

KAPASITAS KERJA FISIK

Muchsin Doewes

Prodi Ilmu Keolahragaan, Pascasarjana Universitas Sebelas Maret

PENDAHULUAN

Kapasitas kerja fisik (*physical working capacity*) merupakan gabungan antara kapasitas kardiorespirasi dan kapasitas muskuloskeletal (WHO, 1993). Artinya, kapasitas kerja fisik merupakan kombinasi dari kapasitas sistem pengangkut oksigen (yang dikelola oleh sistem kardiorespirasi yang mewakili "sistem sentral"), dengan kemampuan proses metabolisme sel-sel otot yang mewakili "sistem perifer". Menurut Burke (1980), kapasitas kerja fisik yang dicerminkan dalam bentuk "*Maximal Energy Output*" (output energi maksimal) merupakan gabungan dari komponen-komponen "*Maximal Aerobic Power*" (daya aerob maksimal) dengan "*Maximal Anaerobic Power*" (daya anaerob maksimal) – lihat Gambar 1. Kapasitas kerja fisik seringkali digunakan secara kurang tepat sebagai padanan kata *maximal aerobic power*, seperti yang diungkap oleh Bar-or (1993), sebagai berikut : "*in point fact, physical working capacity has often been used as a synonym for maximal aerobic power*".

Salah satu diantara prinsip-prinsip paling mendasar dari "*exercise physiology*" adalah energi untuk kerja dapat diperoleh melalui metabolisme aerob dan anaerob. Karena metabolisme aerob dibatasi oleh kesanggupan sistem pengangkutan oksigen untuk memasok oksigen kedalam sel, maka sumber utama metabolisme anaerob harus dianggap sebagai mekanisme pendukung (Burke, 1980).

$$\text{Maximal Energy Output} = \text{Maximal Aerobic Power} + \text{Maximal Anaerobic Power}$$

Gambar 1. Persamaan sederhana untuk output energi maksimal (Burke, 1980. hal.5)

Untuk mengurai lebih dalam tentang apa itu "*maximal aerobic power*" dan "*maximal anaerobic power*", terlebih dahulu akan dibahas tentang terminologi-terminologi yang membedakan antara "*Capacity*" dan "*Power*", yaitu : "*Energetic Capacity*" (kapasitas energetik) dan "*Energetic Power*" (daya energetik), kemudian berturut-turut akan dijelaskan tentang "*Aerobic Capacity*" ("kapasitas Aerob") dan "*Aerobic Power*" ("daya Anaerob") serta

“*Anaerobic Capacity*” (kapasitas anaerob) dan “*Anaerobic Power*” (daya anaerob).

KAPASITAS ENERGETIK dan DAYA ENERGETIK

Sewaktu menilai “sistem-sistem energi” baik dalam proses metabolisme aerob maupun proses metabolisme anaerob, yang penting adalah menentukan garis batas antara “*Capacity*” (Kapasitas) dan “*Power*” (daya) dari sistem-sistem tersebut. Sehingga ada istilah-istilah yang disebut sebagai “Kapasitas enerjetik” dan “Daya enerjetik”.

Kapasitas enerjetik adalah banyaknya energi yang tersedia untuk melakukan kerja, baik melalui “sistem energi aerob” maupun melalui “sistem energi anaerob” (MacDougall, dkk, 1983). Dengan demikian, istilah “*Aerobic capacity*” (Kapasitas aerob) dimaksudkan sebagai banyaknya energi yang dapat disediakan untuk melakukan kerja pada “sistem energi aerob”; sedangkan “*Anaerobic capacity*” (kapasitas anaerob) adalah banyaknya energi yang dapat disediakan untuk melakukan kerja pada “sistem energi anaerob”.

Daya enerjetik adalah banyaknya energi maksimum yang dapat diubah selama melakukan kerja dalam suatu sistem tertentu, baik melalui “sistem energi aerob” maupun melalui “sistem energi anaerob” (MacDougall, dkk, 1983). Dengan demikian, istilah “*Aerobic power*” (Daya aerob) dimaksud sebagai banyaknya energi maksimum yang dapat diubah selama melakukan kerja dalam “sistem aerob”; sedangkan “*Anaerobic power*” (Daya anaerob) adalah banyaknya energi maksimum yang dapat diubah selama melakukan kerja dalam “sistem anaerob”. Karena perubahan energi tersebut membutuhkan waktu, maka istilah *Energetic power* terkait dengan dimensi waktu.

Tabel 1 menyajikan rangkuman data untuk “*Maximal Power*” (Daya maksimum) dan “*Maximal Capacity*” (Kapasitas maksimum) untuk setiap sistem energi utama pada orang-orang yang tak terlatih (bukan olahragawan) dan orang-orang yang terlatih (olahragawan). Dapat kita lihat adanya keragaman yang luas dalam harga-harga maksimum yang diperkirakan dan bahwa olahragawan cenderung memperlihatkan daya anaerob yang lebih tinggi daripada yang bukan olahragawan. Meskipun terdapat perbedaan-perbedaan dalam aspek metodologi, keanekaragaman genetik, dan komposisi tubuh yang ikut berpengaruh, namun tidak diragukan lagi bahwa *training* (pelatihan) merupakan faktor penyebab yang penting dan bermakna (MacDougall, dkk, 1983).

Tabel 1. Estimasi “daya maksimum” (*maximal power*) dan “kapasitas maksimum” (*maximal capacity*) dari tiga jenis sistem energi bagi pria dengan berat badan 70 kg, yang tidak terlatih maupun terlatih (MacDougall, dkk. 1983, hal.61)

	MAXIMAL POWER (KJ/min)		MAXIMAL CAPACITY (KJ)	
	Average man	Trained man	Avarage man	Trained man
ATP → ADP + Pi	235-530	750	20-60	55
CP → C + Pi				
Glycogen → Lactate	110-200	500	75-200	130-205
Glycogen } CO ₂ +H ₂ O FFA	30-80	135-155	1500-5300	45000-80000

* Assuming : 20 kg of active muscle mass and 1 kcal = 4.2 KJ
 1 L O₂ = 5 kcal = 21 KJ , 1 mol ATP = 42 KJ

Sewaktu meng-interpretasi hasil-hasil tes, kita harus menilai komponen-komponen aerob dan anaerob untuk cabang olah-raga tertentu. Prakiraan sumber-sumber energi aerob dan anaerob untuk nomor-nomor pertandingan dengan kebutuhan maksimum yang berjangka waktu 5 - 10 detik terutama tergantung kepada sistem-fosfagen (Alaktasid-anaerob = ATP-PC); jangka waktu 40 - 60 detik tergantung kepada sistem energi Laktasid-anaerob; sedangkan untuk nomor-nomor pertandingan berjangka waktu 2 menit membutuhkan sistem energi aerob dan anaerob yang hampir sama; dan jangka waktu lebih dari 2 menit semakin banyak tergantung kepada sistem energi aerob - lihat Tabel 2 (MacDougall, dkk, 1983).

Tabel 2. Waktu Kerja Menurut Persentase Kontribusi sistem-sistem energi aerob/anaerob (MacDougal, dkk, 1983, hal.42)

Maximum Effort Work Time	Anaerobic Alactic	Anaerobic Lactic	Aerobic
5 s	85	10	5
10 s	50	35	15
30 s	15	65	20
1 min	8	62	30
2 min	4	46	50
4 min	2	28	70
10 min	1	9	90
30 min	1	5	94
1 h	1	2	97
2 h	1	1	98

Meskipun demikian, generalisasi semacam itu dalam beberapa hal dapat menyesatkan. Misalnya, pendekatan ini hanya bermanfaat untuk aktivitas yang berkesinambungan. Daya-terapnya lemah untuk nomor-nomor seperti hoki dan sepak-bola yang berlangsung 2 sampai 3 jam, yang terdiri atas serangkaian ledakan-ledakan pelepasan energi berkecepatan tinggi 5 sampai 20 detik yang dipisahkan oleh periode-periode pemulihan berintensitas rendah.

Yang terakhir, aktivitas-aktivitas berintensitas tinggi yang diulang-ulang dimungkinkan selama pelatihan, jika potensi aerob yang cukup tinggi telah dikembangkan untuk menggusur secukupnya produk-produk limbah metabolisme anaerob. Fungsi aerob dapat memanfaatkan produk-produk sampingan itu sebagai bahan-bakar untuk proses penggantian energinya sendiri dan dengan demikian dapat memperpanjang pelaksanaan kegiatan anaerob atau mewujudkan pemulihan yang lebih cepat. Oleh karena itu, anggapan bahwa nomor-nomor yang memakan waktu sangat singkat hanya menghendaki pelatihan anaerob, sedangkan nomor-nomor dengan waktu yang lama hanya membutuhkan pelatihan aerob saja, itu merupakan anggapan yang menyesatkan (MacDougall, dkk, 1983).

KAPASITAS AEROB & DAYA AEROB (*Aerobic Capacity & Aerobic Power*)

“Kapasitas aerob” (*Aerobic Capacity*) adalah banyaknya energi yang tersedia untuk melakukan kerja pada “sistem energi aerob”, sedangkan “daya aerob” (*Aerobic Power*) adalah banyaknya energi yang dapat diubah selama melakukan kerja dalam sistem aerob.

Energi yang dipakai untuk kerja (kontraksi otot) selama latihan fisik diproduksi oleh tiga sumber yang saling terkait satu sama lain, yaitu :

- 1) Penguraian fosfat-fosfat berenergi tinggi ATP yang tersimpan dalam lokasi kontraksi dan segera tersedia untuk kontraksi, dan CP, yang segera tersedia untuk resintesis ATP yang telah diurai dalam kontraksi pendukung.
- 2) Glikolisis yang merupakan penguraian anaerob atas karbohidrat (glikogen dan glukosa) menjadi asam piruvat dan asam laktat.
- 3) Generasi energi aerob, yang mencakup oksidasi asam piruvat atau asam lemak.

Ketiga proses tersebut dapat terjadi bersama-sama, dan proporsi energi yang diperoleh dari masing-masing sumber akan beragam menurut intensitas latihan fisiknya. Dengan demikian “*Maximal Aerobic Power*” (Daya aerob maksimal) dapat dianggap sebagai kecepatan maksimum pelepasan energi dari proses oksidasi saja (MacDougall, dkk, 1983).

Maximal aerobic power dapat dinyatakan secara kuantitatif sebagai volume maksimum oksigen yang dapat dikonsumsi per satuan waktu oleh seseorang selama berlangsungnya tes latihan fisik progresif sampai titik kelelahan. *Maximal aerobic power* biasanya dinyatakan sebagai volume (V) per menit (V dengan tanda “titik” diatas huruf V), oksigen (O₂) yang dapat dikonsumsi oleh organ pada beban kerja maksimum (max) yang dapat terus dipertahankan selama periode waktu yang ditentukan dan dinyatakan sebagai “VO₂max” (dengan tanda “titik” diatas huruf V). Sedangkan batas/titik dimana produksi aerob tidak lagi meningkat sesudah peningkatan intensitas lebih lanjut, disebut *Maximum aerobic capacity* atau konsumsi oksigen maksimum (“*Maximum oxygen consumption*” = VO₂max). Terminologi yang agak berbeda atau lebih tepat mungkin digunakan oleh beberapa laboratorium, tergantung pada penerapannya (MacDougall, dkk, 1983). Kurang konsistennya pada terminologi yang digunakan terhadap pengukuran *maximal oxygen uptake* memang telah diakui oleh Howley, dkk (1995).

Terminologi tersebut oleh para peneliti telah banyak diungkap dengan berbagai macam sebutan, antara lain :

- ♥ "*Maximum oxygen uptake*" dipakai oleh Amstrong & Welsman (1994), Pollock, ML (1998), Rusko & Rahkila (1982), Nieman, DC (1986), Ellestad, MH (1986), Rushall & Pyke (1990), Dirix, dkk (1988);
- ♥ "*Maximal energy output*" dipakai oleh Burke, JB (1980);
- ♥ "*Maximal aerobic capacity*" dipakai oleh MacDougall, dkk, (1983);
- ♥ "*Total body aerobic capacity*" oleh Lash & Sherman (1993);
- ♥ "*Maximal aerobic power*" dipakai oleh Strauss (1984), MacDougal, dkk (1983);
- ♥ "*Maximal oxygen consumption*" dipakai oleh McDougall, dkk (1983), Strauss (1984), Smith & Mitchell (1993);
- ♥ "*Aerobic capacity*" oleh Lash & Sherman (1993);
- ♥ "*Maximal oxygen intake*" digunakan oleh Jones,NL (1988), Shepard & Astrtrand (1992).

KAPASITAS ANAEROB & DAYA ANAEROB (*Anaerobic Capacity & Anaerobic Power*)

"Kapasitas anaerob" (*Anarobic Capacity*) adalah banyaknya energi yang dapat disediakan untuk melakukan kerja pada sistem energi anaerob, sedangkan "daya anaerob" (*Anaerbic Power*) adalah banyaknya energi maksimum yang dapat diubah selama melakukan kerja dalam sistem anaerob sehingga dengan demikian dimensi waktu melekat pada istilah "daya anaerob" (*Anaerobic Power*).

Sumber-sumber energi untuk latihan-latihan otot yang berjangka-waktu lama adalah lemak dan karbohidrat (yang dilepaskan melalui jalur-jalur aerob), sedangkan sumber-sumber energi untuk latihan berjangka-waktu pendek adalah glikogen dan fosfat-fosfat yang kaya akan energi (yang dilepaskan melalui jalur-jalur anaerob). Regenerasi ATP dari ADP dan CP tidak menghasilkan senyawa asam laktat dan dengan demikian disebut Alaktasid (tepatnya "Anaerobic Alactacid"). Regenerasi ATP melalui penguraian anaerob atas glikogen menghasilkan terbentuknya asam laktat dan dengan demikian disebut Laktasid (tepatnya "Anaerobic laktasid") (MacDougall, dkk, 1983).

Dari sudut pandangan biokimia, ada baiknya kalau kita tentukan garis-batas antara:

- "*Alactacid capacity*" (kapasitas alaktasid),
- "*Alactacid power*" (daya alaktasid),
- "*Lactacid capacity*" (kapasitas laktasid)
- "*Lactacid power*" (daya laktasid) sistem produksi energi anaerob.

Kemudian hal tersebut dapat dijabarkan ke dalam sistem empat komponen yang secara teoretis dapat digunakan untuk menguji ciri khas metabolisme energi anaerob. Kejadian-kejadian metabolisme yang terkait dengan kinerja anaerob mengisyaratkan "durasi waktu" untuk setiap komponennya (MacDougall, dkk, 1983) , yaitu :

1. "*Alactacid capacity*" (kapasitas anaerob alaktasid): output energi total selama latihan maksimum yang berlangsung selama 10 sampai 15 detik.
2. "*Alactacid power*" (daya anaerob alaktasid): kecepatan maksimum (misalnya per detik) output energi selama latihan maksimum yang berlangsung selama 10 sampai 15 detik.
3. "*Lactacid capacity*" (kapasitas anaerob laktasid): output total energi selama latihan maksimum yang berlangsung selama 60 sampai 120 detik.
4. "*Lactacid power*" (daya anaerob laktasid): kecepatan output energi maksimum selama latihan maksimum yang sarat dengan produksi energi glikolitik.

Pengukuran-pengukuran di laboratorium atas kinerja anaerob jelas relevans hanya bagi para atlet yang kegiatan olah-raganya membutuhkan sumbangan yang berarti dari salah satu (atau kedua) jalur alaktat dan laktat. Dengan demikian hal tersebut paling besar relevansinya bagi para atlet dari sebagian besar tim-tim olah-raga dan bagi para atlet yang membutuhkan output daya maksimum dalam waktu yang berkisar antara 5 detik sampai 6 menit.

KESIMPULAN

Kapasitas kerja fisik (*Physical Working Capacity*) yang dicerminkan dalam bentuk "*Maximal Energy Output*" sesungguhnya merupakan penjumlahan dari "*Maximal Aerobic Power*" (daya aerob maksimal) dan "*Maximal Anaerobic Power*" (daya anaerob maksimal). Dengan kata lain, "kapasitas kerja fisik" merupakan gabungan dari : (1) Kecepatan maksimum pelepasan energi dari proses oksidasi yang diartikan secara kuantitatif sebagai volume maksimum oksigen yang dikonsumsi persatuan waktu (biasa dinyatakan sebagai VO_2 max); dengan dukungan (2) kecepatan maksimum pelepasan energi dari proses oksidasi anaerob (dan motivasi yang kuat). Artinya, ketika berlangsung tes latihan fisik yang intensitasnya semakin ditingkatkan secara progresif sampai batas kelelahan, maka penambahan intensitas latihan (sesudah kenaikan konsumsi oksigen mencapai maksimum sebagai akibat sumber metabolisme aerob sangat dibatasi oleh kesanggupan sistem pengangkut oksigen yang dikerjakan oleh sistem kardiorespirasi untuk memasok oksigen kedalam sel) diwujudkan melalui jalur metabolisme anaerob.

Dengan demikian, Kapasitas kerja fisik tidak hanya merupakan hasil kerja dari mekanisme proses metabolisme aerob saja tetapi selalu diikuti dengan suatu mekanisme pendukung yang berasal dari sumber utama metabolisme anaerob.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstrong N, and Welsman JR, 1994. Assessment Intrepretation of Aerobic Fitness in Children and Adoloscents. In (Holloszy JO, ed) *Exercise and Sport Science Reviews*, Vol.22. ACSM. William & Wilkins, Baltimore.
- Bar-or O, 1993. Importance of differences between children and adults for exercise testing and exercise prescription. In James S. Skinner. *Exercise Testing and Exercise Prescription for Special Cases*. 2 nd ed. Lea /Febiger, Philadelphia.
- Burke, JB, 1980. *Toward and understanding of Human Performance*, 2nd edition, Ithaca New York: Movement Publication.
- Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K, 1988. *The Olympic Book of Sports Medicine*, Volume I of The Encyclopedia of Sport Medicine. Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Ellestad MH. 1986. *Stress Testing – Principles and Practise*, Philadelphia: FA Davis company
- Howley ET, Bassett DR, and Welch HG, 1995. Criteria for Maximal Oxygen Uptake: Review and Commentary. *Med Sci Sports Exerc*.
- Jones NL, 1988. *Clinical Exercise Testing*, Philadelphia: WB Saunders.
- Lash JM and Sherman WM, 1993. Skeletal Muscle Function and Adaptations to Training. In (Durstain JL, ed). *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, Philadelphia: Lea & Febriger.
- MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ, 1982. *Physiological Testing of the Elite Athlete*, New York: Mouvement Publications.
- Nieman DC, 1986. *The Sports Medicine. Fitness Course*, California: Bull Publishing Co.

- Pollock ML, 1998. Position stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintenance cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med.Sci.Sports Exerc.*
- Rushall BS, Pyke FS, 1990. *Training for Sports and Fitness*, Melbourne: The Macmillan Company of Australia.
- Rusko H and Rahkila P, 1982. Maximum oxygen uptake, anaerobic threshold, and skeletal muscle enzymes in male athletes. In (Komi, et al, eds). *Exercise and Sport Biology*, International series on Sport science, vol. 12. Champaign Illinois: Human Kinetics Publisher.
- Shephard RJ, Astrand PO, 1992. *Endurance in Sport*, Oxford: Blackwell - Scientific Publication.
- Smith ML and Mitchell JH, 1993. Cardiorespiratory adaptation to Exercise Training. In (Durstein JL, ed). *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing Prescription*, Philadelphia: Lea & Febiger.
- Strauss RH. 1984. *Sports Medicine*, Philadelphia: W.B.Saunders.
- WHO, 1993. *Aging and Working Capacity*. WHO Technical Report Series 835, Geneva.