

BAB III

SISTEM ENERGI LATIHAN

Tujuan

Menjelaskan perbedaan metabolisme energi secara aerobik dan anaerobik, serta mengidentifikasi predominan sistem energi dalam olahraga.

3.1 Pengertian dan Jenis Energi

Menurut Nawawi (2008) energi adalah kemampuan atau kapasitas untuk melakukan kerja. Kerja merupakan hasil perkalian antara tenaga (*force*) dan jarak (*distance*). Fox (1993) menjelaskan semua energi yang digunakan dalam proses biologis berasal dari matahari. Energi dari matahari tersebut di robah 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.

3.2 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 (Wirasasmita, 2013). 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.

3.2.1 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 aerobik ATP dihasilkan dengan dua sistem yaitu: sistem ATP – PC dan glikolisis aerobik atau sistem asam laktat.

1. Sistem ATP-PC (*Phospagen System*)

Sistem ATP-PC disebut juga sebagai *aerobic alactic*, karena prosesnya tanpa menghasilkan asam laktat. ATP dipecah menjadi ADP + Pi dan menghasilkan energi, energi ini digunakan untuk melakukan aktivitas. Selanjutnya untuk membentuk kembali ATP adalah dengan jalan menggabungkan kembali ADP dan Pi, penggabungan menggunakan bantuan PC (*Phospate Creatine*). PC ini jumlahnya sangat sedikit, tetapi PC merupakan cadangan energi tingkat tinggi yang tercepat untuk pembentukan ATP kembali. Reaksi pemecahan ATP dan PC berlangsung sangat cepat, segera setelah ATP digunakan, PC langsung dipecah dan menghasilkan energi untuk mengisi kembali ATP yang telah digunakan. Menurut Fox (1993) 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 (1994) cepatnya proses penyediaan energi melalui sistem ini disebabkan oleh karena:

- a. Tidak melalui proses reaksi kimia yang panjang.
- b. Tidak membutuhkan oksigen.
- c. ATP-PC tertimbun didalam sel sehingga sangat cepat dan mudah digunakan.

2. Sistem Glikolisis Anaerobik

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.

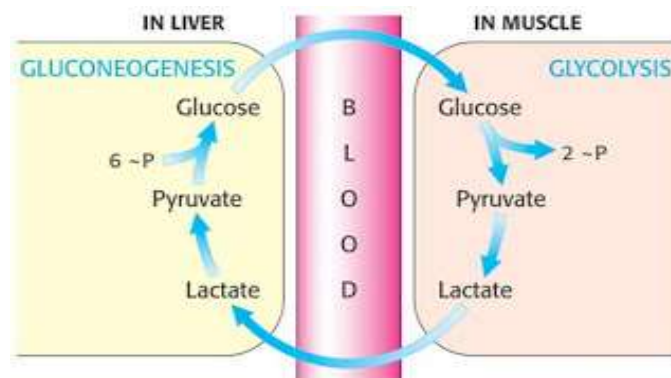
Sistem glikolisis anaerobik ini sangat diperlukan pada intensitas kerja yang tinggi dan cepat karena proses kimianya berlangsung dengan cepat. Menurut Fox (1993) glikolisis anaerobik memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Menyebabkan terbentuknya asam laktat yang dapat menimbulkan kelelahan.
- b. Tidak membutuhkan oksigen.
- c. Hanya menggunakan karbohidrat yang kemudian berbentuk glukosa.
- d. Menghasilkan energi untuk resistensi ATP.

Pada sebuah pabrik yang sedang beroperasi, disamping menghasilkan produk, pabrik tersebut juga akan menghasilkan limbah industri. Begitupula 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, disamping itu juga mengurangi kapasitas otot untuk mengikat kalsium sehingga menghalangi terjadinya kontraksi otot.

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.

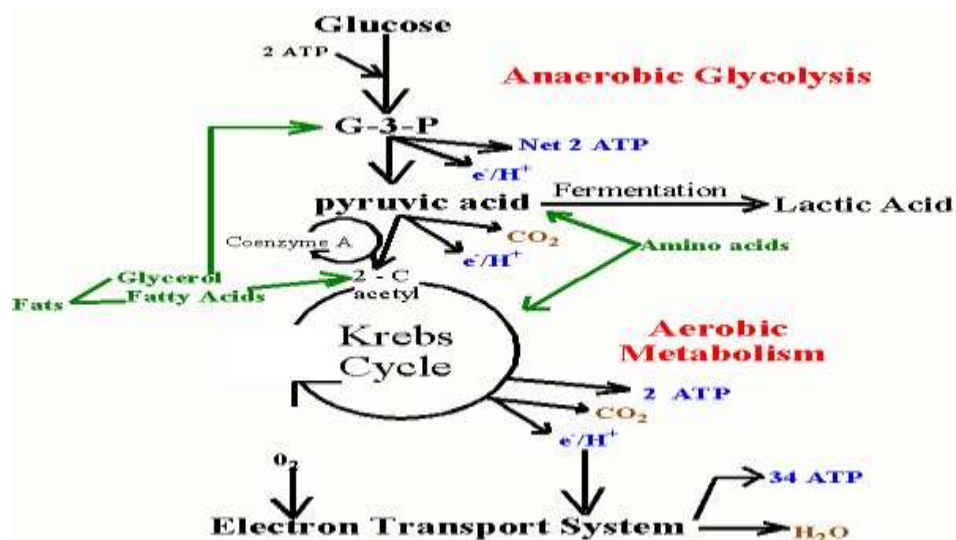
Nawawi (2008) menjelaskan mekanisme siklus Cori bermula dari akumulasi asam laktat di dalam otot yang tinggi sehingga menyebabkan kelelahan pada otot. Pada saat intensitas latihan dikurangi karena lelah, maka secara bertahap asam laktat diangkut keluar otot masuk ke dalam darah dan dibawa ke hati. Selanjutnya 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 diubah 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.



Gambar 3.1 Mekanisme siklus cori

3.2.2 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 disaat 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 (Fox,1993).

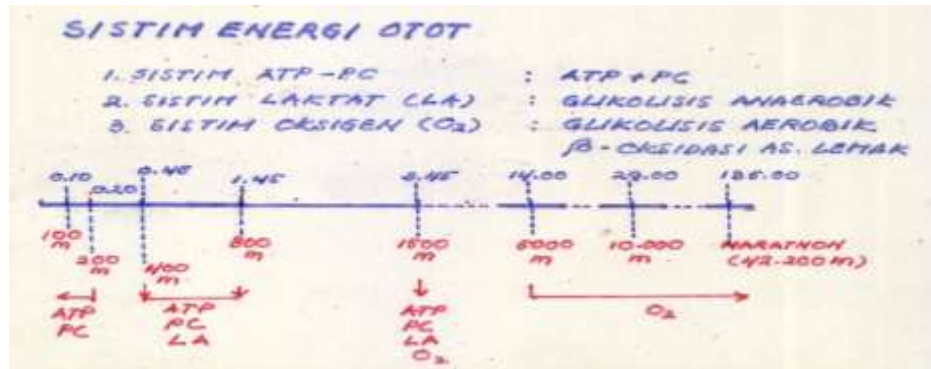


Gambar 3.2 Mekanisme sistem aerobik

Dari gambar di atas 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 dari pada sistem anaerobik, karena disamping mampu menghasilkan energi lebih besar sehingga bisa membentuk ATP lebih banyak, juga tidak terjadinya akumulasi asam laktat yang dapat menyebabkan kelelahan. 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 (9kkal/gr) jika dibandingkan dengan pembakaran karbohidrat (4 kkal/gr). Beta oksidasi merupakan proses kimiawi yang mengubah lemak (asam lemak) menjadi ATP (Adenosin Triphosphat), 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 O_2 cukup. Lemak dapat menghasilkan energi hanya pada olahraga yang bersifat aerobik, seperti lari marathon (Soekarman, 1987: 42).



Gambar 3.3 Rata-rata penggunaan sistem energi otot

3.3 Predominant Sistem Energi dalam Olahraga

Istilah predominant sistem energi ini dipakai sehubungan dengan pemakaian energi selama olahraga atau latihan. Fox (1993) menjelaskan dalam beberapa cabang olahraga energi anaerobik dan aerobik sama-sama digunakan untuk pembentukan ATP, namun terjadi perbedaan persentase atau disebut dengan predominant sistem energi. Olahraga yang predomina energi anaerobik berarti olahraga tersebut lebih dominan menggunakan sistem energi anaerobik, biasanya olahraga anaerobik memiliki ciri intensitas olahraga tinggi, frekuensi pergerakannya cepat dan jarak yang ditempuh relatif pendek dan waktu yang digunakan untuk olahraga singkat. Contohnya cabang atletik nomor lari 100 meter sampai 800 meter masih menggunakan sistem energi predomina anaerobik. Olahraga yang predomina sistem energi aerobik biasanya sebaliknya intensitas olahraganya rendah, frekuensi gerakan lambat, jarak yang ditempuh relatif lebih jauh dan waktu olahraganya pun lebih lama. Contohnya pada cabang atletik lari 5000 meter ke atas maka aerobik menjadi energi yang dominan.

Sebagai gambaran Mc Ardle (1986) bahwa dalam menentukan sistem energi predomina adalah sebagai berikut:

- 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;
- Sistem ATP-PC, waktu kegiatannya 0-10 detik, bentuk kegiatannya berupa *power*. Jenis kegiatan pada cabang olahraganya berupa lari *sprint* dan sebagainya;
- 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

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

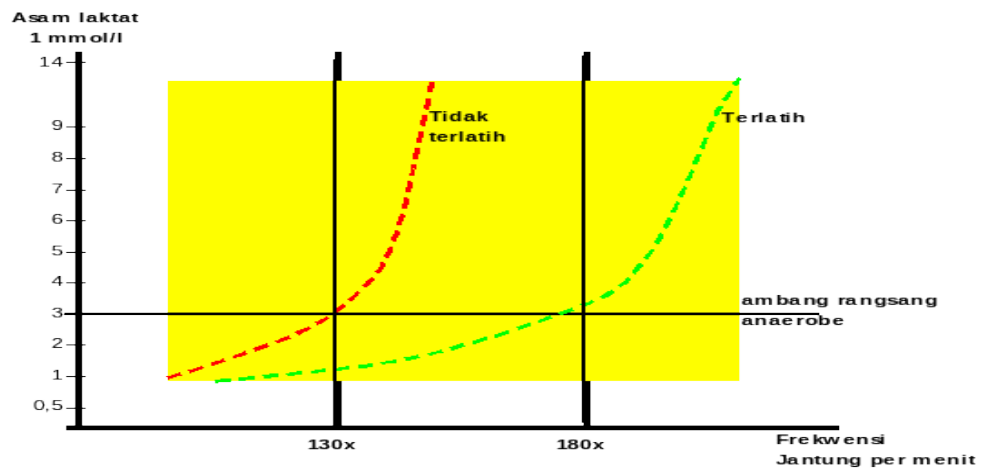
Pada olahraga sepak bola sistem energi yang digunakan adalah sistem aerobik dan anaerobik. Dilihat dari aktivitas dalam permainan sepak bola selama 2 x 45 menit, jelas menggunakan sistem energi dominan aerobik. Dalam permainan 2 x 45 menit terdapat gerakan-gerakan yang eksplosif, baik dengan atau tanpa bola. Gerakan-gerakan eksplosif tersebut dilakukan secara berulang-ulang dengan diselingi waktu recovery yang cukup untuk bekerjanya sistem aerobik.

Pemahaman sistem energi dominan pada cabang olahraga sangat penting untuk menentukan secara tepat bentuk latihan yang sesuai agar dapat meningkatkan prestasi atlet (Fox, dkk, 1988). Misalnya untuk cabang olahraga dengan energi dominan anaerobik, bentuk latihan diprioritaskan untuk meningkatkan kapasitas anaerobik. Untuk menentukan sistem energi dominan pada cabang olahraga dapat diperkirakan dasarnya pada aktivitas fisik yang dominan dan lama waktu yang dibutuhkan pada olahraga tersebut. Diketahuinya sistem energi dominan pada cabang olahraga, akan memudahkan menyusun program latihan untuk mencapai prestasi maksimal.

Systems	Rate of ATP Production	Energy Source	Capacity of System	Major Limitation	Major Use
Anaerobic ATP + CP	very rapid rate	stored creatine phosphate (CP), stored ATP in the muscle	very limited ATP production	very limited supply of CP	very high intensity, short-duration sprint activities. Predominates during high intensity activities of 1-10 seconds.
Anaerobic glycolysis/lactic acid system	rapid rate	blood glucose, glycogen	limited ATP production	lactic acid by-product causes rapid fatigue	high intensity, short duration activities. Predominates during high intensity activities of 1-3 minutes.
Aerobic system	slow rate	blood glucose, glycogen, fatty acids	unlimited ATP production	relatively slow rate of oxygen delivery to cells	moderate intensity, longer duration. Predominates during moderate to high intensity activities longer than 3 minutes. Fatty acid oxidation predominates after about 20 minutes of exercise.

Gambar 3.4 Perbedaan sistem energi

Nawawi (2008) menjelaskan 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.



Dari grafik diatas dapat dijelaskan bahwa kadar asam laktat dibawah 3 mm/l darah menunjukan sistem energi yang digunakan adalah dominan aerobik, sedangkan kadar asam laktat diatas 3 mm/l darah sistem energi yang digunakan dominan aerobik. Kadar asam laktat pada level 3 mm/l darah menunjukan ambang anaerobik (*anaerobic threshold*) yaitu batas perpindahan sistem energi yang digunakan dari aerobik ke sistem anaerobik dan disebut juga sebaga titik kelelahan.

Rangkuman

Tubuh manusia selalu bergerak untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Untuk dapat bergerak tubuh memerlukan energi. Energi diambil dari pemecahan bahan kimia di dalam sel yaitu ATP (*Adenosine Triphosphate*). Apabila ATP dalam sel habis maka ATP dapat dibentuk lagi dengan dua mekanisme yaitu tanpa menggunakan oksigen (anaerobik) dan menggunakan oksigen (aerobik). Secara anaerobik ATP dihasilkan dengan cara memecah ATP-PC dan pemecahan glukosa yang tersimpan didalam sel tanpa bantuan glukosa (glikolisis anaerobik). Secara aerobik ATP dihasilkan dengan cara mengoksidasi sumber-sumber energi (glukosa, asam lemak, asam amino) dengan bantuan oksigen. Sumber-sumber energi seperti glukosa, asam lemak, dan asam amino kita peroleh dari konsumsi makanan yang dimakan. Suatu cabang olahraga bisa saja menggunakan kedua sistem energi namun berbeda dalam persentase penggunaannya, untuk itulah digunakan istilah predominant sistem energi. Predominant energi adalah penggambaran sistem energi yang dominan dalam satu cabang olahraga.

Latihan

Bentuk beberapa kelompok kemudian masing-masing kelompok memberikan minimal 6 contoh cabang olahraga dominan sistem energi aerobik dan 6 contoh cabang olahraga anaerobik dan menjelaskan alasannya pada setiap cabang olahraga.

Tes Formatif

1. Jelaskan perbedaan sistem energi aerobik dan sistem energi anaerobik!
2. Jelaskan kelemahan sistem energi aerobik dan sistem energi anaerobik!
3. Jelaskan bagaimana proses pembentukan energi ATP-PC dan glikolisis anaerobik!
4. Jelaskan bagaimana proses pembentukan energi secara glikolisis aerobik!
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan asam laktat dan pengaruhnya pada otot!
6. Mengapa penting untuk mengetahui dominan sistem energi?