

BAB II

SISTEM ENERGI DAN LATIHAN II

Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa dapat mengetahui pengertian proses metabolisme anaerobik dalam olahraga.
2. Mahasiswa dapat memahami dan mengetahui proses metabolisme anaerobik selama melakukan latihan dalam olahraga.

A. Pendahuluan

Olahraga merupakan latihan fisik yang sangat dikenal baik di Indonesia maupun di dunia Internasional. Olahraga dalam bentuk latihan fisik tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan ini (Bompa, 1999). Latihan fisik yang dilakukan pada saat berolahraga merupakan aktivitas fisik yang teratur dalam jangka waktu dan intensitas tertentu, yang bertujuan menjaga tubuh agar selalu dalam keadaan sehat dan bugar. Selain untuk menjaga kebugaran tubuh, latihan fisik sangat dianjurkan untuk program preventif dan rehabilitatif dalam upaya menjaga dan meningkatkan kesehatan (Foss, 2006 *cit.* Flora, 2011).

Secara umum aktivitas yang terdapat dalam kegiatan olahraga terdiri dari kombinasi dua jenis aktivitas yang bersifat aerobik dan aktivitas 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 besi, push-up, sprint, atau juga loncat jauh merupakan jenis olahraga dengan komponen-komponen aktivitas anaerobik yang dominan.

Latihan fisik anaerobik adalah latihan fisik yang dilakukan dalam durasi yang singkat dan dengan intensitas tinggi, proses metabolisme pembentukan energi tidak menggunakan oksigen. Energi dihasilkan dari pembentukan ATP melalui sumber energi yang berasal dari kreatinfosfat dan glikogen. Laktat merupakan produk akhir dari metabolisme anaerob. Latihan fisik anaerobik mengakibatkan terjadinya peningkatan kadar laktat darah. Belum diketahui apakah peningkatan kadar laktat pada latihan fisik anaerobik juga terjadi pada otot jantung, mengingat jantung merupakan organ yang bekerja keras selama latihan fisik.

Aktivitas anaerobik merupakan aktivitas dengan intensitas tinggi yang membutuhkan energi secara cepat dalam waktu yang singkat, namun tidak dapat dilakukan secara kontinuu untuk durasi waktu yang lama. Aktivitas anaerobik biasanya akan membutuhkan interval istirahat agar ATP dapat diregenerasi sehingga kegiatannya dapat dilanjutkan kembali. Dalam beberapa jenis olahraga beregu atau juga individual akan terdapat pula gerakan-gerakan aktivitas fisik seperti melompat, mengoper, melempar, menendang bola, memukul bola, atau juga mengejar bola dengan cepat yang bersifat anaerobic. Oleh sebab itu, maka beberapa cabang olahraga seperti sepakbola, bola basket atau juga tenis lapangan disebutkan merupakan kegiatan olahraga dengan kombinasi antara aerobik dan anaerobik.

Menurut Dennis dan Noakes, pada latihan fisik intensitas tinggi otot berkontraksi dalam keadaan anaerobik, sehingga penyediaan ATP terjadi melalui proses glikolisis anaerobik. Hal ini mengakibatkan peningkatan kadar asam laktat dalam darah maupun otot. Peningkatan konsentrasi asam laktat tersebut akan menurunkan pH di dalam sel. Penurunan pH menyebabkan penurunan kecepatan reaksi dari enzim-enzim di dalam sel, sehingga menurunkan kemampuan metabolisme dan produksi ATP. Selain itu, keberadaan asam di dalam otot akan mengganggu berbagai mekanisme sel otot, diantaranya menghambat pelepasan ion Ca^{++} pada troponin C. Terhambatnya pelepasan ion Ca^{++} mengakibatkan gangguan atau terhentinya kontraksi serabut otot.

Otot jantung merupakan salah satu organ yang bekerja keras saat latihan fisik berlangsung. Jantung harus memompakan darah ke seluruh tubuh guna memenuhi kebutuhan energi selama latihan fisik. Pada suasana anaerob, otot jantung akan menggunakan asam laktat yang dihasilkan sebagai sumber energi alternatif. Pada latihan fisik anaerobik belum diketahui apakah juga terjadi peningkatan asam laktat pada jaringan otot jantung sama seperti di plasma, apakah terdapat perbedaan kadar laktat antara jaringan otot jantung dengan plasma.

Latihan fisik akan menyebabkan perubahan-perubahan pada faal tubuh manusia, baik bersifat sementara/sewaktu-sewaktu (respons) maupun yang bersifat menetap (adaptasi). Latihan fisik dengan aktifitas tinggi (antara sub maksimal hingga maksimal) akan menyebabkan otot berkontraksi secara anaerobik. Kontraksi otot secara anaerobik membutuhkan penyediaan energi (ATP) melalui proses glikolisis anaerobik atau system asam laktat (lactic acid

system). Glikolisis anaerobic akan menghasilkan produk akhir berupa asam laktat. Jadi, aktifitas dengan intensitas submaksimal hingga intensitas maksimal akan menyebabkan akumulasi asam laktat dalam otot dan darah.

Latihan fisik dapat meningkatkan $VO_2\text{max}$. $VO_2\text{max}$ adalah jumlah maksimum oksigen dalam milliliter yang dapat digunakan dalam satu menit per kilogram berat badan atau jumlah maksimal oksigen yang dapat dikonsumsi selama latihan fisik yang intens sampai akhirnya terjadi kelelahan. $VO_2\text{max}$ merupakan suatu indikator yang dapat digunakan untuk menilai kebugaran aerobik. Fungsi $VO_2\text{max}$ dipengaruhi oleh beberapa fungsi fisiologis seperti jantung, paru, pembuluh darah dan mitokondria. Pada orang yang mempunyai fungsi fisiologis normal mempunyai kemampuan mengkonsumsi oksigen yang tidak terbatas (Ismaryati *et al*, 2009).

B. Definisi Aktifitas Fisik Dan Aktifitas Fisik Anaerobik

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).

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

	Respirasi Aerobik	Respirasi Anaerobik
Oksigen dan Karbon Dioksida	karbon dioksida dilepaskan, Oksigen diserap	Karbon dioksida dilepaskan, Oksigen tidak diserap
Proses	Oksigen dan glukosa yang digunakan untuk menghasilkan molekul energi kecil - adenosin trifosfat (ATP)	ATP disintesis menggunakan rantai transpor elektron, dengan molekul anorganik selain oksigen.
Oksigen	Ya	Tidak
Tempat reaksi	Sitoplasma dan matriks mitokondria	Sitoplasma
Proses respirasi	Glikolisis, oksidasi piruvat, siklus Krebs, transfer elektron	Fermentasi, pernafasan intramolekul
Produksi ATP	38 mol ATP per 1 mol glukosa (menghasilkan energi lebih besar)	2 mol ATP per 1 mol glukosa (menghasilkan energi lebih sedikit)
Keberlanjutan	Tanpa batas	Jangka pendek
Produksi asam laktat	Tidak menghasilkan asam laktat	Menghasilkan asam laktat
Reaksi respirasi	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 36 \text{ or } 38 \text{ ATP}$	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2 + 2 \text{ ATP}$

Latihan fisik anaerobik merupakan salah satu bentuk dari latihan fisik, yang dalam proses metabolisme pembentukan energi tidak menggunakan oksigen. Energi dihasilkan dari pembentukan ATP melalui sumber energi yang berasal dari kreatinfosfat dan glikogen. Latihan fisik anaerobik dilakukan dalam durasi yang singkat dan dengan intensitas tinggi. Jurnal yang berbeda mengemukakan, aktivitas fisik anaerobik adalah aktivitas fisik yang dalam proses metabolisme pembentukan energi tidak menggunakan oksigen. Energi dihasilkan dari pembentukan ATP melalui sumber energi yang berasal dari kreatinfosfat dan glikogen (Astrand et al, 2003). Memberikan keuntungan bagi mereka dalam waktu jangka panjang dan keuntungan bagi mereka terutama dalam tahun-tahun atau masa-masa pertumbuhan sehingga pertumbuhan mereka dapat menjadi optimal. Beberapa keuntungan untuk remaja dari aktif secara fisik antara lain:

- a. Membantu menjaga otot dan sendi tetap sehat.
- b. Membantu meningkatkan mood atau suasana hati.
- c. Membantu menurunkan kecemasan, stress dan depresi (faktor yang berkontribusi pada penambahan berat badan).
- d. Membantu untuk tidur yang lebih baik.
- e. Menurunkan resiko penyakit penyakit jantung, stroke, tekanan darah tinggi dan diabetes.
- f. Meningkatkan sirkulasi darah.

- g. Meningkatkan fungsi organ-organ vital seperti jantung dan paru-paru.
- h. Mengurangi kanker yang terkait dengan kelebihan berat badan (Nurmalina, 2011).

C. Sistem glikolisis Anaerobik atau sistem asam laktat.

Sistem ini menyediakan ATP dari pemecahan glukosa atau glikogen secara anaerobik. Pada sistem ini mampu menyediakan energi untuk aktivitas 30 detik sampai 1.5 menit. Pada permainan olahraga, setelah cadangan ATP-CP habis dan tidak tersedia oksigen yang cukup, pembentukan ATP masih dapat dilakukan dengan cara pemecahan glikogen, yang sering disebut glikolisis anaerobik. Energi yang dikeluarkan digunakan membentuk ATP kembali dan dihasilkan 2 ATP, dari 1 mol glukosa (180 gram) sebenarnya menghasilkan 4 mole ATP, tetapi 2 mol ATP terpakai pada proses glikolisis anaerobik. Reaksi total alur glikolisis adalah sebagai berikut:



Glukosa asam piruvat

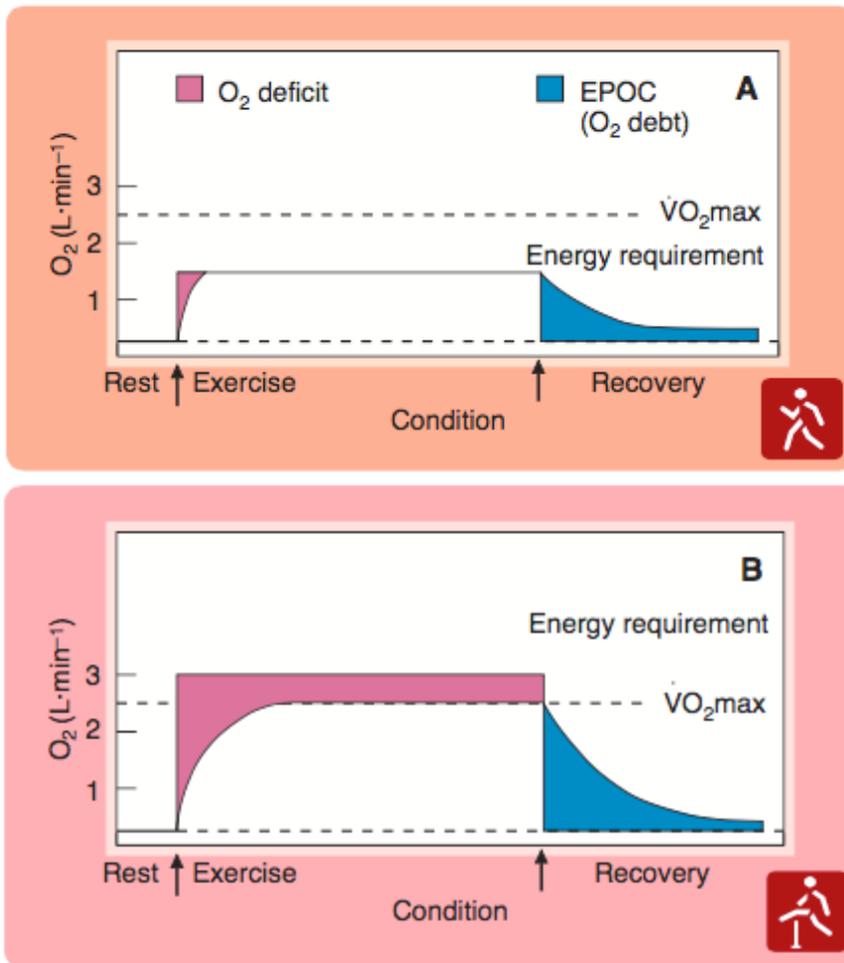


NADH yang terbentuk harus dioksidasi kembali agar glikolisis tidak berhenti. Dalam keadaan cukup oksigen (aerobik) hal ini terlaksana dengan pertolongan oksigen (O₂). Bila laktat yang terbentuk dalam proses ini banyak maka akan mengakibatkan pH dalam otot maupun darah akan rendah, sehingga akan menghambat reaksi kimia yang menimbulkan kelelahan. Seperti halnya sistem fosfagen, glikolisis anaerobik sangat penting bagi kita selama melakukan aktivitas fisik, karena glikolisis anaerobik juga memasok ATP relatif cepat. Sistem glikolisis anaerobik dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Menyebabkan terbentuknya laktat yang dapat menyebabkan kelelahan.
- b. Tidak membutuhkan oksigen.
- c. Hanya menggunakan karbohidrat.
- d. Memberikan energi untuk resistensi 2 ATP untuk setiap mol glukosa.

Proses anaerobik pada latihan juga berpotensi untuk terjadi proses Oxygen Deficit and Excess Postexercise Oxygen Consumption (EPOC). **Oxygen Deficit** merupakan Defisiensi Oksigen Perbedaan antara oksigen yang dibutuhkan selama olahraga dan

oksigen dipasok dan dimanfaatkan. Terjadi pada awal semua aktivitas. Dapat dilihat gambar dibawah ini proses tersebut.



D. Ambang Anaerobik

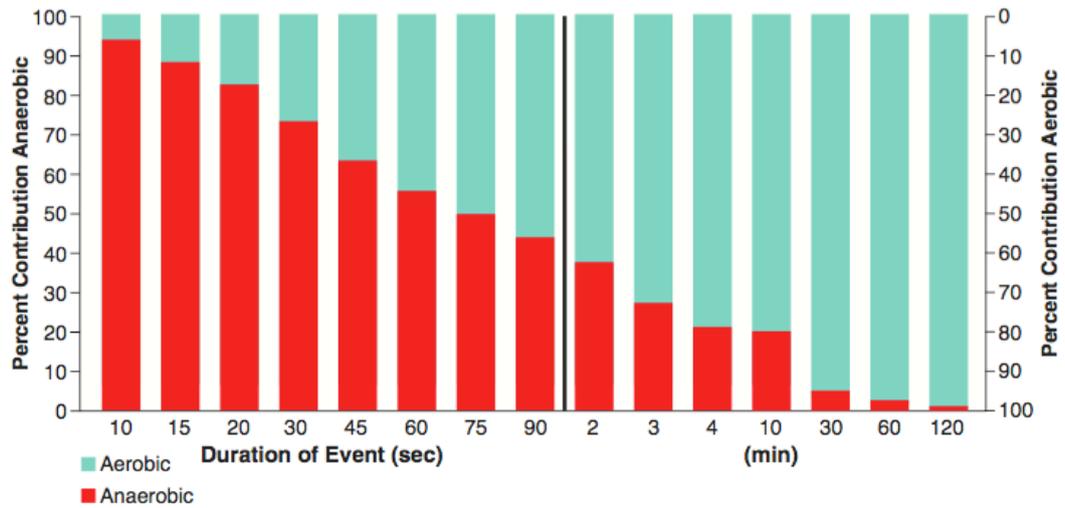
Metabolisme anaerob menunjukkan metabolisme dalam kondisi tanpa oksigen. Pemeriksaan cepat dengan menggunakan data tes konsumsi oksigen maksimal ($\dot{V}O_2$ max) memberikan tiga hasil, yaitu yang pertama terdapat suplai oksigen yang penuh pada saat istirahat dan laktat darah pada saat istirahat bukan 0 melainkan 0.5-0.7 mmol/L; yang kedua terjadi peningkatan konsumsi oksigen seiring dengan peningkatan kadar laktat dalam darah pada *incremental exercise*; yang ketiga adalah kadar laktat darah akan meningkat cepat pada saat latihan dengan intensitas maksimal. Salah satu kriteria bahwa seseorang telah mencapai konsumsi oksigen yang maksimal adalah kadar laktat darah yang telah mencapai lebih dari 8 mmol/L. Kontraksi berkelanjutan dari suatu kelompok otot akan menekan dinding kapiler dan mengganggu aliran darah sehingga akan mencegah akses oksigen ke dalam darah, maka otot kemudian beralih menggunakan oksigen

yang disimpan dalam mioglobin (MgbO₂), tetapi suplai oksigen ini akan habis dalam waktu cepat, rasa sakit yang menyertai peningkatan konsentrasi laktat tinggi akan bertambah, dan diikuti dengan ketidakmampuan untuk mempertahankan kontraksi (Hale, 2003).

Kondisi ambang anaerobik adalah tingkat konsumsi oksigen selama latihan dimana produksi laktat di dalam otot melebihi laju oksidasi laktat, sehingga laktat akan muncul dalam sistem sirkulasi darah. Kadar laktat di dalam darah dapat seimbang ataupun tidak, tergantung pada intensitas latihan. Hal ini berarti bahwa otot-otot mulai memproduksi asam laktat melebihi dari kapasitas tubuh dapat menghilangkannya. Penumpukan laktat di dalam darah akan menghambat kemampuan untuk tampil dengan intensitas yang optimal selama jangka waktu tertentu (Roy *et al.* 2014). Ambang anaerobik sering dinyatakan sebagai persentase dari VO₂max (50% - 60% untuk populasi umum, 75% ke atas untuk atlet). Semakin tinggi ambang anaerobik, seorang atlet dapat mempertahankan kemampuannya pada saat latihan dengan intensitas tinggi tanpa menghasilkan asam laktat, oleh karena itu, ambang anaerobik adalah prediktor kinerja yang lebih baik dibanding VO₂max pada seorang atlet elit. Ambang anaerobik sering dinyatakan sebagai denyut jantung pada ventilator breakpoint. Denyut jantung pada ambang anaerobik kemudian dapat digunakan dalam merancang program pelatihan dan interval untuk atlet (Pennington, 2015).

Konsentrasi laktat darah seringkali digunakan pada pengukuran fisiologis untuk mendeteksi perubahan metabolik selama latihan. Laktat diproduksi oleh otot yang bekerja dan merupakan produk akhir dari anaerobik atau glikolisis. Beberapa laktat berdifusi ke dalam darah, dan selama latihan, serat otot jantung *dan slow twitch fibers* pada otot yang bekerja mengambil sebagian besar laktat dan mengubahnya kembali menjadi piruvat, yang kemudian memasuki siklus Krebs (sistem aerobik). Sebagian besar laktat akan digunakan dari darah oleh hati pada saat pemulihan. Konsentrasi laktat darah dapat mencerminkan intensitas latihan. Ambang anaerobik merupakan akumulasi laktat dalam darah yang cepat, namun hal ini bukan merupakan indikasi bahwa ada pergeseran mendadak produksi Adenosin Tri Phosphat (ATP) dari aerobik menjadi metabolisme anaerobik. Asam laktat diproduksi di dalam otot kemudian berdifusi ke dalam darah dan di dalam plasma terpisah menjadi laktat dan H⁺. Laktat darah biasanya memuncak sekitar 5

menit setelah latihan dengan intensitas tinggi (Pennington, 2015). Dapat dibawah ini perbandingan sistem energi aerobik dan anaerobik saat lathan.



E. 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 :

- a. Senyawa yang meliputi konversi netto langsung menjadi glukosa tanpa daur ulang yang berarti, 15 seperti beberapa asam amino serta propionat;
- b. 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

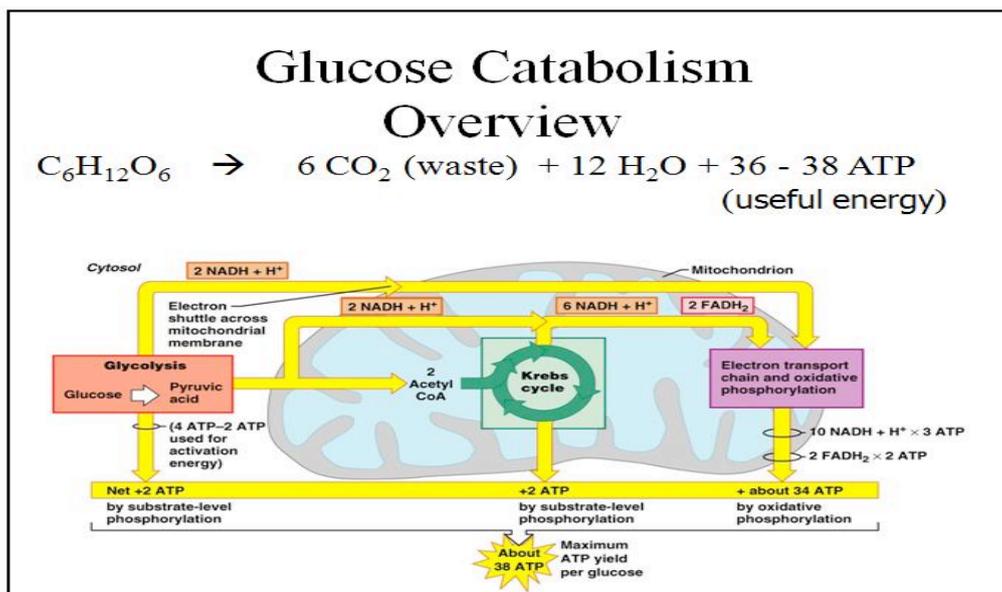
Pada keadaan latihan dimana otot dalam keadaan hypoxia, maka akan glikogen diubah menjadi glukosa, selanjutnya glukosa akan diubah laktat. Laktat melalui aliran darah masuk ke hati. Di dalam hati, laktat akan diubah kembali menjadi glukosa. Glukosa kembali masuk ke dalam darah yang selanjutnya akan digunakan di dalam otot. Di dalam otot, glukosa diubah kembali menjadi glikogen. Hal tersebut dikenal dengan siklus asam laktat atau siklus Cori 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 mulamula 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.

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 17 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, 18 dalam rantai sitokrom. Dengan demikian apabila satu molekul glukosa diderivasi dari glikogen, dirombak menjadi karbondioksida dan air. Dalam 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 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.



Saat kebutuhan metabolisme meningkat seperti pada latihan fisik, sel mungkin mengalami keadaan hipoksia relatif walaupun aliran darah normal pada beberapa organ termasuk ginjal. Ginjal menerima aliran darah per unit masa, lebih tinggi dibandingkan organ tubuh yang lain. Fraksi oksigen yang diekstraksi oleh seluruh organ tubuh relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan ginjal, namun

ginjal sangat sensitif dengan keadaan hipoksia. Hal ini berhubungan dengan tingginya kadar konsumsi oksigen lokal oleh sel epitel tubulus dan vaskuler ginjal (Maxwell, 2003). Perubahan hemodinamik pada glomerulus merupakan awal dari progresifitas penyakit ginjal. Laju filtrasi glomerulus dapat turun karena adanya kerusakan tubulointerstisial melalui berbagai cara sehingga aliran darah akan terganggu dan mengakibatkan jejas iskemi pada nefron (Nangaku, 2006).

Beberapa keadaan dapat menyebabkan hipoksia pada ginjal. Fibrosis pada ginjal akan menyebabkan terjadinya gangguan asupan darah pada kapiler peritubuler dan oksigenasi pada daerah tersebut. Sel tubulus ginjal yang mengalami hipoksia berat yang berkepanjangan menyebabkan gangguan fungsi mitokondria sehingga terjadi defisit energi yang persisten dan memicu terjadinya apoptosis (Sastrawan dan Suwitra, 2008).

Gangguan keseimbangan bahan-bahan vasoaktif yang berhubungan dengan vasokonstriksi intrarenal dapat mengakibatkan hipoksia kronik pada fase awal dari penyakit ginjal, sebelum terjadi perubahan histologis pada tubulointerstisial (Sastrawan & Suwitra, 2008). Aktivasi sistem renin-angiotensin lokal mempunyai peran yang sangat penting karena dapat mengakibatkan konstriksi arteriol eferen hipoperfusi kapiler peritubuler postglomerulus dan hipoksia tubulointerstisial pada kompartemen dibawahnya. Angiotensin II secara langsung merusak sel endotel. Angiotensin II menyebabkan hipoksia melalui respirasi sel yang tidak efektif dan stress oksidatif dengan jalan merangsang NADPH oksidase (Nangaku, 2006).

Eritrosit merupakan salah satu komponen antioksidan darah yang utama sehingga anemia yang terjadi pada ginjal dapat berperan dalam terjadinya stress oksidatif. Superoksida yang terbentuk dapat menekan *nitric oxide* (NO) dan dapat menstimulasi respirasi mitokondria dan memisahkan dari konsumsi energi kimia sehingga terjadi hipoksia jaringan. Pengurangan stress oksidatif akan memperbaiki oksigenasi ginjal (Palm *et al*, 2003).

F. 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. 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 Krebs dan sistem transport elektron. Sistem aerobik digunakan untuk exercise yang membutuhkan energi lebih dari 3 menit seperti lari marathon, renang gaya bebas 1500 m.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Almatsier, Sunita, 2009. Prinsip Dasar Ilmu Gizi. Pt. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- 2 Brown, K. (2014, Desember 15). jQuery and JavaScript Performance. Diambil kembali dari Kevin Brown
- 3 Bompa, Tudor, 1994. Theory and Methodology of Training. Iowa. Kendall Hunt Publishing Company.
- 4 Flora, Rostika (2015), Pengaruh Latihan Fisik Anaerobik Terhadap Kadar Laktat Plasma dan Kadar Laktat Jaringan Otot Jantung Tikus Wistar, Biomedical Journal of Indonesia, Vol. 1, No.1.
- 5 Hernawati, Produksi asam laktat pada exercise aerobic dan anaerobic, FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- 6 Juel C. Muscle pH Regulation: role of training. Acta Physiol Scand. 1998;162: 359-366.
- 7 Dennis, S.C., & Noakes, T.D., Exercise: muscle & metabolic requirement. In Encyclopedia of Food Sciences & Nutrition 2nd Edition, Caballero, B. Trugo, L.C., & Finglas, P.M., Eds., Academic Press. 2003. 5.
- 8 Irawan M. Anwar. Metabolisme Energi Tubuh dan Olahraga. Volume 01, No.07. Polton Sports Science and Performance Lab. 2007.
- 9 Pennington. 2015. Life Cycle Assessment Part 1: Framework, Goal and Scope Definition, Inventory Analysis, and Applications. Dalam Jurnal Environment International. Volume 30. P : 701-720.
- 10 Mattner DR, 1988. Physiology of Exercise. Second Edition, New York: Mc Millan Pub Company.
- 11 Supriatna, eka, 2017 Kegiatan Olahraga Dan Kesenambungan Energi: Jurusan Ilmu Keolahragaan.
- 12 Wahyuni, Iqra. 2012. Makalah metabolisme energi. 2012
- 13 Wilmore Jack H, Costill David L, Physiology of Sport and Exercise, Third Edition, Human Kinetics, United States, 2004. 6.
- 14 Foss ML, Keteyian SJ. Physiologicak basis for exercise and sport, Mc. Graw Hill New York. 2006: 59-64 7. Mooren FC, Volker K. Human Kinetics. Molecular and Cellular Exercise Physiology. USA; 2005.