkat maka asam karbonat terbentuk dengan sangat cepat sekali. Sebaliknya di dalam paru karbondioksida meninggalkan darah dan PCO2 plasma menjadirendah. Keadaan ini mengganggu keseimbangan antara asam karbonat dan pembentukan ion bikarbonat. Sebagai akibatnya, H+ dan HCO3- bergabung lagi membentuk asam bikarbonat.Selanjutnya, karbondioksida dan air terbentuk kembali dan karbondioksida keluar melalui paru.

**F. Denyut Nadi**

Salah satu cara untuk menentukan pembebanan atau peningkatan suatu latihan adalah berdasarkan pada intensitas latihan yang ditentukan oleh denyut nadi latihan. Arts dan Kuipers (1994: 228) menyatakan , bahwa intensitas latihan selalu diekspresikan sebagai persentase dari maksimal beban kerja *(persentage of maximal workload - %Wmax),* atau persentase dari denyut nadi maksimal *(percentage of maximal heart rate - %HRmax)* atau persentase dari isapan oksigenmaksimal *(percentage of maximal oxygen uptake).* Misalnya: 90% atau 95%, dari denyut nadi maksimal atau 150 denyut per menit, 170 denyut per menit dan sebagainya. Salah satu prinsip di dalam merancang suatu program pelatihan *(training)* adalah *progressive increase of load in training* (Bompa; 1990: 44), artinya di dalam suatu pelatihan peningkatan beban latihan dilakukan secara bertahap, karena tubuh akan selalu beradaptasi terhadap latihan. Dengan demikian denyut nadi istirahat maupun denyut nadi latihan juga secara bertahap, akan menurun. Seseorang yang terlatih dengan baik memerlukan beban latihan yang lebih berat untuk mencapai denyut nadi yang diharapkan, sedangkan orang yang tidak terlatih, dengan beban latihan yang ringan saja sudah merasa kepayahan. Dengan kata lain untuk mencapai denyut nadi 150 per menit, orang yang terlatih memerlukan beban yang lebih berat jika dibandingkan dengan orang yang tidak terlatih.Agar lebih memahami tentang denyut nadi ini, akan dijelaskan perbedaan antara denyut nadi istirahat dan denyut nadi latihan.

Denyut Nadi Istirahat.Rentangan denyut nadi istirahat rata-rata 60 sampai 80 denyut per menit. Pada usia pertengahan dan tidak terlatih denyut nadi istirahat bisa mencapai lebih, dari 100 denyutper menit. Tetapi pada atlet daya tahan yang sangat terlatih rentangan denyut nadi istirahat antara 28 sampai 40 denyut per menit (Wilmore dan Costill; 1994: 177). Di samping itu denyut nadi sangat dipengaruhi oleh umur, jenis kelamin, temperatur dan ketinggian tempat *(altitude).*Sebelum memulai suatu latihan, denyut nadi pra­latihan *(pre-exercise heart rate)* biasanya meningkat di atas normal nilai istirahat. Keadaan ini dinamakan *anticipatory response.* Respon inidimediai oleh keluarnya *neurontransmitter norepinephrine* dari sistem syaraf simpatetik, dan hormon *epinephrine* dari kelenjar adrenal. Karena denyut nadi pra-latihan meningkat, maka penghitungan denyut nadi yang dapat dipercaya dan merupakan penghitungan denyut nadi istirahatyang sebenarnya, harus diambil dalam keadaan relaksasi total (Wilmore dan Costill; 1994: 177).

Denyut Nadi Latihan.Apabila latihan dimulai, denyut nadi meningkat dengan sangat cepat. Laju peningkatan denyut nadi ini proporsional dengan meningkatnya beban latihan pada setiap individu.Denvut Nadi Maksimum. Peningkatan denyut nadi proporsional dengan peningkatan intensitas latihan sampai orang coba mendekati titik kelelahan. Pada titik ini, denyut nadi mulai stabil dan ini merupakandenyut nadi maksimum. Denyut nadi maksimumadalah nilai denyut nadi tertinggi yangdapat dicapai dalam melakukan latihan maksimal *(all-out)* sehingga orang coba mengalami kelelahan.

Menurut deVries dan Housh (1994: 106), denyut nadi merupakan variabel yang paling penting di dalam memberikan respon terhadap tuntutan latihan, karena denyut nadi proporsional dengan intensitas latihan, di samping juga proporsional dengan konsumsi oksigen selama latihan. Pernyataan ini senada dengan apa yang dinyatakan oleh Astrand (1986: 188) bahwa pada beberapa tipe latihan peningkatan denyut nadi linier dengan meningkatnya beban latihan. Apabila orang coba melakukan latihan dengan beban yang sangat berat, maka *VO2 Max* juga meningkat, sehingga isapan oksigen meningkat relatif lebih banyak dari pada curah jantung (Nieman; 1986: 182).

Untuk menentukan denyut nadi maksimum, dapat dipergunakan beberapa metode. Metode yang paling baik adalah langsung mengukur denyut andi maksimum dengan *Electrokardiography (EKG)* selama uji latih *(exercise testing).* Untuk menghitung denyut nadi maksimum, menurut Nieman (1986: 182) dapat mempergunakan formula seperti di bawah ini:

Misalnya orang berumur 20 tahun, maka denyut nadi maksimumnya adalah 220 - 20 = 200 denyut per menit. Tetapi orang tidak dapat melakukan latihan sampai pada denyut nadi maksimumnya, karena itu metode pertama yang dipergunakan untuk menentukan target denyut nadi yang sesuai adalah menentukan persentase dari denyut nadi maksimum, misalnya antara 75% -90%. Dengan demikian denyut nadi latihan orang yang berumur 20 tahun, yang harus dicapai adalah:

Denyut nadi maksimum

= 220 - 20 = 200 denyut per menit

Denyut nadi latihan

= 200 X .75 = 150 denyut permenit (batas bawah)

Menurut Karvonen (yang kemudian terkenal dengan sebutan Formula Karvonen dalam penghitungan denyut nadi) seperti dikutip Lamb (1984: 198), denyut nadi latihan yang harus dicapai paling tidak sebesar denyut nadi istirahat ditambah 60% dari perbedaan antara denyut nadi maksimum dan denyut nadi istirahat. Alasannya, bahwa perbedaan antara denyut nadi maksimum dengan denyut nadi istirahat menggambarkan cadangan denyut jantung untuk meningkatkan besarnya curah jantung *(cardiac output).* Latihan yang dilakukan pada persentase denyut nadi tertentu menggambarkan tingginya persentase cadangan denyut jantung yang dapat menyebabkan peningkatan adaptasi kardiovaskuler yang memadai. Fox, Kirby dan Fox (1987: 77) menyakan, bahwa formula Karvonen tadi dianggap sebagai metode ke dua dalam menentukan intensitas latihan yang sesuai dengan menentukan denyut nadi cadangan sebagai dirumuskan di bawah ini:

Denyut per menit, kemudian denyut nadi istirahatnya 72 denyut per menit, sehingga denyut nadi cadangannya adalah 199 - 72 = 127 denyut per menit. Seperti dinyatakan di muka denyut nadi latihan yang harus dicapai paling tidak adalah denyut nadi istirahat ditambah 60% dari perbedaan antara denyut nadi maksimum dan denyut nadi istirahat. Jadi denyut nadi yang harus dicapai adalah:

DNcadangan = DNmax– DNist

= 199 - 72 = 127denyut per menit

60% DN cad = 127 X60% = 76

(dibulatkan) denyut per menit

Batas bawah= DNist + 60% DNcad

= 72 + 76 = 148 denyut per menit

85% DN cad = 127 X 85= 108 denyut per menit

Batas atas = DNist + 85% DNcad =72 + 108 =180

denyut per menit.

Untuk itu denyut nadi latihan harus mencapai batas minimal atau ambang rangsang intensitas latihan setiap orang. Maksudnya adalah untuk menjamin bahwa latihan yang dilakukan cukup berat dan akan dapat menyebabkan tidak hanya jantung, tetapi juga sistem sirkulasi beradaptasi dengan latihan. Dengan demikian dapat diukur peningkatan konsumsi oksigen maksimal. Namun untuk menjamin peningkatan konsumsi oksigenmaksimal yang lebih besar, maka seseorang harus berlatih pada tingkat yang lebih tinggi dari ambang rangsang masing-masing individu, karena salah satu prinsip latihan adalah bersifat individual. Oleh karena itu menurut Wilmore dan Costill (1987: 19), untuk mencapai peningkatan daya tahan pada tingkat yang maksimal, maka seseorang harus berlatih dengan beban kerja secara bertahap terus meningkat, sedangkan peningkatan volume latihan tidak akan meningkatkan daya tahannya. Jadi intensitas latihan yang dilakukan oleh seseorang selama latihan berlangsung nampaknya yang paling penting untuk menentukan pengembangan daya tahan aerobik dan puncak kinerja. Untuk latihan daya tahan, stimulus latihan yang terbaik akan diperoleh pada suatu intensitas yang menyebabkan sistem transport oksigen diaktivasi dengan maksimum, sedangkan penumpukan asam laktat belum sampai terjadi. Intensitas seperti ini menurutJanssen (1987: 19) dikatakan sebagai zona jalur aerobik-anaerobik *(aerobic-anaerobic passing zone).*

Karena intensitas suatu latihan ini berhubungan dengan sistem transport oksigen, maka zona jalur aerobik-anaerobik ini sangat bervariasi antara orang yang satu dengan yang lain, dan sangat ditentukan oleh status kondisi masing­masing individu.

Selanjutnya Janssen (1987: 19) menyatakan, bahwa batasan denyut nadi latihan adalah antara 140 - 180 denyut per menit. Maksudnya ada orang yang berlatih daya tahan dengan kapasitas daya tahan terbaiknya pada 140 denyut per menit, dan yang lain bisa mencapai denyut nadi 180 per menit untuk meningkatkan kapasitas daya tahannya. Akan tetapi denyut nadi maksimum seseorang tidak akan berubah karena latihan, apapun bentuk latihan yang dilakukan. Artinya, denyut nadi maksimum seseorang apakah orang tersebut terlatih atau tidak, denyut nadi itu tidak tergantung kepada status kondisinya. Tetapi dengan makinmeningkatnya kapasitas daya tahan seseorang, maka denyut nadi istirahat secara bertahap juga menurun. Telah dikatakan sebelumnya, bahwa denyut nadi atlet daya tahan yang terlatih dengan baik, sampai mencapai antara 28 sampai 40 denyut per menit, akan tetapi sangat perlu untuk

diperhatikan, bahwa rendahnya denyut nadi istirahat tidak selalu menunjukkan tingkat kebugaran jasmani yang baik. Sebab rendahnya denyut nadi *(bradikardia)* dapat menunjukkan adanya gejala suatu penyakit jantung, kecuali apabila hal tersebut terjadi pada orang yang terlatih dengan baik (Brooks dan Fahey; 1987: 174). Melakukan latihan daya tahan dengan beban **60** -80% dari kapasitas maksimal aerobiknya (V02Max) akan meningkatkan kebugaran kardiorespiratori (Franklin, Hodgson dan Buskirk; 1980: 617) yang ditandai oleh makin rendahnya denyut nadi istirahat (Farrel, Wilmore dan Coyle; 1980: 417). Wilmore dan Costill (1988: 158) menyatakan, bahwa orang dewasa yang tidak terlatih, yang pada awal latihan denyut nadi istirahatnya. 80 denyut per menit, akan menurun satu denyut per menit setiap minggunya setelah melakukan latihan selama beberapa minggu pertama. Dengan demikian setelah 10 minggu melakukan latihan daya tahan, denyut nadi istirahatnya harus turun sampai 70 denyut per menit.Untuk mendapatkan peningkatan yang maksimal pada konsumsi oksigen maksimal, penekanan latihan harus ditujukan pada mekanisme sistem per-otot-an dan kardiovaskuler serta tidak perlu berlatih pada intensitas maksimalnya, tapi cukup berlatih pada beberapapersen dari fungsi maksimalnya seperti: V02 Max dandenyut nadi maksimal atau kapasitas kerja maksimal. Karena itu menurut Fardy (1980: 33), bagi mereka yang tidak terlatih, intensitas latihan antara 60-70% dari denyut nadi maksimal sudah memadai dan keadaan ini sama dengan 45-57% dari V02 Max.

**G. Kadar Lemak tubuh**

Istilah pada tubuh manusia menurut Wilmcre dan Costill (1994: 382) ada tiga jenis yang berbeda, yaitu: (a) bentuk tubuh *(body build),* (b) ukuran tubuh *(body size)* dan komposisi tubuh *(body composition).* Bentuk tubuh berhubungan dengan morfologi, atau bangun tubuh dan struktur tubuh yang biasanya diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu: 1) berotot, 2) ramping dan 3) gemuk.

Atlet pada cabang olahraga tertentu biasanya masuk ke dalam salah satu kategori yang lebih menonjol *(predominance)* dari pada dua kategori lainnya. Misalnya binaragawan mengutamakan penampilan per-otot-an, pemain sepakbola tampil lebih ramping, sedangkan atlet sumo (gulat ala Jepang) tampil gemuk dan gendut. Ukuran tubuh berhubungan dengan tinggi dan berat badan dan biasanya dikategorikan ke dalam pendek atautinggi, besar atau kecil, berat atau ringan, sedangkan komposisi tubuh berhubungan dengan komposisi kimia tubuh.

Dua model pertama membagi tubuh ke dalam berbagai komponen kimia dan anatomis, sedangkan dua model terakhir membagi tubuh ke dalam dua komponen yang lebih sederhana. Perbedaan utama di antara dua model yang terakhir adalah pemakaian istilah massa tanpalemak *(lean body mass)* dan massa bebas lemak *(fat free mass).* Menurut konsep awal dari Behnke, massa tanpa lemak termasuk massa bebas lemak dan lemak esensial adalah sejumlah lemak yang diperlukan untuk hidup (Wilmore dan Costill; 1994: 130). Tetapi konsep yang berkembang pada saat sekarang dan selalu dipergunakan oleh para ilmuwan adalah model 2-komponen yaitu massa lemak dan massa bebas lemak. Massa lemak sering dipakai dengan istilah lemak tubuh relatif, yaitu persentase dari total massa tubuh yang mengandung lemak, sedangkan massa bebas lemak adalah semua jaringan yang bukan lemak atau yang menurut *International Olympic Committee* (1990: 36) disebut massa tubuh tanpa lemak atau berat tanpa lemak.

Para ahli sependapat bahwa jumlah total lemak tubuh relatif berada pada dua depo atau tempat penyimpanan. Depo pertama dinamakan lemak esensial *(essensial fat)* seperti *phospholipids* atau lemak yang disimpan dan diperlukan di dalam struktur tubuh, seperti sumsum tulang, jantung, paru, hati, otak, jaringan persyarafan, membran sel dan sebagainya. Depo yang kedua dinamakan lemak simpanan yang pada dasarnya sebagai tempat penyimpanan kelebihan energi; walaupun sebagian lemak disimpan di dalam tubuh bagian dalam (Williams; 1990: 130). Katch dan McArdle (1983:103) mengatakan bahwa pada perempuan lemak esensial juga termasuk yang berkarakteristik gender. Tetapi sampai sekarang belum diketahui dengan pasti apakah lemak tersebut dapat dikembangkan atau membantu sebagai cadangan penyimpanan. Payudara dan daerah pinggul merupakan penyimpanan utama untuk lemak tersebut, selain di bawah kulit, walaupun jumlahnya yang pasti belum diketahui. Hasil penelitian yang dilakukan oleh mereka dilaporkan bahwa sumbangan berat payudara terhadap kandungan berat lemak tubuh total tidak lebih dari 4% bagi perempuan yang memiliki kandungan lemak antara 14-35%. Ini berarti bahwa tempat penyimpanan selain payudara yang memberikan sumbangan dengan bagian yang lebih besar dari lemak yang berkarakteristik gender mungkin pada tubuh bagian bawah, termasuk daerah pinggul dan paha. Tetapi Hoeger (1989: 102) dengan tegas menyatakan bahwa lemak esensial membentuk sekitar 3% dari total lemak pada laki-laki, sedangkan pada perempuan berkisar antara 10­12%.

Lemak simpanan atau lemak non-esensial seperti trigliserida terlibat dalam metabolisms karbohidrat, transport dan penyimpanan vitamin Yang larut dalam lemak (vitamin A, D, E dan K), fungsi sistem persyarafan, siklus, menstruasi dansistem reproduksi serta pada masa pertumbuhan dan kematangan selama masa pubertas (Heyward dan Stolarczyk; 1996: 2). Lemak ini juga membantu tiga fungsi dasar, yaitu: (1) sebagai insulator untuk menahan panas tubuh, (2) sebagai substrat energi untuk metabolisme, dan (3) untuk menahan adanya benturan dari luar. Jumlah lemak simpanan antara laki-laki dan perempuan tidak berbeda, kecuali laki-laki cenderung menyimpan lemak di pinggang, sedangkan perempuan pada pinggul dan paha (Hoeger; 1989: 102).

Fox, Kirby dan Fox (1987: 158) mengemukakan, ada dua faktor yang menentukan jumlah lemak tubuh yang disimpan di dalam tubuh, yaitu: (1) jumlah sel lemak, dan (2) kapasitas atau ukuran sel lemak. Setelah dewasa jumlah sel lemak tidak dapat berkurang, walaupun melakukan diet yang ketat dan latihan yang berat; yang berkurang hanya ukuran sel saja. Ackland dan Bloomfield (1992: 7) menyatakan, bahwa diet atau latihan atau gabungan keduanya dapat merubah komposisi tubuh, sehingga berpengaruh terhadap proporsi relatif tulang, otot dan lemak seseorang. Secara ideal seorang atlet harus tahu tentang komposisi tubuhnya, terutama persentase lemak tubuh, dan komposisi tubuh yang diinginkan sesuai dengan cabang olahraga yang ditekuni. Owens (1990: 119) mengemukakan, kalau komposisi tubuh diabaikan,dan hanya terfokus pada berat badannya saja, maka akan menjadi sangat mudah bagi seorang pemain sepakbola menjadi kelebihan berat badan atau seorang petinju menjadi terlalu ringan. Komposisi tubuh ini harus betul-betul diperhatikan, terutama untuk cabang olahraga yang menggunakan kategori berat badan. Komposisi tubuh setiap atlet harus diukur beberapa minggu sebelum masa pertandingan. Atlet dengan kandungan lemak kurang dari 5% harus menjalani pemeriksaan kesehatan yang teliti sebelum mengikuti pertandingan (Berger; 1982: 75). Karena itu beratbadan harus mendapat perhatian dan direncanakan. International Olympic Committee (1990: 36) mengemukakan, sangat disayangkan di dalam praktiknya untuk "membuat berat badan" banyak pelatih dan atlet menyalahgunakan penggunaan obat-obatan dan manipulasi diet. Menurut Thomson dan Hellemans (1994: 53) cara­cara yang sering dilakukan adalah menggunakan *diuretic* atau sauna yang dapat menyebabkan dehidrasi, atau *laxatives* dan diet yang sangat rendah kalori. Kalau diet yang dilakukan terlalu ketat, maka ada kemungkinan bahwa makanan yang masuk tidak dapat memenuhi kebutuhan gizi yang diperlukan, terutama zat besi dan kalsium, sehingga akan menimbulkan masalah baru. Penurunan berat badan yang paling baik harus dicapai secara bertahap jauh sebelum masakompetisi dimulai misalnya dengan program dalam waktu yang lama dengan mengurangi energi secara moderat. Tujuannya adalah untuk memaksimalkan kecukupan gizi sehingga meningkatkan penurunan lemak tubuh secara maksimum dan meminimalkan hilangnya jaringan tanpa lemak dan air. Pengurangan berat badan tidak boleh lebih dari setengah sampai satu kilogram per minggu, karena kalau melebihi satu kilogram per minggu akan merusak kinerja (Thomson dan Hellemans; 1994: 54).

Lemak tubuh dalam jumlah yang terlalu sedikit juga mempunyai risiko yang tidak kecil terhadap kesehatan, karena tubuh memerlukan sejumlah lemak untuk fungsi normal fisiologis. Tetapi kelebihan lemak *(obesity)* menurunkan kemampuan tubuh untuk mentransfer panas tubuh ke permukaan/ke udara luar, sehingga orang-orang yang kelebihan lemak sangat tidak mampu untuk berlatih dalam waktu yang lama. Menurut Craig (1991: 34) hal ini disebabkan oleh karena toleransi terhadap panas lebih rendah dari pada orang yang ramping, sehingga temperatur tubuh orang yang kelebihan lemak lebih cepat tinggi dan akibatnya iacepat lelah. David C. Nieman (1986: 94) menyatakan, bahwa kelebihan lemak atau obesitas disebabkan oleh meningkatnya ukuran sel lemak. Pada orang yang sangat gemuk di sampingmeningkatnya ukuran sel lemak, jumlah sel lemak juga meningkat. Selanjutnya Michel I. Pollock dan Andrew Jackson (dalam Edmund J. Burke; 1980: 68) mengatakan bahwa, kalau hal tersebut terjadi pada orang dewasa maka ini semat-mata disebabkan oleh kurangnya aktivitas fisik, bukan karena kebanyakan makan, sehingga menurut Elsworth R. Buskirk (dalam James S. Skinner; 1987: 150) kelebihan berat badan adalah merupakan ekses dari berat badan relatif terhadap tinggi badan. Karena itu orang-orang yang aktif secara fisik memiliki total lemak tubuh lebih sedikit dari pada orang yang tidak aktif (Fox, Bowers dan Foss; 1993: 543). Atlet cenderung memiliki kadar lemak tubuh lebih rendah. Kandungan lemak tubuh atlet laki-laki yang efektif, antara 5-8%, bahkan pelari maraton tingkat dunia memiliki lemak tubuh di bawah 5%, sedangkan atlet daya tahan perempuan memiliki kadar lemak tubuh sekitar 10-­12% (Melvin H. Williams; 1990: 130). Keadaan ini sebenarnya menggambarkan adaptasi positif terhadap latihan daya tahan yang berlangsung dalam waktu yang lama dan sangat melelahkan. Sejumlah minimal lemak masih sangat dibutuhkan, selain untuk fungsi normal fisiologis juga untuk efektivitas transfer panas selama latihan dengan intensitas tinggi (Katch dan McArdle; 1983: 104). Karena itu disarankan persentase lemak untuk atlet berkisar antara 5-15% untuk atlet laki-laki, dan 12-20% untuk atlet perempuan, tergantung pada cabang olahraga yang ditekuni (Thomson dan Hillemans; 1994: 53), karena ada beberapa cabang olahraga yang kalau kelebihan lemak tubuh sangat mengganggu dan bahkan merusak performa atlet. Karena itu atlet pada cabang olahraga tersebut sangat dituntut untuk mempertahankan lemak tubuh pada persentase yang rendah, tetapi harus tetap mempertahankan kekuatan dan tingkat daya tahan kardiovaskuler yang baik.

Memaksimalkan massa bebas lemak merupakan harapan semua atlet, terutama yang terlihat dalam kegiatan yang memerlukan kekuatan, daya ledak dan daya tahan otot. Tetapi meningkatnya massa bebas lemak juga sangat tidak diharapkan oleh atlet daya tahan, seperti pelari jarak jauh yang harus menggerakkan badannya secara horisontal dalam waktu yang lama. Massa bebas lemak yang lebih besar merupakan beban tambahan yang harus dipikul dan dapat mengganggu performanya.Lemak tubuh relatif menjadi perhatian utama bagi kebanyakan atlet. Tambahan lemak tubuh hanya menambah berat badan dan ukuran tubuh .Yang pada umumnya mengganggu performa. Banyak bukti telah menyatakan bahwa makin tinggi persentase lemak tubuh makin jelek performaseseorang (Williams; 1990: 173), terutama bagi atlet yang harus menggerakkan berat badannya, seperti pelari cepat, dan pelompat jauh. Hal tersebut kurang berpengaruh bagi atlet panahan atau menembak, karena sel-sel lemak dan jaringan lemak secara biokimiawi tidak ikut menghasilkan *ATP,* tidak seperti sel otot. Karena alasan inilah, makakelebihan lemak memberikan sumbangan berat terhadap badan, sehingga menambah beban yang harus digerakkan, yang sekaligus memerlukan energi tambahan (Fox, Kirby dan Fox; 1987: 156­157).

Heyward dan Stolarczyk (1996: 2) menegaskan, bahwa kalau hanya menggunakan norma tinggi-berat badan dapat memberikan kesimpulan yang salah tentang kadar lemak tubuh seseorang dan mengandung risiko terhadap kesehatan. Maker dari itu untuk menentukan massa lemak tubuh dan massa bebas lemak harus diukur langsung.Banyak caar untuk mengukur kadar lemak tubuh, salah satu di antaranya dengan teknik *skinfold caliper* seperti yang dilakukan di pusat-­pusat kebugaran, karena memang sangat praktis dan murah. Di dalam buku ini teknik yang digunakan adalah teknik *Two-Site Skinfold Test for Children, Youth, and College-Age Indiuiduals* yangdikembangkan oleh Lohman.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ackland, T.R., dan Bloomfield, *J.* "Functional Anatomy, "Dalam: J. Bloomfield, P.A. Fricker dan K.D. Fitch (eds). *Textbook of Science and Medicine in Sport, ,* 2-28 Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 1992.

American College of Sports Medicine, *Guidelines for Exercise Testing and Prescription,.* 3rd. ed. Philadelphia: Lea &, Febiger, 1986.

Annarino, Anthony A., Cowell, Charles C., dan Hazelton, Helen W. *Curriculum Theory and Design in Physical Education,* 2nd.ed. St. Louis: The C.V. Mosby Company, 1980.

Arts, F.J.P., dan Kuipers, H. "The Relation Between Power Output, Oxygen Uptake and Heart Rate in Male Athletes," *Int. J. Sports Med. Vol. 15* No. *5,* 1994, 228-231.

Astrand, Per O., dan Rodahl, K. *Textbook of Work Physiology. Physiological Bases of Exercise,* 3rd. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1986.

Berger, Richard A. *Applied Exercise Physiology.* Philadelphia: Lea & Febiger, 1982.

Bompa, Tudor O. *Theory and Methodology of Training. The Key to Athletics Performance,* 2nd. ed. Dubuque: Kendal/Hunt Publishing Company, 1990.

Bray, G.A. "Exercise and Obesity," Dalam: Claude Bouchard, et. al. (eds.). *Exercise, Fitness, and Health. A Consensus of Current Knowledge,* ed., 497-510. Champaign: Human Kinetics Books, 1990.

Brooks, George A., dan Fahey, Thomas D. *Exercise Physiology. Human Bioenergetics and Its Applications.* New York: John Wiley &, Sons, 1984,

Brooks, George A., dan Fahey, Thomas D. *Fundamentals of Human Performance.* New York: Macmillan Publishing Company, 1987.

Burke, Edmund J. (ed.). "Work Physiology and the Components of Physical Fitness in the Analysis of Human Performance. Introduction to Work Physiology," Dalam: Edmund J. Burke (ed.) *Toward an Understanding of Human Performance. Readings in Exercise Physiology for the Coach and Athlete, ,* 1-30. Itacha: Mouvement Publications, 1980.

Buskirk, Elsworth R. "Obesity," Dalam: James S. Skinner (ed.). *Exercise testing and Exercise Prescription for Special Cases. Theoretical Basis and Clinical Application,* 149-173. Philadelphia: Lea &, Febiger, 1987.

Clarke, David H., dan Clarke, H.H. *Research Processes in Physical Education,* 2nd. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc., 1984.

Craig, Neil P. "Measuring Body Physique and Composition," Dalam: Frank S. Pyke (ed.). *Better Coaching, Advanced Coach's Manual,* 31­42. Belconnen: Australian Coaching Council Incoporated, 1991.

deVries, Herbert A., dan Housch, Terry J. *Physiologyof Exercise For Physical Education, Athletics andExercise Science.* Dubuque: WCB. Brown &,Bench Mark Publishers, 1994.

Drinkwater. "Training of Female Athletes," Dalam: Dirix A. H.G. Knuttgen dan K. Tittel (eds.). *The Encyclopaedia of Sports Medicine, Vol* I.The Olympic Book of Sports Medicine, , 309-327. London: Blackwell Scientific Publication, 1988.

Egger, G., dan Champion, A. *The Fitness Leader's Handbook, 3*rd.ed. Kenthurst: Kangaroo Press, *1994.*

Ekblom, B., dan Hermansen, L. "Cardiac Output in Athletes," *J. Appl. Physiol., 25 (5), 1968, 619­625.*

Fardy,Paul S. "Training for Aerobic Power," Dalam: Edmund J. Burke (ed.) *Toward an Understanding of Human Performance. Readings in Exercise Physiology for the Coach and Athlete, , 31-39.* Itacha: Mouvement Publications, *1980.*

Farrel, Peter A., Wilmore, Jack H., dan Coyle, Edward F. "Exercise Heart Rate as a Predictor of Running Performance," R*esearch Quarterly for Exercise and Sport.* Vol. *51, No. 2, 1980, 417-421.*

Fox , Edward L., Bowers, Richard W., dan Foss, Merle L. *The Physiological Basis for Exercise and Sport, 5*th.ed. Dubuque: WCB. Brown &, Benchmark Publishers, *1993.*

Fox, Edward L., et. al. "Frequency and Duration of Interval Training Programs and Changes in Aerobic Power," *J. Appl. Physiol., 38 (3), 1975, 481-484.*

Fox, Edward L., Kirby, Timothy E., dan Fox, Ann R. *Bases of Fitness.* New York: Macmillan Publishing Company, *1987.*

Franklin, Barry A., Hodgson, J., dan Buskirk, Elsworth R. "Relationship Between Percent Maximal 02 Uptake and Percent Maximal Heart Rate in Women," *Research Quarterly for Exercise and Sport. Vol. 51,* No. *4, 1990, 616­624.*

Glass, Gene V dan Hopkins, Kenneth D. *Statistical Methods in Education and Psychology, 2*nd.ed. New Jersey: Prentice Hall Inc., *1984.*

Green, H.J. "Overview of the Energy Delivery Systems," Dalam: J.D. McDougall, H.A. Wenger dan H.J. Green (eds.), *Physiological Testing of The Elite Athlete, 3-6.* New york: Mouvement Publications, Inc., *1982.*

Guyton, Arthur C. *Textbook of Medical Physiology,* 6th.ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1981.

Hahn, A.G. "Physiology of Training," Dalam: *J.* Bloomfield, P.A. Fricker & K.D. Fitch (eds.), *Textbook of Science and Medicine in Sport,* 66-86. Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 1992.

Harre, D. (ed.). *Principles of Sports Training. Introduction to the Theory and Methods of Training.* Berlin: Sportverlag, 1982.

Hazeldine, R. *Fitness for Sports.* Marlborough: The Crowood Press, 1989.

Heyward, Vivian H., dan Stolaczyk, Lisa M. *Applied Body Composition Assessment.* Champaign: Human Kinetics, 1996.

Hickson, Robert C. "Skeletal Muscle Cytochrome c and Myoglobin, Endurance and Frequency of Training," *J. Appl. Physiol.: Respirat., Environ. Exercise Physiol, 51 (3),* 1981, 746-749.

Hoeger, Werner W.K. *Lifetime Physical Fitness. A Personalized Program.* Englewood: Morton Publishing Company, 1989.

International Olympic Committee, IOC Medical Commission. A Publication of Olympic Solidarity, *Sport Medicine Manual.* Lausanne: International Olympic Committee, 1990.

Janssen, Peter G.J.M. *Training Lactate Pulse Rate.* Finland: Polar Electro Oy, 1987.

Junusul Hairy, dan Umar Nawawi. "Pengaruh Latihan Daya Tahan Aerobik Pada Laki-laki dan Perempuan Terhadap Laju Peningkatan Konsumsi Oksigen Maksimal," *Laporan penelitian IKIP Padang 1993.* Surat Perjanjian Kerja No. 213/PT. 37. H9/N.2.2/1992, Tanggal 1 Juli, 1992.

Junusul Hairy, dkk., "Pengaruh Latihan Interval Sprinting dan Continuous Fast Running Terhadap Frekuensi Denyut Nadi Istirahat," *Laporan penelitian IKIP Padang 1994.* Surat Perjanjian Kerja No. 160/PT. 37. H9/N.1.4.2/1993, Tanggal 1 Juli, 1993.

Junusul Hairy, *Fisiologi Olahraga,* Jilid I. Jakarta: Depdikbud, 1989.

Junusul Hairy. "Penyiapan Pelatih Sepakbola Profesional," *Makalah disampaikan dalam Diskusi Ilmiah KONI Pusat, Jakarta,* 5 September, 1995,

Katch, Frank I., dan McArdle, William D. *Nutrition, Weight Control, and Exercise, 2*nd.ed. Philadelphia: Lea &, Febiger, 1983.

Kirkendall, Don R.V., Gruber, Joseph *J.,* dan Johnson, Robert E. *Measurement and Evaluation for Physical Educators.* Dubuque: Wm. C. Brown Company Publishing, 1980.

Kuntzleman, Charles T., dan The Editors of Consumers Guide®. *Rating The Exercises.* New York: William Morrow and Company, Inc., 1978.

Lamb, David R. "Physiology and Physical Education," Dalam: Robert N. Singer (ed.), *Physical Education. An Interdiciplinary Approach,.* New York: The Macmillan Company, tt.

Lamb, David R. *Physiology of Exercise. Responses and Adaptations, 2*nd.ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1984.

Leon, Arthur S. "Diabetes," Dalam: James S. Skinner (ed.), *Exercise Testing and Exercise Prescription for Special Cases. Theoretical Basis and Clinical Application,* 115-133. Philadelphia: Lea &, Febiger, 1987.

Mangi, R., Jokl, P., dan Dayton, O.W. *Sports Fitness and Training.* New York: Pantheon Books, 1987.

Mathews, Donald K. *Measurement in Physical Education, 5*th.ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1978.

McArdle, William D., Katch, Frank I., dan Katch Victor L. *Essentials of Exercise Physiology.* Philadelphia: Lea & Febiger, 1'994.

McArdle, William D., Katch, Frank I., dan Katch,

Victor L. *Exercise Physiology, Energy, Nutrition,*

*and Performance.* Philadelphia: Lea &, Febiger,

1981.

Merck. *Diagnostic for Use Clinical Chemistry.* Diagnostics Merck, 1991.

Neumann, G. "Special Performance Capacity," Dalam: Dirix A., H.G. Knuttgen dan K. Tittle (ed.), *The Encyclopaedia of Sports Medicine. Vol.* I The Olympic Book of Sports Medicine, , 97­108. London: Blackwell Scientific Publication, 1988.

Nieman, David C. *The Sports Medicine Fitness Course.* Palo Alto: Bull Publishing Company, 1986.

Owens, M. "Nutritional Considerations," Dalam: Barbara Sanders (ed.), *Sports Physical Therapy, ,* 113-128. Connecticut: Appleton & Lange, 1990.

Pate, Russel R., McClenaghan, B., dan Rotella, R. *Scientific Foundation of Coaching.* Philadelphia: Saunders College Publishing, 1984.

Pollock, Michael I., dan Jackson, A. "Body Composition Measurement and Changes Resulting from Physical Training," Dalam: Edmund J. Burke (ed.), *Toward an Understanding of Human Performance. Readings in Exercise Physiology for the Coach and Athlete, ,* 67-77. Itacha: Mouvement Publications, 1980.

Pollock, Michael L., Wilmore, Jack H., dan Fox III, Samuel M. *Exercise in Health and Disease. Evaluation and Prescription for Prevention and Rehabilitation.* Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1984.

Powers, Scott K., dan Howley, Edward T. *Exercise Physiology. Theory and Adaptation to Fitness and Performance.* Dubuque: Brown &I Benchmark Publishers, 1997.

Pyke, Frank S. (ed.). *Better Coaching. Advanced Coach's Manual.* Belconnen: Australian Coaching Council Incorporated, 1991.

Reid, J.G., dan Thomson, John M. *Exercise Prescription for Fitness.* New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1985.

Saltin, B. "Cardiovascular and Pulmonary Adaptation to Physical Activity," Dalam: Claude Bouchard, et. al. (eds.). *Exercise, Fitness, and Health. A Consensus of Current Knowledge, ,* 187-203. Champaign: Human Kinetics Books, 1990.

Shangold, Mona M. dan Mirkin, G. *Women and Exercise: Physiology and Sports MedicineContemporary Exercise and Sports Medicine.* Philadelphia: P.A. Davis Company, 1988.

Shaver, Larry G. *Essentials of Exercise Physiology.*Minneapolis: Burgess Publishing Co., 1981.

Smith, Nathan J., dan Robert, B.W. *Food for Sport.*Palo Alto: Bull Publishing Company, 1989.

Sudjana. *Metoda Statistika.* Bandung: Tarsito, 1992.

Sudjana. *Teknik Analisis Regresi dan Korelasi Bagi Para Peneliti.* Bandung: Tarsito, 1992.

Thomas, Clayton L. *Taber's Cyclopedic Medical Dictionary, 14*th*.* ed. Philadelphia: F.A. Davis Company, 1981.

Thomson, C dan Hellemans, I. "Sport Nutrition," Dalam: Davis G. Russell dan Barry D. Wilson (eds.), *Science, Medicine & Sport.- Enchancing Sport Performance, ,* 39-70. Dunedin: Life in New Zealand Activity & Health Research Unit, University of Otago, 1994.

Umar Nawawi dan Junusul Hairy. "Pengaruh Latihan Daya Tahan Pada Jenjang Umur Terhadap Laju Peningkatan Kapasitas Maksimal Aerobik," *Laporan penelitian IKIP Padang 1993.* Surat Perjanjian Kerja No. 083/PT. 37. H9/N.2.2/1992, Tanggal 1 Juli, 1992.

Verducci, Frank M. *Measurement in Physical Education.* Saint Laouis: The CV. Mosby Company, 1980.

Wasserman, Karlman, et. al. *Principles of Exercise Testing and Interpretation.* Philadelphia: Lea & Febiger, 1987.

Williams, Melvin H. *Lifetime Fitness and Wellness. A. Personalized Choise.* Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1990.

Wilmore, Jack H., dan Costill, David L. *Physiology of Sport and Exercise.* Champaign: Human Kinetics, 1994.

Wilmore, Jack H., dan Costill, David L. *Training for Sport and Activity. The Physiological Basis of the Conditioning Process,* 3rd.ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1988.

Wilmore, Jack H., dan Thomas, Evan L. "Importance of Differences Between Men and Women for Exercise Testing and Exercise Prescription," Dalam: James S. Skinner (ed.), *Exercise Testing and Exercise Prescription for Special Cases. Theoretical Basis and Clinical Application,.* Philadelphia: Lea & Febiger, 1987.

Wood, Terry M., dan Safrit, Margaret J. "Measurement and Evaluation in Professional Physical Education - A View from the Measurement Specialist," *Journal of Physical Education, Recreation, and Dance, Vol. 61 (3),* March, *1990, 29-31.*

Zehr, E.P., dan Sale, D.G. " Oxygen Uptake, Heartrate and Blood Lactate Responses to the Chito-Ryu Seisan Kata in Skilled Karate Practitioners," *Int. J. Sports Med, Vol. 14, No. 5, 1993, 269-274.*