

PRODUKSI ASAM LAKTAT PADA *EXERCISE* AEROBIK DAN ANAEROBIK

Hernawati
Jurusan Pendidikan Biologi
FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154
Telp./Fax. 022-2001937
Email : hernawati_hidayat@yahoo.com

PENDAHULUAN

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

Secara umum aktivitas yang terdapat dalam kegiatan olahraga akan terdiri dari kombinasi dua jenis aktivitas yaitu aktivitas yang bersifat aerobik dan aktivitas yang bersifat anaerobik. Kegiatan/jenis olahraga yang bersifat ketahanan

seperti *jogging*, *marathon*, *triathlon* dan juga bersepeda jarak jauh merupakan jenis olahraga dengan komponen aktivitas aerobik yang dominan. Selanjutnya untuk kegiatan olahraga yang membutuhkan tenaga besar dalam waktu singkat seperti angkat berat, *push-up*, *sprint* atau juga loncat jauh merupakan jenis olahraga dengan komponen aktivitas anaerobik yang dominan.

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

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

olahraga beregu atau juga individual akan terdapat pula gerakan-gerakan/aktivitas seperti meloncat, mengoper, melempar, menendang bola, memukul bola atau juga mengejar bola dengan cepat yang bersifat anaerobik. Oleh sebab itu maka beberapa cabang olahraga seperti sepakbola, bola basket atau juga tenis lapangan disebutkan merupakan kegiatan olahraga dengan kombinasi antara aktivitas aerobik dan anaerobik.

METABOLISME ENERGI SAAT BEROLAHRAGA

Inti dari semua proses metabolisme energi di dalam tubuh adalah untuk meresintesis molekul ATP dimana prosesnya akan dapat berjalan secara aerobik maupun anaerobik. Proses hidrolisis ATP yang akan menghasilkan energi ini dapat dituliskan melalui persamaan reaksi kimia sederhana sebagai berikut:



Di dalam jaringan otot, hidrolisis 1 mol ATP akan menghasilkan energi sebesar 31 kJ (7.3 kkal) serta akan menghasilkan produk lain berupa ADP (*adenosine diphosphate*) dan Pi (inorganik fosfat). Pada saat berolahraga, terdapat 3 jalur metabolisme energi yang dapat digunakan oleh tubuh untuk menghasilkan ATP yaitu hidrolisis *phosphocreatine* (PCr), glikolisis anaerobik glukosa serta pembakaran simpanan karbohidrat, lemak dan juga protein. Pada kegiatan olahraga dengan aktivitas aerobik yang dominan, metabolisme energi akan berjalan melalui pembakaran simpanan karbohidrat, lemak dan sebagian kecil ($\pm 5\%$) dari pemecahan simpanan protein yang terdapat di dalam tubuh untuk menghasilkan ATP (*adenosine triphosphate*). Proses metabolisme ketiga sumber

energi ini akan berjalan dengan kehadiran oksigen (O_2) yang diperoleh melalui proses pernafasan. Sedangkan pada aktivitas yang bersifat anaerobik, energi yang akan digunakan oleh tubuh untuk melakukan aktivitas yang membutuhkan energi secara cepat ini akan diperoleh melalui hidrolisis *phosphocreatine* (PCr) serta melalui glikolisis glukosa secara anaerobik. Proses metabolisme energi secara anaerobik ini dapat berjalan tanpa kehadiran oksigen (O_2). Keuntungan dan kekurangan produksi energi pada aerobik dan anaerobik dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Keuntungan dan kekurangan produksi energi pada *exercise* aerobik dan anaerobik

Process	Advantages	Disadvantages
Anaerobic glycolysis	Energy produced at an elevated rhythm	Limited amount of total energy produced
Aerobic	High volume of total energy produced	Energy produced at a low rhythm (depends on VO_2 max)

Proses metabolisme energi secara anaerobik dapat menghasilkan ATP dengan laju yang lebih cepat jika dibandingkan dengan metabolisme energi secara aerobik. Sehingga untuk gerakan-gerakan dalam olahraga yang membutuhkan tenaga yang besar dalam waktu yang singkat, proses metabolisme energi secara anaerobik dapat menyediakan ATP dengan cepat namun hanya untuk waktu yang terbatas yaitu hanya sekitar ± 90 detik. Walaupun prosesnya dapat berjalan secara cepat, namun metabolisme energi secara anaerobik hanya menghasilkan molekul

ATP yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan metabolisme energi secara aerobik (2 ATP vs 36 ATP per 1 molekul glukosa). Proses metabolisme energi secara aerobik juga dikatakan merupakan proses yang bersih karena selain akan menghasilkan energi, proses tersebut hanya akan menghasilkan produk samping berupa karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Hal ini berbeda dengan proses metabolisme secara anaerobik yang juga akan menghasilkan produk samping berupa asam laktat yang apabila terakumulasi dapat menghambat kontraksi otot dan menyebabkan rasa nyeri pada otot. Hal inilah yang menyebabkan mengapa gerakan-gerakan bertenaga saat berolahraga tidak dapat dilakukan secara kontinu dalam waktu yang panjang dan harus diselingi dengan interval istirahat.

Ketika melakukan latihan fisik, otot-otot tubuh, sistem jantung, dan sirkulasi darah serta pernapasan diaktifkan. Pada awal latihan olahraga aerobik sumber utama yang dipergunakan 2 jam awal *exercise* adalah glukosa yang berasal dari glikogen di otot-otot. Apabila latihan terus dilanjutkan maka sumber tenaga dari glikogen otot berkurang, selanjutnya akan terjadi pemakaian glukosa darah dan asam lemak bebas. Makin ditingkatkan porsi latihan maka akan meningkat pemakaian glukosa yang berasal dari cadangan glikogen hepar. Bila latihan dilanjutkan lagi maka sumber tenaga terutama berasal dari asam lemak bebas hasil lipolisis jaringan lemak. Protein relatif sedikit berkontribusi dalam menghasilkan ATP (< 5% dari total energi untuk aktivitas).

Pemakaian glikogen otot meningkat tajam seiring dengan meningkatnya latihan. Pada menit ke 40, penggunaan glukosa mencapai 7 sampai 20 kali dibanding istirahat, tergantung intensitas *exercise* yang dilakukan. Pada latihan

dengan intensitas tinggi akan terjadi depleksi glikogen otot. Intensitas latihan 50, 75, 100% VO₂ max akan menyebabkan terjadinya glikogenolisis sebesar 0,7, 1,4, dan 3,4 mmol/kg bb/menit. Jadi jumlah bahan yang dibakar tergantung dari intensitas/derajat dan lamanya latihan serta kondisi fisik seseorang. Semua aktivitas fisik memerlukan energi. Kebutuhan energi yang diperlukan bervariasi sesuai dengan derajat kegiatan/aktivitas yang kita lakukan, sebagai contoh dengan jalan kaki 18 menit/km (santai), 10 menit/km, 8 menit/km dan 5 menit/km untuk berat badan 50 kg memerlukan energi masing–masing 2 kal/menit, 5 kal/menit, 6 kal/menit dan 10 kal/menit. Perbandingan produksi energi pada metabolisme aerobik dan anaerobik hubungannya dengan durasi waktu dapat dilihat pada gambar berikut :

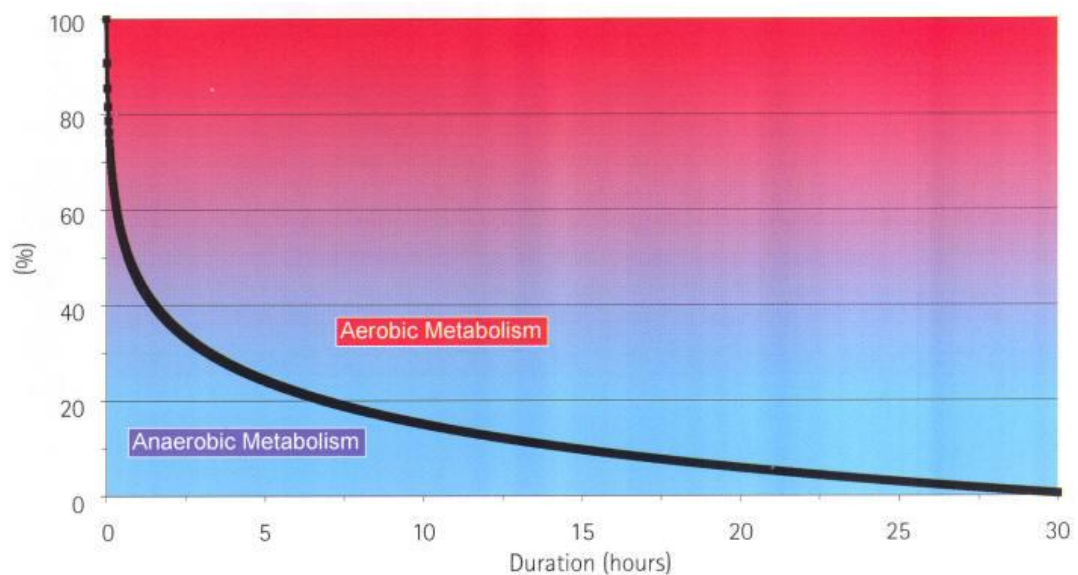
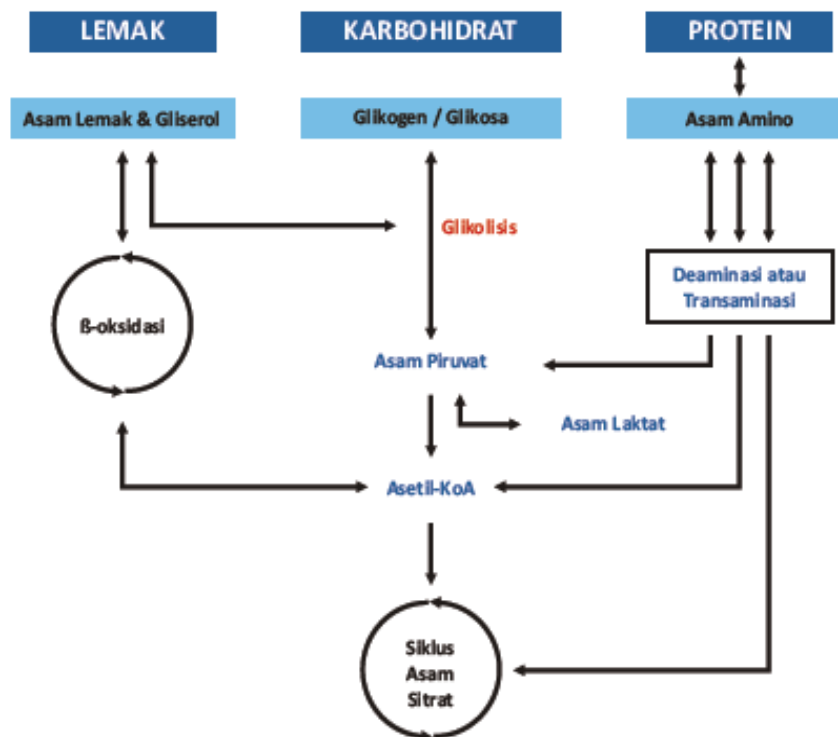


Figure 1: Percentage of energy generated by aerobic metabolism and by anaerobic metabolism, in relation to the duration of maximal efforts, supposing that each test is carried out from start to finish at a constant intensity (as is generally the case in athletics races run on a track or flat course).

METABOLISME ENERGI SECARA AEROBIK

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

Proses metabolisme energi secara aerobik merupakan proses metabolisme yang membutuhkan kehadiran oksigen (O_2) agar prosesnya dapat berjalan dengan sempurna untuk menghasilkan ATP. Pada saat berolahraga, kedua simpanan energi tubuh yaitu simpanan karbohidrat (glukosa darah, glikogen otot dan hati) serta simpanan lemak dalam bentuk trigeliserida akan memberikan kontribusi terhadap laju produksi energi secara aerobik di dalam tubuh. Namun bergantung terhadap intensitas olahraga yang dilakukan, kedua simpanan energi ini dapat memberikan jumlah kontribusi yang berbeda. Secara singkat proses metabolisme energi secara aerobik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk meregenerasi ATP, tiga simpanan energi akan digunakan oleh tubuh yaitu simpanan karbohidrat (glukosa, glikogen), lemak dan juga protein. Di antara ketiganya, simpanan karbohidrat dan lemak merupakan sumber energi utama saat berolahraga. Atlet dengan latihan berat, memerlukan energi *expenditure* 2 – 3 kali lebih besar dari individu yang tidak berlatih.



Gambar 2. Proses metabolisme secara aerobik

Pembakaran Karbohidrat

Secara singkat proses metabolime energi dari glukosa darah atau juga glikogen otot akan berawal dari karbohidrat yang dikonsumsi. Semua jenis karbohidrat yang dkonsumsi oleh manusia baik itu jenis karbohidrat kompleks (nasi, kentang, roti, singkong dsb) ataupun juga karbohidrat sederhana (glukosa, sukrosa, fruktosa) akan terkonversi menjadi glukosa di dalam tubuh. Glukosa yang terbentuk kemudian dapat tersimpan sebagai cadangan energi sebagai glikogen di dalam hati dan otot serta dapat tersimpan di dalam aliran darah sebagai glukosa darah atau dapat juga dibawa ke dalam sel-sel tubuh yang membutuhkan. Di dalam sel tubuh, sebagai tahapan awal dari metabolime energi

secara aerobik, glukosa yang berasal dari glukosa darah ataupun dari glikogen otot akan mengalami proses glikolisis yang dapat menghasilkan molekul ATP serta menghasilkan asam piruvat. Di dalam proses ini, sebanyak 2 buah molekul ATP dapat dihasilkan apabila sumber glukosa berasal dari glukosa darah dan sebanyak 3 buah molekul ATP dapat dihasilkan apabila glukosa berasal dari glikogen otot. Setelah melalui proses glikolisis, asam piruvat yang dihasilkan kemudian akan diubah menjadi Asetil-KoA di dalam mitokondria.

Proses perubahan dari asam piruvat menjadi Asetil-KoA akan berjalan dengan ketersediaan oksigen serta akan menghasilkan produk samping berupa NADH yang juga dapat menghasilkan 2-3 molekul ATP. Upaya untuk memenuhi kebutuhan energi bagi sel-sel tubuh, Asetil-KoA hasil konversi asam piruvat kemudian akan masuk ke dalam siklus asam-sitrat untuk kemudian diubah menjadi karbon dioksida (CO₂), ATP, NADH dan FADH melalui tahapan reaksi yang kompleks. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses yang telah disebutkan dapat dituliskan melalui persamaan reaksi sederhana sebagai berikut:



Setelah melewati berbagai tahapan proses reaksi di dalam siklus asam sitrat, metabolisme energi dari glukosa kemudian akan dilanjutkan kembali melalui suatu proses reaksi yang disebut sebagai proses fosforlasi oksidatif. Dalam proses ini, molekul NADH dan juga FADH yang dihasilkan dalam siklus asam sitrat akan diubah menjadi molekul ATP dan H₂O. Dari 1 molekul NADH akan dapat dihasilkan 3 buah molekul ATP dan dari 1 buah molekul FADH akan dapat menghasilkan 2 molekul ATP. Proses metabolisme energi secara aerobik

melalui pembakaran glukosa/glikogen secara total akan menghasilkan 38 buah molekul ATP dan juga akan menghasilkan produk samping berupa karbon dioksida (CO₂) serta air (H₂O). Persamaan reaksi sederhana untuk menggambarkan proses tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :



Pembakaran Lemak

Langkah awal dari metabolisme energi lemak adalah melalui proses pemecahan simpanan lemak yang terdapat di dalam tubuh yaitu trigliserida. Trigliserida di dalam tubuh akan tersimpan di dalam jaringan adipose (*adipose tissue*) serta di dalam sel-sel otot (*intramuscular triglycerides*). Melalui proses yang dinamakan lipolisis, trigliserida yang tersimpan akan dikonversi menjadi asam lemak (*fatty acid*) dan gliserol. Pada proses ini, untuk setiap 1 molekul trigliserida akan terbentuk 3 molekul asam lemak dan 1 molekul gliserol. Kedua molekul yang dihasilkan melalui proses tersebut kemudian akan mengalami jalur metabolisme yang berbeda di dalam tubuh.

Gliserol yang terbentuk akan masuk ke dalam siklus metabolisme untuk diubah menjadi glukosa atau juga asam piruvat. Sedangkan asam lemak yang terbentuk akan dipecah menjadi unit-unit kecil melalui proses yang dinamakan β-oksidasi untuk kemudian menghasilkan energi (ATP) di dalam mitokondria sel. Proses β-oksidasi berjalan dengan kehadiran oksigen serta membutuhkan adanya karbohidrat untuk menyempurnakan pembakaran asam lemak. Pada proses ini, asam lemak yang pada umumnya berbentuk rantai panjang yang terdiri dari ± 16 atom karbon akan dipecah menjadi unit-unit kecil yang terbentuk dari 2 atom

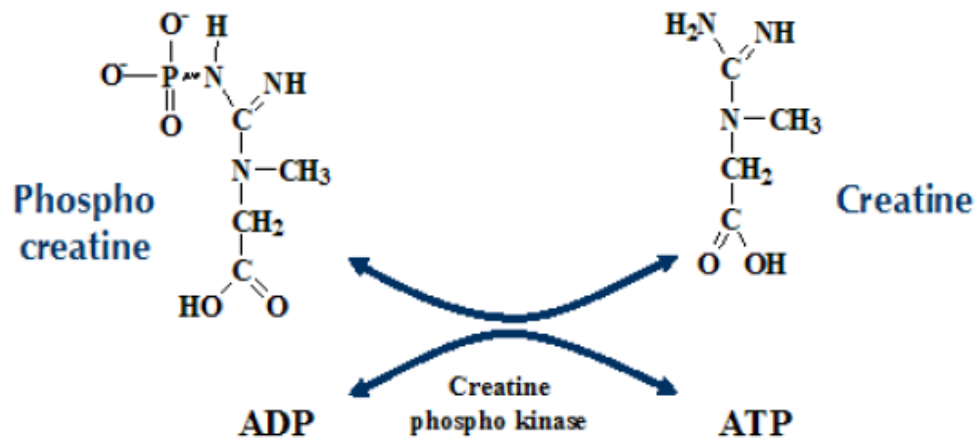
karbon. Tiap unit 2 atom karbon yang terbentuk kemudian dapat mengikat kepada 1 molekul KoA untuk membentuk asetil KoA. Molekul asetil-KoA yang terbentuk kemudian akan masuk ke dalam siklus asam sitrat dan diproses untuk menghasilkan energi seperti halnya dengan molekul asetil-KoA yang dihasilkan melalui proses metabolisme energi dari glukosa/ glikogen.

PROSES METABOLISME SECARA ANAEROBIK

Sistem Phosphocreatine (PCr)

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

Creatine Phosphate-ATP interaction



Melalui proses hidrolisis PCr, energi dalam jumlah besar (2.3 mmol ATP/kg berat basah otot per detiknya) dapat dihasilkan secara instant untuk memenuhi kebutuhan energi pada saat berolahraga dengan intensitas tinggi yang bertenaga. Namun karena terbatasnya simpanan PCr yang terdapat di dalam jaringan otot yaitu hanya sekitar 14-24 mmol ATP/ kg berat basah maka energi yang dihasilkan melalui proses hidrolisis ini hanya dapat bertahan untuk mendukung aktivitas anaerobik selama 5-10 detik. Oleh karena fungsinya sebagai salah satu sumber energi tubuh dalam aktivitas anaerobik, suplementasi *creatine* mulai menjadi populer pada awal tahun 1990-an setelah berakhirnya Olimpiade Barcelona.

Creatine dalam bentuk *creatine monohydrate* telah menjadi suplemen nutrisi yang banyak digunakan untuk meningkatkan kapasitas aktivitas anaerobik. Namun secara alami, *creatine* akan banyak terkandung di dalam bahan makanan protein hewani seperti daging dan ikan. Data dari hasil-hasil penelitian dalam

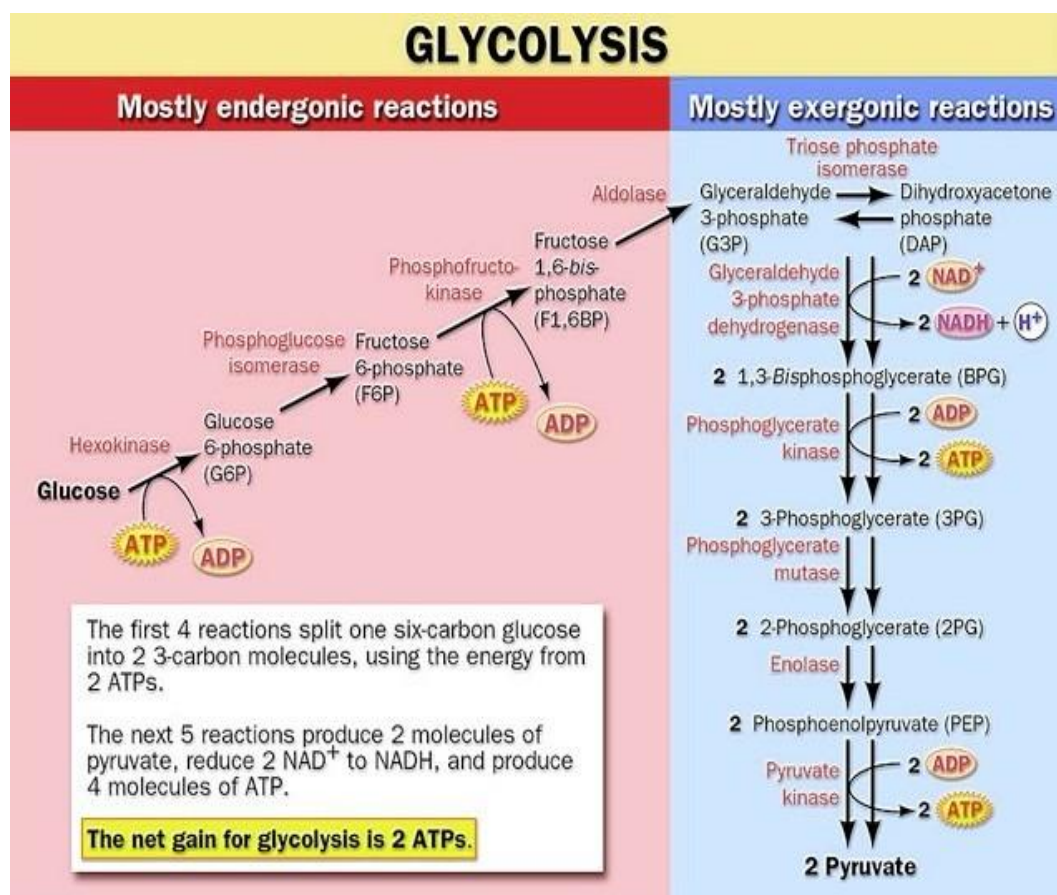
bidang olahraga yang telah dilakukan menunjukkan bahwa konsumsi *creatine* sebanyak 5-20 g per harinya secara rutin selama 20 hari sebelum musim kompetisi berlangsung dan mengurangnya menjadi 5 gr/hari saat memulai kompetisi dapat memberikan peningkatan terhadap jumlah *creatine & phosphocreatine* di dalam otot dimana peningkatannya akan disertai dengan peningkatan dalam performa latihan anaerobik. Data juga membuktikan bahwa cara terbaik untuk ‘mengisi’ *creatine* di dalam otot pada saat menjalani rutinitas latihan adalah mengimbangnya dengan mengkonsumsi karbohidrat dalam jumlah besar dan mengkonsumsi lemak dalam jumlah yang kecil.

Glikolisis (Sistem Glikolitik)

Glikolisis merupakan salah satu bentuk metabolisme energi yang dapat berjalan secara anaerobik tanpa kehadiran oksigen. Proses metabolisme energi ini menggunakan simpanan glukosa yang sebagian besar akan diperoleh dari glikogen otot atau juga dari glukosa yang terdapat di dalam aliran darah untuk menghasilkan ATP. Diagram alir proses glikolisis dapat dilihat pada Gambar 3.

Inti dari proses glikolisis yang terjadi di dalam sitoplasma sel akan mengubah molekul glukosa menjadi asam piruvat dimana proses ini juga akan disertai dengan pembentukan ATP. Jumlah ATP yang dapat dihasilkan oleh proses glikolisis ini akan berbeda bergantung berdasarkan asal molekul glukosa. Jika molekul glukosa berasal dari dalam darah maka 2 buah ATP akan dihasilkan namun jika molekul glukosa berasal dari glikogen otot maka sebanyak 3 buah ATP akan dapat dihasilkan. Molekul asam piruvat yang terbentuk dari proses

glikolisis ini dapat mengalami proses metabolisme lanjut baik secara aerobik maupun secara anaerobik bergantung terhadap ketersediaan oksigen di dalam tubuh. Pada saat berolahraga dengan intensitas rendah dimana ketersediaan oksigen di dalam tubuh cukup besar, molekul asam piruvat yang terbentuk ini dapat diubah menjadi CO_2 dan H_2O di dalam mitokondria sel.



Gambar 3. Diagram alir proses glikolisis

Jika ketersediaan oksigen terbatas di dalam tubuh atau saat pembentukan asam piruvat terjadi secara cepat seperti saat melakukan *sprint*, maka asam piruvat tersebut akan terkonversi menjadi asam laktat. Asam laktat penting untuk olahraga intensitas tinggi yang lamanya 20 detik – 2 menit seperti sprint 200 –

800 m, renang gaya bebas 100 m. Glukosa dari glikogen otot dipecah menjadi asam laktat. Asam laktat penting untuk *exercise* anaerobik dengan intensitas tinggi yang berguna untuk melakukan kontraksi otot. Setelah 1,5 – 2 menit melakukan *exercise* anaerobik, penumpukan laktat yang terjadi akan menghambat glikolisis, sehingga timbul kelelahan otot. Melalui proses pembentukan asam laktat dari 1 mol (180 gram) glikogen otot dihasil 3 molekul ATP.

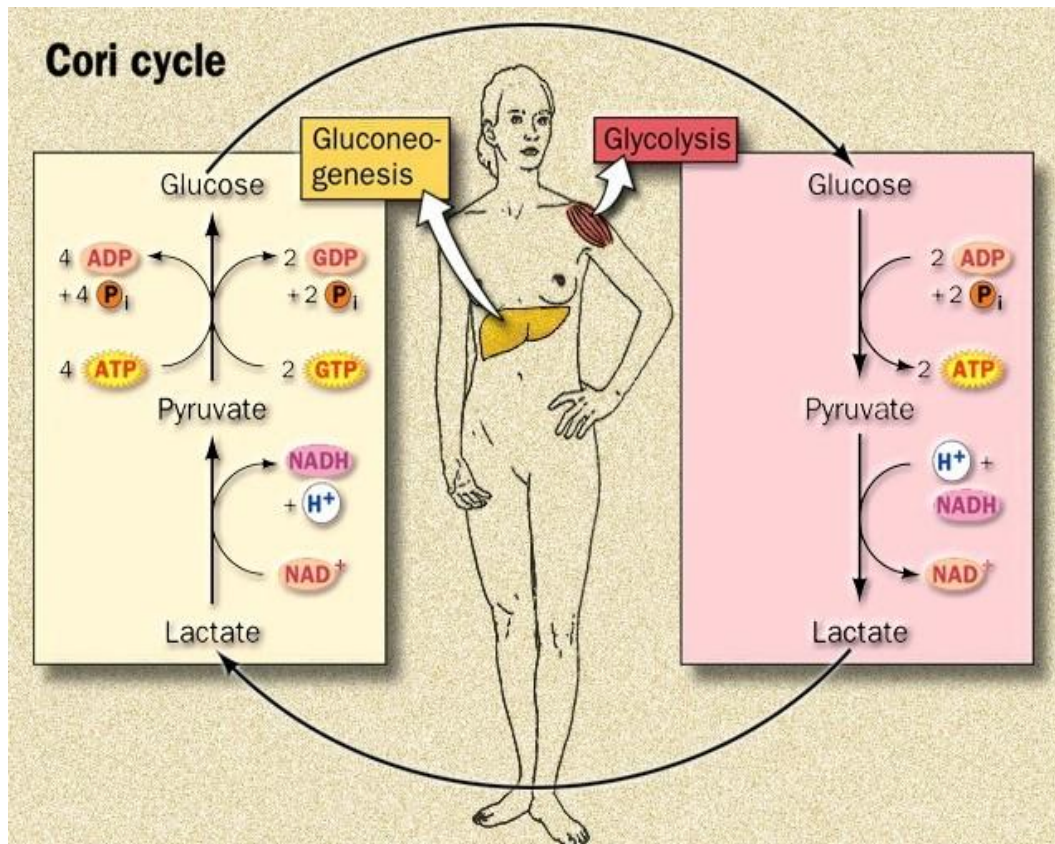
GLUKOSA DAN ASAM LAKTAT

Glukosa merupakan produk utama yang dibentuk dari hidrolisis karbohidrat kompleks dalam proses pencernaan dan sekaligus merupakan bentuk gula yang biasanya terdapat dalam peredaran darah. Kadar glukosa dalam darah berlebih terutama setelah penyerapan makanan (karbohidrat), maka glukosa melalui mekanisme glikogenesis disimpan dalam hati dan otot sebagai glikogen suatu karbohidrat kompleks yang dikenal dengan pati hewan (*animal starch*). Adapun jumlah glikogen yang dapat tersimpan di dalam hati dan otot masing-masing sekitar 5-8% dan 1-3% dari beratnya.

Glukosa secara khusus diperlukan oleh banyak jaringan tubuh tetapi tidak harus tersedia dalam bentuk ini di dalam makanan, karena jenis-jenis karbohidrat lainnya mudah diubah menjadi glukosa, baik selama proses pencernaan (misalnya pati) maupun proses pengolahan selanjutnya di dalam hati (misalnya fruktosa dan galaktosa). Glukosa juga dibentuk dari bagian gliserol lemak dan senyawa glukogenik yang dapat digolongkan ke dalam dua katagori yaitu (1) senyawa yang meliputi konversi netto langsung menjadi glukosa tanpa daur ulang yang berarti,

seperti beberapa asam amino serta propionat; (2) senyawa yang merupakan hasil metabolisme parsial glukosa dalam jaringan tertentu yang diangkut ke dalam hepar serta ginjal untuk disintesis kembali menjadi glukosa melalui mekanisme glukoneogenesis, seperti laktat dan alanin. Pada keadaan latihan dimana otot dalam keadaan hypoxia, maka akan glikogen diubah menjadi glukosa, selanjutnya glukosa akan diubah laktat. Laktat melalui aliran darah masuk ke hati. Di dalam hati, laktat akan diubah kembali menjadi glukosa. Glukosa kembali masuk ke dalam darah yang selanjutnya akan digunakan di dalam otot. Di dalam otot, glukosa diubah kembali menjadi glikogen. Hal tersebut dikenal dengan siklus asam laktat atau siklus Cori (Gambar 3.)

Fungsi utama glukosa adalah menghasilkan energi bagi jaringan tubuh. Cara terpenting untuk pelepasan energi dari molekul glukosa adalah proses glikolisis dan kemudian oksidasi dari produk akhir glikolisis. Pada proses glikolisis yang berlangsung di dalam sarkoplasma dan dikatalisis oleh enzim-enzim protein sarkoplasma terlarut pada masing-masing tahap. Glikogen mula-mula putus menjadi unit-unit glukosa 1-fosfat dan masing-masing unit dibagi menjadi dua fragmen 3-karbon. Produk akhir dari perombakan glukosa adalah asam piruvat.



Gambar 3. Siklus asam laktat atau siklus Cori

Energi yang bermanfaat dari glikolisis adalah 3 ADP dan mengalami fosforilasi kembali untuk menghasilkan 3 ATP, dan 4 ion hidrogen (H^+) per molekul glukosa 1-fosfat yang di putus dari glikogen. Pada kondisi anaerobik, ion hidrogen dilepaskan dalam glikolisis, tetapi siklus asam trikarboksilat atau siklus Krebs tidak dapat menggabungkannya dengan oksigen pada kecepatan yang cukup sehingga cenderung berakumulasi dalam otot. Kelebihan ion hidrogen ini, kemudian digunakan untuk mengkonversi asam piruvat menjadi asam laktat. Pada kondisi aerobik, ion-ion tersebut diterima oleh senyawa pembawa H^+ , nikotinamida adenin dinukleotida bentuk oksidasi (NAD^+) dan

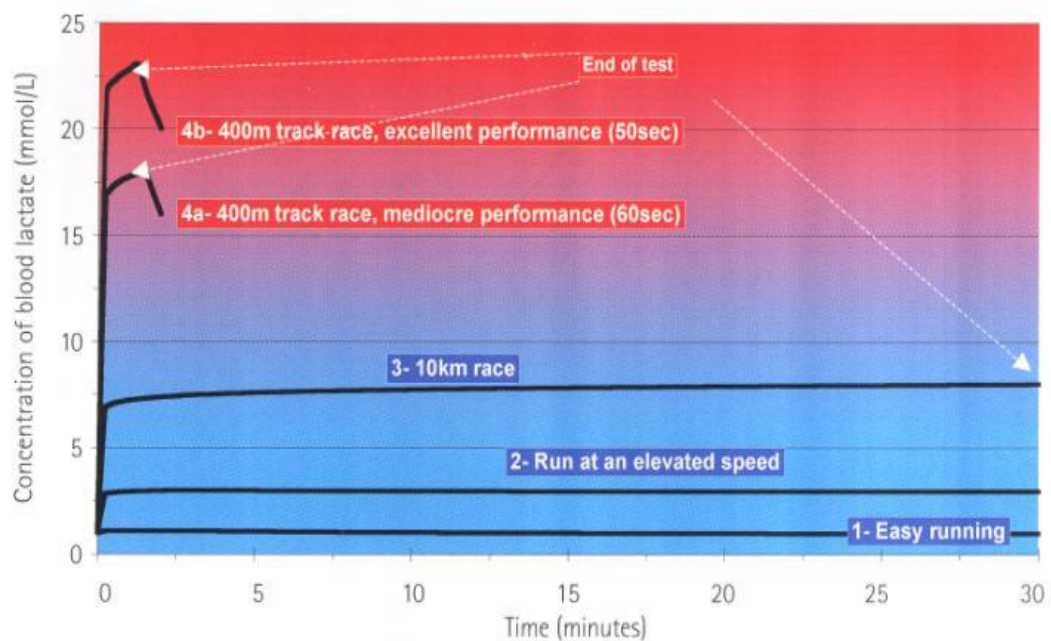
mentransportasikan H^+ ke dalam mitokondria untuk fosforilasi kembali sehingga menghasilkan 4 molekul ATP. Selanjutnya asam piruvat memasuki siklus Krebs dan dirombak menjadi karbondioksida dan ion hidrogen. Kemudian karbondioksida berdifusi memasuki peredaran darah sebagai hasil sisa, sedangkan ion hidrogen diterima oleh NAD^+ untuk membentuk senyawa NADH (NAD dalam bentuk reduksi). Produk-produk perombakan dari asam lemak dan protein, juga memasuki siklus Krebs dan dikonversi menjadi energi.

Fosforilasi dalam proses glikolisis dan siklus Krebs terjadi di dalam rantai sitokrom yaitu gugus besi (Fe) yang mengandung enzim yang berada di dalam mitokondria, bersama-sama dengan enzim siklus Krebs. Dalam rantai sitokrom, ion hidrogen dari glikolisis dan siklus Krebs ditransportasikan oleh NAD^+ dan bergabung dengan molekul oksigen membentuk air. Sejumlah besar energi yang dilepaskan digunakan untuk memfosforilasi kembali ADP, sedangkan sisa energi akan hilang sebagai panas. Setiap pasang ion hidrogen dari siklus Krebs menghasilkan 3 molekul ATP, sedangkan setiap pasang ion hidrogen yang dilepaskan dari proses glikolisis menghasilkan 2 molekul ATP.

Setiap molekul glukosa yang dipisahkan dari glikogen dan dibawa melalui seluruh rangkaian reaksi, hasil ATP netto akan diperoleh sebagai berikut : dari glikolisis, diperoleh 3 molekul ATP bersama dengan 4 ion hidrogen yang akan menghasilkan lagi 4 molekul ATP dalam rantai sitokrom. Pada akhir glikolisis, satu molekul glukosa menghasilkan 2 molekul asam piruvat yang memasuki siklus Krebs, sehingga menghasilkan 20 atom hidrogen (setiap molekul piruvat menghasilkan 10 atom hidrogen), kemudian dikonversi menjadi 30 molekul ATP,

dalam rantai sitokrom. Dengan demikian apabila satu molekul glukosa diderivasi dari glikogen, dirombak menjadi karbondioksida dan air.

Konsentrasi laktat dalam darah dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi istirahat konsentrasi laktat dalam darah 1 mmol/l, meningkat kira-kira 18 mmol/l pada akhir perlombaan pada pelari dengan jarak 400 m, dan meningkat 23 mmol/l pada atlet yang yang luar biasa. Selanjutnya pada atlet yang berlari dengan waktu 10 detik sampai 10 menit menghasilkan banyak laktat yang dihasilkan dari otot melalui metabolisme energi anaerobik.



Gambar 4. Skematik gambaran produksi laktat dalam darah pada *exercise* dengan intensitas yang bervariasi

KESIMPULAN

Sistem metabolisme energi untuk menghasilkan ATP dapat berjalan secara aerobik (dengan oksigen) dan secara anaerobik (tanpa oksigen). Kedua proses ini dapat berjalan secara simultan di dalam tubuh saat berolahraga. *Adenosine triphosphate* (ATP) merupakan sumber energi yang terdapat di dalam sel-sel tubuh terutama sel otot yang siap dipergunakan untuk aktivitas otot. Terdapat 2 macam sistem pemakaian energi anaerobik yang dapat menghasilkan ATP selama *exercise* yaitu (1) sistem ATP-CP (2) sistem asam laktat. Sistem oksigen/ aerobik membutuhkan oksigen untuk memecahkan glikogen/glukosa menjadi CO₂ dan H₂O melalui siklus krebs (*Tricarboxylic acid*=TCA) dan sistim transport elektron. Glikogen atau glukosa dipecah secara kimia menjadi asam piruvat dan dengan adanya O₂ maka asam laktat tidak menumpuk. Asam piruvat yang terbentuk selanjutnya memasuki siklus Kreb dan sistim transport elektron. Sistim aerobik digunakan untuk *exercise* yang membutuhkan energi lebih dari 3 menit seperti lari marathon, renang gaya bebas 1500 m. Reaksi aerobik terjadi dalam sel otot yaitu pada organel mitokondria. Sistem aerobik menghasilkan ATP lebih lambat daripada sistem ATP-CP dan asam laktat, tetapi produksi ATP jauh lebih besar.

PUSTAKA

- Ardle WM. 1994. *Essensial of Exercise Physiology*. Lea and Febiger, USA. Pp. 13-14.
- Benardot, D. 2006. *Advanced Sports nutrition*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Brooks GA. 1986. The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 18(3):360-8
- Brooks GA and Fahey TD. 1984 *Exercise Physiology Human Bioenergetics and Its Applications: 2nd Edition*. Mountain View, CA: Mayfield Pub
- Dennis SC and Noakes TD. 2003. Exercise:muscle and metabolic requirement. In *Encyclopedia of Food Sciences & Nutrition*, 2nd Edition, Caballero B, Trugo LC, and Finglas PM. Eds. Academic Press.
- Clark, J.F. 1997. Creatine & phospocreatine : a review of their use in exercise & sport. *Journal of Athletic Training.* 32(1) : 33-36.
- Coyle EF, Jeukendrup AE, Wagenmaker AJM, Saris WHM. 1997. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *American Journal of Physiology.* 273: E261-E275.
- Direktorat Bina Gizi Masyarakat Departemen Kesehatan RI. 1997. *Gizi Olahraga Untuk Prestasi*. Departemen Kesehatan RI, Jakarta. Pp. 9.
- Direktorat Bina Gizi Masyarakat, Departemen Kesehatan RI. 1993. *Pedoman Pengaturan Makanan Atlet*. Departemen Kesehatan RI, Jakarta. Pp. 9 - 19.
- Havenetidis,K., Matsuka, O., Cooke, C.B., Theodore, A. 2003. The use of varying creatine regimens on sprint cycling. *Journal of Sports Science & Medicine.* Pp. 88-97.
- Hatfield FC. 1993. *Hardcore bodybuilding : a scientific approach*. Contemporary Books.
- Jeukendrup A. and Gleeson M. 2004. *Sport nutrition : An introduction to energy production and performance*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Litwak, S.R. 2003. *Energy Metabolism*. In *Encyclopedia of Food Sciences & Nutrition*, 2nd Edition, Caballero B, Trugo LC, and Finglas PM. Eds. Academic Press.

- Romijn JA, Coyle EF, Sipossis LS, Gastadelli A, Horowitz JF, Endert E, and Wolfe RR. 1993. Regulation of endogenous fat & carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity & duration. *American Journal of Physiology*. 265: E380-E391.
- Romijn JA, Coyle EF, Sipossis LS, Zhang XJ, Wolfe RR. 1993. Fat oxidation during strenuous exercise. *Journal of Applied Physiology*. 76(6):1939-1945.
- Sukatun U, Santoso M. 1998. Senam Diabetes Indonesia. Yayasan Diabetes Indonesia, Jakarta. Pp. 1- 2.
- Wilmore JH and Costill DL. 2005. *Physiology of Sport and Exercise: 3rd Edition*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- William MH. 1991. *Nutrition for Fitness and Sport*. Brown Publisher, Iowa, 109: 19 – 48.
- Wolinsky I, Hickson JF.1994. *Nutrition in Exercise and Sport*. CRC Press, London. Pp. 1 – 29.