FISIOLOGI KERJA PADA HEWAN OLAHRAGA

EXERCISE PHYSIOLOGY IN ATHLETIC ANIMALS

Djokowoerjo Sastradipradja[1)], I Ketut Sumadi[2)] dan I Gede Mahardika[2)]

[1)]**Bagian Fisiologi dan Farmakologi Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor, Jl. Gunung Gede Bogor 16151 INDONESIA, E-mail: d@indo.net.id**
[2)]**Jurusan Ilmu Makanan Ternak Fakultas Peternakan Universitas Udayana, Jl. P.B. Sudirman, Denpasar Bali INDONESIA**

ABSTRAK

Media Veteriner. 1999. 6(1): 23-29

Di negara berkembang, ternak kerja masih menjadi sumber tenaga utama dalam sistem pertanian pedesaan dan angkutan. Dengan meningkatnya pembangunan ekonomi, makin banyak perhatian diberikan kepada hewan untuk tujuan kenikmatan, tidak hanya pada aspek estetikanya saja melainkan juga untuk tujuan olahraga yang menuntut kecepatan dan stamina dalam perlombaan lari atau tampilan fisik lain. Oleh karena itu diperlukan suatu pemahaman mengenai fisiologi kerja dari hewan, seperti penerapan praktis evaluasi kebugaran kardiorespirasi dan informasi latihan peningkatan kesehatan yang berkaitan dengan kebugaran dan kinerja. Dengan kondisi yang ada di Indonesia saat ini, telah diperoleh data telemetri frekwensi denyut jantung pada hewan kerbau dan data pemakaian energi berjangka waktu panjang yang melibatkan pendekatan neraca serta pengukuran komposisi tubuh *in vivo* memakai cara penimbangan di bawah air. Pengukuran-pengukuran ini memungkinkan pembuatan suatu petunjuk praktis untuk kebugaran kerbau yang bekerja yaitu VO_2 = (0,1X + 3,4) ml/menit/kg BB untuk berjalan dan VO_2 = (0,2 X + 3,4) ml/menit/kg BB untuk lari derap berkecepatan 100-250 m/menit. Nilai ini pada kecepatan tertentu merupakan ukuran dari ekonomi berlari. Nilai pulsus oksigen di atas 0,05 dikategorikan sebagai atletik dan sebaliknya. Untuk kerbau betina dewasa nilai pulsus oksigen mencapai 0,066 pada keadaan istirahat dan menurun ketika bekerja menarik. Pada kerbau jantan pelari lomba makepung, nilai pulsus oksigennya mencapai 0,094 dalam keadaan istirahat dan meningkat ketika melakukan kerja fisik. Data ini memungkinkan untuk menghitung volume jantung sekuncup dan nilai hutang oksigen yang merupakan parameter lain dari kebugaran. Melihat hasil penelitian dan sosiobudaya, maka sudah waktunya untuk mengembangkan bidang fisiologi kerja pada hewan atlet di Indonesia dan pengembangan akan sangat terbantu dengan adanya *treadmill*, peralatan analisis gas-gas darah serta ergokardiorespirometri untuk hewan besar sangat membantu dalam mencapai tujuan ini.

Kata-kata Kunci: fisiologi kerja, hewan atlet, kebugaran kardiorespirasi, ketahanan, latihan, VO_2 maks., pulsus oksigen, hutang oksigen

ABSTRACT

Media Veteriner. 1999. 6(1): 23-29

Throughout the developing world, working animals are still vital important power bases of the small farmers' systems of production and transportation. With economic development, there is a growing interest in the animals for pleasure purposes, not only for aesthetic value but also for sport requiring speed and stamina for racing and other physical performances. An understanding of the physiology of exercise of animals is therefore needed including practical application such as to evaluate cardiorespiratory fitness and information on training for improvement in health related fitness and performance. Under the existing local condition, success have been reached to record heart rate of animals telemetrically over extended periods, and to measure longterm body energy expenditures of large animals (buffalo) involving energy balance approaches and *in vivo* body composition measurements by the water displacement method. These measurements enable the development of a modest practical fitness guideline for exercising swamp/ water buffalo, e.g. VO_2 = (0.1 X + 3.4) ml/min/kg BW for walking, and VO_2 = (0.2 X + 3.4) ml/min/kg BW for trot at 100-250 m/min speed. This value at a given speed offers a measure of running economy. The value of the oxygen pulse as an index of fitness is presented, above 0.05 is regarded athletic, while lower than 0.05 is the opposite. For the female buffalo the value is 0.066 at rest but decreases with exercise of pulling a load due to moving the body with a slower speed. Male buffalo has a higher oxygen pulse, 0.094 at rest and increases with exercise. Training seems to improve the oxygen pulse. These data enable the calculation of the heart's stroke volume and the O_2 debt, which are other parameters of fitness. The field of exercise physiology of athletic animals in Indonesia should be explored. The acquisition of a treadmill, blood gas analysis and ergocardiorespirometry equipment for large athletic animals would be an advantage.

Key Words: exercise physiology, athletic animals, cardiorespiratory fitness, endurance, training, VO_2 max., oxygen pulse, oxygen debt

PENDAHULUAN

Mencermati sejarah peradaban manusia hingga terjadinya revolusi industri yang bercirikan penggunaan bahan bakar minyak bumi, perkembangan bentuk-bentuk peradaban bergantung kepada tenaga fisik manusia dan hewan sebagai sumber energi. Meskipun sudah dalam era industrialisasi, pada saat ini di beberapa negara ternak kerja masih berperan penting dalam sistem produksi pertanian dan angkutan darat, terutama bagi petani kecil untuk menyiasati mahalnya pengadaan dan pemeliharaan mesin-mesin pertanian yang belum tentu cocok dipakai sementara masyarakat dengan tingkat ekonomi yang lebih maju menjadikan hewan sebagai sumber kenikmatan bentuk lain (*pleasure animals*), misalnya dinikmati bentuk dan rupanya, lomba kecepatan lari, ketangkasan, serta berbagai macam keindahannya sehingga dikenal adanya balap dan ketangkasan kuda, balap dan keindahan anjing, karapan sapi, balap kerbau (makepung) di Bali atau barapan kebo (Sumbawa), adu domba, balap unta, keindahan rupa dan suara burung, bekisar dan sebagainya.

Untuk mengetahui kebutuhan pakan dan memperoleh informasi tentang efisiensi penggunaan energi dalam produksi hewani, maka sangat diperlukan informasi tentang konversi pakan termasuk energi tidak terkecuali ternak kerja atau kinerja kegiatan lain yang didasarkan atas tenaga hewan. Di negara-negara yang sedang berkembang, data dasar yang menghubungkan pengeluaran (*output*) kerja dengan kebutuhan pakan masih kurang dan kalaupun ada masih dinilai kurang akurat. Yang paling dirasakan adalah kurangnya metode-metode yang digunakan untuk menilai ketenagaan hewan tersebut di lapangan.

Fisiologi kerja (*exercise physiology*) pada hewan sudah dibicarakan sejak tahun 1945 melalui buku "Bioenergetics and Growth" (Brody, 1945). Cukup banyak penelitian-penelitian pada kuda di Universitas Hohenheim Jerman (Hornicke *et al.*, 1983; Thiel *et al.*, 1987) dan lembu (Clar *et al.*1992; Rometsch dan Becker, 1993) menggunakan *treadmill*, lari/jalan lapangan dan telemetri. Penggunaan *treadmill* juga dilakukan di CTVM Edinburgh Scotlandia untuk mengukur tenaga yang dihasilkan oleh ternak yang sedang bekerja dikaitkan dengan kebutuhan nutrisi (Lawrence, 1985; Lawrence dan Pearson, 1985). Penelitian tentang *draught animal power* (DAP) sudah dilakukan di Indonesia (Petheram *et al.*, 1990; Mahardika *et al.*, 1995). Meskipun demikian, masih sedikit upaya-upaya untuk mempelajari aspek kebugaran fisik hewan yang berkaitan dengan ketenagaan tersebut dan kurang dikenalnya latihan kegiatan fisik untuk hewan olahraga (hewan atlet) yang didasarkan atas azas-azas ilmiah guna mencapai kebugaran dan kinerja ketenagaan yang memadai. Beberapa studi tentang kebugaran telah dilakukan di Jerman pada lembu (Zanzinger dan Becker, 1992; Zanzinger *et al.*, 1993), di Australia pada domba Merino (Pethick *et al.*, 1991) dan kambing Saanin (Kasa *et al.*, 1995a; Kasa *et al.*, 1995b) dan di Amerika pada kuda (Snow *et al.*, 1983; Erickson *et al.*, 1987; Gillespie dan Robinson, 1987).

FISIOLOGI KERJA, LATIHAN DAN PEMANASAN

Latihan fisik untuk kebugaran dan ketahanan tubuh diminati banyak orang. American College and Sports Medicine (1978) merekomendasikan latihan-latihan untuk mencapai kebugaran kardiorespirasi dan kerampingan tubuh dengan memperhatikan frekwensi, intensitas, lamanya dan macam aktivitas.

Fisiologi kerja memberi pemahaman tentang peran sistem-sistem organ tubuh utama dalam mewujudkan homeostasis selama kegiatan fisik tersebut. Disini tampak bahwa hampir semua sistem organ tubuh terlibat dalam pencapaian lingkungan dalam yang stabil, meliputi sistem kontrol biologi, bioenergetika, metabolisme saat kegiatan fisik melakukan kerja, daya dan pemakaian energi, fungsi neuromuskular, pengaturan asam-basa, pengaturan suhu tubuh dan sebagainya. Informasi mengenai fisiologi kerja diperlukan untuk mencapai tujuan-tujuan kebugaran yang terkait dengan tubuh sehat dan untuk pencapaian kinerja prestasi.

Soekarman (1995) menguraikan bahwa fisiologi latihan (yang dimaksudkan *exercise physiology*) dapat merupakan cabang dari ilmu kedokteran dan dapat pula dimasukkan sebagai cabang dari *Sport Science* atau *Physical Activity Science* (PAS) mencakup perspektif fisik, biologi, sosial dan pelayanan. Dalam bidang pelayanan tercakup aktivitas fisik dan kebugaran, dan contoh komponen pelayanan PAS di bidang veteriner berupa rehabilitasi medis yang membutuhkan pemahaman dan penanganan cidera tatkala melakukan olahraga pada ternak kuda. Pencapaian tahap glikolisis yang maksimal sewaktu kerja fisik yang berat seperti dialami kuda balap atau tunggang menuntut fungsi ventilasi paru-paru yang harus cukup (Attenburrow, 1992). Hasil penelitian lain mengemukakan bahwa kejadian patologi ortopedi yang bertalian dengan trauma oleh cekaman sewaktu melakukan kinerja atletik cukup tinggi pada atlet kuda. Meskipun banyak perlukaan persendian dapat sembuh setelah waktu istirahat yang cukup dan kuda dapat kembali memperlihatkan kinerjanya yang penuh, namun suatu kejadian akut atau perlukaan sendi yang berulang dapat menyebabkan penyakit sendi degeneratif progresif yang tidak sembuh kembali (Attenburrow dan Goss, 1992).

Karhiwikarta dan Purba (1995) menjelaskan bahwa unsur-unsur kebugaran jasmani (KJ) perlu dikembangkan ke arah KJ-kesehatan (*health fitness*) dan KJ-prestasi. Unsur-unsur KJ-kesehatan melibatkan sistem jantung-pernafasan (*endurance* = tahan-lama), kekuatan otot (*strength*), kelenturan sendi (*flexibility*) dan lemak komposisi tubuh; sedangkan KJ-prestasi mencakup semua unsur KJ-kesehatan ditambah ketahanan otot lokal, daya otot (*power*), kecepatan, kelincahan (*agility*) dan sebagainya. Oleh karena itu pemeriksaan fisiologi pada olahragawan bertujuan untuk mengevaluasi fungsional melalui pemantauan hasil latihan atlet dan untuk seleksi. Penilaian yang lengkap memerlukan pemeriksaan berbagai organ dan sistem tubuh olahragawan memanfaatkan perkembangan ilmu pengetahuan dan penyediaan fasilitas yang lebih lengkap sehingga dapat dibedakan pemeriksaan tingkat laboratorium yang bersifat canggih dan pemeriksaan lapangan. Mengenai parameter yang perlu diukur adalah kapasitas aerobik dan anaerobik tingkat individu umum, kekuatan dan daya otot, kapasitas anaerobik dan aerobik otot lokal, fleksibilitas, kecepatan reaksi dan gerak dan *motor and body correctness*.

Pemeriksaan atlet pada tingkat laboratorium memerlukan spirometri, yaitu pengukuran fungsi paru-paru statis seperti kapasitas vital dan sebagainya; dan ergokardiorespirometri, yakni uji-kerja untuk mengukur kemampuan dinamis fungsi sistem bioenergi tubuh, jantung dan sirkulasi darah, dan pernafasan. Parameter yang diukur mencakup konsumsi O_2 dan pengeluaran CO_2 (VO_2 max, nilai ambang anaerob = *anaerobic threshold*, pulsus O_2, *respiratory quotient*-RQ dan hutang O_2), frekwensi denyut jantung dan pernafasan maksimal, tekanan darah dan gambaran elektrokardiogram (EKG) kerja, volume dan kapasitas paru-paru dinamik, beberapa nilai biokimia darah (asam laktat, dan sebagainya) dan volume jantung yang diukur dengan bantuan kateterisasi.

Pemeriksaan tingkat lapangan meliputi uji-uji sederhana dan praktis yang bersifat non-invasif seperti cacahan nadi kerja sewaktu melakukan kegiatan olahraga dan pemulihannya ke nilai-nilai normal. Di negara-negara yang maju, pengukurannya dilakukan menggunakan peralatan canggih, misalnya telemetri untuk mengukur frekwensi denyut jantung, pernafasan dan gas-gas respirasi dalam darah yang telah dikembangkan di negara maju.

Tujuan latihan akan tercapai bila mampu mengembangkan kapasitas aerobik seseorang sampai kepada tingkatan yang baik, yaitu fungsi jantung efisien, paru-paru efektif, peredaran darah baik yang dapat mengaliri otot-otot sedemikian rupa sehingga otot-otot dapat bekerja secara kontinyu tanpa mengalami kelelahan yang berlebihan. Dengan melakukan pemanasan badan menjelang latihan atau pertandingan bertujuan agar organ dan tubuh dibiasakan untuk berfungsi menjelang kegiatan ragawi. Namun, kegiatan itu perlu dibatasi pada tingkat yang cukup ringan tanpa membebani tubuh hingga kelelahan dan cukup tubuh sampai pada awal mengeluarkan keringat saja.

KEBUTUHAN PEMERIKSAAN FISIOLOGI KERJA UNTUK HEWAN OLAHRAGA DAN UPAYA YANG TELAH DILAKUKAN

Membandingkan apa yang telah dikembangkan dalam fisiologi kerja pada manusia, maka padanan perkembangan cabang ilmu ini untuk hewan diperlukan pula. Walaupun tidak ada aspek sosial-psikologi dari PAS untuk hewan namun tetap diperlukan KJ-kesehatan dan KJ-prestasi dengan unsur evaluasi yang sama dengan manusia melalui metode dan fasilitas penunjang yang disesuaikan untuk diterapkan pada hewan. Dengan kondisi yang ada di Indonesia maka diperlukan metode-metode alternatif taraf lapangan yang dapat menghasilkan data pengukuran yang diinginkan mengingat sukar mengadakan *treadmill* untuk hewan besar, spirometri dan berbagai pemeriksaan tingkat laboratorium lainnya.

Di Indonesia telah diperoleh beberapa tolok ukur kebugaran sederhana melalui pengukuran yang mudah dilakukan seperti pemeriksaan fisik baku yang meliputi suhu tubuh (termometri), frekwensi nafas (pengamatan visual), frekwensi denyut jantung (palpasi dan telemetri). Juga dilakukan telemetri pemeriksaan frekwensi denyut jantung jangka panjang, pengeluaran panas atau penggunaan energi tubuh menyeluruh dan energi kerja fisik. Pemeriksaan-pemeriksaan itu dilakukan sewaktu hewan istirahat, sebelum-sewaktu-sesudah mengadakan kerja fisik (pada yang berlari atau banyak melakukan gerakan).

Telemetri nadi jantung

Untuk keperluan ini telah digunakan kerbau kerja (betina) dan balap (jantan, makepung) menggunakan Polar Sport Tester P-3000 (Finlandia) yang dapat memantau dan merekam frekwensi denyut jantung secara terus-menerus selama 36 jam sewaktu istirahat dan melakukan kerja fisik (Mahardika *et al.*, 1995). Dari pengukuran telemetri (Gambar 1) dihasilkan rumus hubungan antara frekwensi denyut jantung (detak/menit) dengan pemakaian energi tubuh (PET, MJ/hari) berupa

$$\text{PET} = 17{,}22 + 0{,}23 \text{ frek. denyut jantung } (r = 0{,}95)$$

seperti yang tergambar dalam Gambar 1.

Pengukuran PET harian, spirometri dan pengukuran energi untuk kerja fisik (PEK)

Mahardika *et al.* (1995) telah melakukan pengukuran laju harian PET yang sedang istirahat (PEI) maupun yang sedang melakukan kerja fisik (PEK). Besaran PET diperoleh melalui rumus

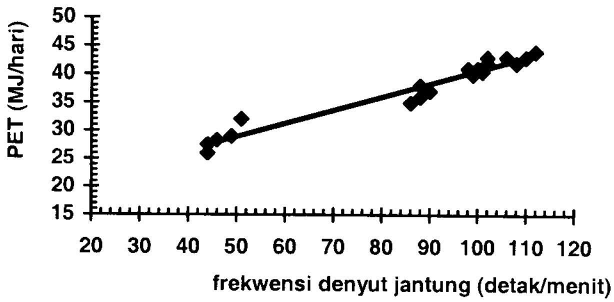
$$\text{PET} = \text{PEI} + \text{PEK}$$

dengan PEI yang dihitung menggunakan rumus

$$\begin{aligned} \text{PEI} &= 87{,}7 \text{ W(kg)}^{0,75} \times 4{,}185 \text{ KJ/hari} \\ &= 0{,}367 \text{ W(kg)}^{0,75} \text{ MJ/hari} \end{aligned}$$

seperti yang dikembangkan oleh Sastradipradja (1965).

Sedangkan PEK dihitung menggunakan rumus faktorial menurut Lawrence (1985), yakni



Gambar 1. Hubungan antara frekwensi denyut jantung dengan pemakaian energi tubuh harian pada kerbau yang bekerja pada berbagai tingkat kerja fisik (Mahardika *et al.*, 1995)

$$\text{PEK (KJ)} = \text{aFM} + \text{bFL} + \text{W/c}$$

untuk F=jarak tempuh (km), M=bobot tubuh (kg), L=beban horisontal yang ditarik (kg) dan W= kerja yang dilakukan waktu menarik (KJ); sedangkan a=energi untuk memindahkan 1 kg bobot tubuh sejauh 1 m horisontal, b=energi memindahkan beban 1 kg 1 m vertikal dan c=efisiensi untuk melakukan kerja mekanis.

Spirometri memberi keuntungan karena dapat mengukur konsumsi O_2, pengeluaran CO_2 dan kalau dikombinasi dengan *treadmill* akan dapat mengukur VO_2 max, nilai ambang anaerob (*anaerobic threshold*), pulsus O_2, RQ dan hutang O_2. Keberatan pengukuran spirometri dengan masker adalah sangat terbatasnya waktu pengukuran yang paling lama hanya 10 menit saja, sedangkan acapkali diperlukan data selama pengukuran sehari penuh. Padahal selama pengukuran si hewan tidak dapat makan/minum karena adanya masker moncong. Oleh karena itu, perlu dicari metode pengukuran PET alternatif yang sesuai dengan kondisi lapangan dan tidak mengganggu kegiatan normal hewan. Hal ini dapat dilakukan melalui pendekatan pengukuran neraca energi yang berlaku hubungan PET = pemasukan energi termetabolisasi (*metabolizable energy*, ME) dikurangi energi teretensi (*retained energy*, RE). Pemasukan ME adalah pemasukan energi kotor pakan dikurangi jumlah energi yang ditemukan keluar dengan feses, urin dan gas (metan) yang terbentuk di rumen. Energi dalam gas metan rumen dapat dianggap sebesar 8% energi kotor pakan. RE di dalam tubuh dapat dihitung sebagai selisih dua penentuan komposisi tubuh pada dua waktu yang jarak-waktunya cukup berbeda. Ada beberapa metode yang dapat dipakai untuk menentukan secara *in vivo* komposisi tubuh itu, misalnya berdasarkan kandungan air tubuh yang selanjutnya dengan rumus-rumus hubungan dapat dihitung persentase lemak dan protein tubuh hewan. Namun rumus-rumus ini masih harus dikembangkan di Indonesia dan kalaupun sudah ada masih harus diuji keabsahannya. Mahardika (1996) dan Sumadi (1997) mengukur komposisi tubuh secara *in vivo* pada kerbau yang memungkinkan pengukuran RE berdasarkan perbedaan berat jenis (BJ) tubuh yang nilainya berkisar sekitar 1,0. BJ mendekati 0,9 menandakan banyaknya kandungan lemak tubuh dan sebaliknya. Menurut Kleiber (1961), BJ tubuh dapat dihitung melalui pengukuran volume tubuh dengan rumus

$$\frac{Wf}{Wb} = \frac{vb - vl}{vf - vl}$$

untuk Wf dan Wb berturutan adalah masa lemak dan masa tubuh dalam kg, vb, vf dan vl adalah berturutan volume jenis (1/BJ) tubuh, lemak dan tubuh langsing dalam liter/kg.

Dengan mengukur sekelompok kerbau sewaktu istirahat dan kelompok kerbau yang sama sewaktu melakukan kegiatan fisik seperti menarik beban atau berlari (makepung) dan pengukuran dilakukan dua kali yakni pada awal dan akhir masa latihan fisik (beda waktu minimal 2 minggu), maka PET kerbau sewaktu istirahat atau sewaktu melakukan kerja fisik dapat dihitung. Selisih dua harga itulah yang menjadi energi untuk kerja fisiknya sendiri. Dengan demikian, dari data PET ini diperoleh VO_2 sewaktu berjalan dan sewaktu lari derap/jogging yang menjadi tolok ukur uji kebugaran untuk kerbau.

Powers *et al.* (1984 *dalam* Powers dan Howley, 1990) menyatakan bahwa VO_2 untuk orang berjalan dengan kecepatan 50-100 m/menit mengikuti rumus

$$VO_2 = (0{,}1X + 3{,}5)\ \text{ml/menit/kg BB}$$

untuk X adalah kecepatan berjalan (m/menit) dan 3,5 adalah VO_2 pada keadaan istirahat.

Untuk orang yang sedang jogging dengan kecepatan 100-250 m/menit, rumus berubah menjadi

$$VO_2 = (0{,}2X + 3{,}5)\ \text{ml/menit/kg BB}$$

Analog dengan hal tersebut, rumus-rumus demikian berlaku juga untuk hewan yang melakukan kerja fisik serupa walaupun perlu dimodifikasi. Angka 0,1 untuk keadaan sedang berjalan dan 0,2 untuk keadaan sedang berlari tidak perlu diubah karena VO_2 kerbau dengan kecepatan 0,8-1,0 m/detik memerlukan energi 1,5-3,3 J/menit/kg BB yang setara dengan 0,074-0,163 ml O_2/menit/kg BB (Lawrence dan Dykmann, 1991). Modifikasi hanya diperlukan untuk nilai VO_2 istirahat saja. Meskipun tidak ada data pengukuran spirometri, data PET istirahat yang diperoleh dari penelitian Sastradipradja (1965), Mahardika (1996) dan Sumadi (1997) sebesar 0,37 $Wkg^{0.75}$ MJ/hari dengan diasumsikan bahwa nilai RQ sebesar 0,85 (dari data gas-gas darah) dan penggunaan sebesar 1 liter oksigen setara dengan 20,3 KJ (Brody, 1945) sehingga dapat dihitung penggunaan oksigen oleh kerbau yang istirahat sebesar 3,4 ml/menit/kg bobot badan. Dengan demikian rumus konsumsi untuk kerbau berjalan adalah:

$$VO_2 = (0,1\ X + 3,4)\ \text{ml/menit/kg BB}$$

dan untuk yang berlari derap

$$VO_2 = (0,2\ X + 3,4)\ \text{ml/menit/kg BB}$$

Pemeriksaan VO_2 pada suatu kecepatan merupakan tolok-ukur ekonomi berlari.

Banyak faktor yang secara berdiri sendiri atau berkombinasi membatasi kapasitas kerja, seperti ventilasi paru, sirkulasi darah, kapasitas oksigen darah, hutang oksigen, sirkulasi koroner, pengaturan suhu tubuh dan nutrisi. Beberapa dari faktor itu merupakan komponen kapasitas dan lainnya merupakan komponen intensitas. Stamina, daya cadangan (*reserve power*), dan daya tahan-lama nampaknya sebanding dengan komponen-komponen kapasitas kerja seperti curah jantung kuncup (*stroke volume*), banyaknya hemoglobin, pasang-surut udara nafas (*tidal air*), dan kaliber pembuluh koroner. Namun yang terpenting adalah curah jantung kuncup yang dapat ditentukan menggunakan azas Fick (1870 *dalam* Brody, 1945) yang menghitung volume menit jantung sebagai konsumsi O_2 per menit oleh tubuh dibagi perbedaan kadar O_2 arteri-vena (dapat juga dihitung dari pengeluaran CO_2 dan beda-kadar AV CO_2 darah). Volume menit jantung dibagi dengan frekwensi denyut jantung menghasilkan volume kuncup yang diinginkan.

Karena tidak mudah menentukan tolok ukur kebugaran fisik pada hewan, maka perlu dicari pengujian yang sesuai untuk hewan dan salah satunya adalah pulsus oksigen per satuan bobot tubuh. Pulsus oksigen adalah konsumsi oksigen per menit (VO_2) dibagi dengan frekwensi denyut jantung per menit (f). Dari berbagai pengukuran pada hewan dan manusia, Brody (1945) menemukan bahwa dalam keadaan istirahat pulsus oksigen sebesar

$$\text{pulsus } O_2 = VO_2/f = 0,05\ W$$

untuk W adalah BB dalam kg.

Angka 0,05 dapat menjadi indeks kebugaran dan besarnya bervariasi. Nilai yang lebih besar dari 0,05 menunjukkan bahwa manusia dan hewan tersebut tergolong atlet dan sebaliknya.

Perhitungan pulsus O_2 untuk kerbau berdasarkan penelitian Mahardika *et al.* (1995) dan Sumadi (1997) disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pulsus O_2 pada kerbau betina istirahat dan yang sedang mendapat perlakuan harian menarik beban horisontal 0 - 15% BB selama 3 jam dan pada kerbau jantan balap makepung yang istirahat dengan atau tanpa latihan lari derap harian selama 0 - 15 menit dengan kecepatan 117 m/menit. Semua respons ini diperoleh dalam experimen selama 3 minggu.

[1]Kerbau betina 300 kg	Tidak dikerjakan	Bb 5%BB	Bb 10%BB	Bb 15%BB
PET (MJ/hari)	28,8	37,10	41,10	42,50
Pulsus O_2 (ml/kg)[a]	0,066	0,054	0,042	0,046
[2]Kerbau jantan 350,9 ± 6,21 kg	Tidak dilatih lari	5 menit/hari	10 menit/hari	15 menit/hari
PET (MJ/hari)	32,76	36,13	40,63	49,05
PET harian dikoreksi terhadap energi lari[b]	32,76	35,19	38,75	46,24
Nadi (f/menit)	34,17	32,92	32,33	31,42
Pulsus O_2 (ml/kg)[c]	0,094	0,105	0,117	0,143

[1]Mahardika *et al.* (1995), [2]Sumadi (1997), [a]Pulsus O_2 dalam keadaan kerbau istirahat dan sewaktu menarik beban, [b]Dikoreksi terhadap energi lari $VO_2 = (0,2\ X + 3,4)$ ml/menit/kg BB , [c]Pulsus O_2 kerbau dilatih lari harian atau tidak, sewaktu istirahat

Dari Tabel 1 terlihat bahwa kerbau adalah hewan yang cukup siap untuk melakukan pekerjaan fisik. Namun kecepatan berjalan kerbau berkurang dengan meningkatnya beban tarikan sehingga nilai pulsus oksigen makin menurun. Pulsus O_2 istirahat untuk kerbau yang diberi latihan harian berlari nilainya lebih tinggi dari kelompok yang menarik beban. Kerbau makepung yang dipakai adalah kerbau jantan dan ini merupakan salah satu faktor yang membedakan nilainya dari yang betina. Nilai pulsus O_2 dipengaruhi juga oleh lama latihan (*training*) yang berarti berpengaruh pada tingkatan kebugaran hewan. Jika ada data gas-gas darah arteri dan vena (AV-O_2), maka nilai volume jantung kuncup dapat dihitung. Jika perbedaan AV-O_2 sebesar 8 ml/100 ml darah pada keadaan istirahat (25% VO_2 maks), maka volume jantung kuncup kerbau makepung tidak terlatih berbobot badan 350 kg dan sedang beristirahat adalah sekitar (0,094 x 350 kg x 100 ml darah)/8 ml O_2 = 411 ml. Sedangkan yang dilatih derap 15 menit/hari dapat meningkat hingga 626 ml.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa selain pulsus O_2 dan nilai volume jantung kuncup, dapat dihitung hutang oksigen, yang berarti kelebihan pengambilan oksigen diatas nilai istirahat sesudah kegiatan fisik. Nilai VO_2 ini menurun secara

Tabel 2. VO_2 max saat dipacu, nilai k penurunan frekwensi denyut jantung setelah dipacu dan hutang O_2 yang terkait pacuan itu, 1800 m dengan kecepatan 360 - 450 m/menit.pada kerbau jantan makepung 350.94 ± 6.21 kg (Sumadi, 1997)

Parameter faal	Lama latihan derap harian			
	Lama latihan derap harian	5 menit	10 menit	15 menit
VO_2 max (liter/menit)	16,02[a]	16,02[a]	16,02[a]	16,02[a]
k (per menit)[b]	0,023	0,025	0,026	0,031
HutangO_2(liter/pacuan)[c]	633	557	538	450

[a]Untuk yang menerima latihan lari harian mungkin nilainya lebih besar dari yang tidak dilatih, tetapi pada perhitungan disini pengaruh itu diabaikan, [b]nilai k dari penurunan frekwensi denyut jantung setelah uji pacu, [c]nilai integral dari rumus (VO_2 max - VO_2 istirahat) = $17{,}5\ e^{-kt}$

eksponensial dari nilai pada akhir kegiatan menjadi VO_2 istirahat menurut hubungan:

$$\text{Hutang } O_2 = (VO_2\text{kerja} - VO_2\text{ist})_0 e^{-kt},$$

untuk t sebagai satuan waktu dan k diperoleh dari koefisien laju penurunan frekwensi denyut jantung setelah berhenti bergiat ragawi. Asumsi terakhir cukup beralasan karena Hb darah hampir 100% jenuh O_2 dan penyebaran O_2 berkaitan erat dengan frekwensi denyut jantung. VO_2 kerja disini adalah $VO_{2\ \text{maks.}}$ yang dicapai pada manusia ketika berlari dengan kecepatan 250 m/menit. Untuk hewan, kemampuan kecepatannya diperkirakan serupa dengan manusia dan berdasarkan anggapan ini maka $VO_{2\text{maks.}}$ pada kerbau makepung berbobot badan 350,94 kg adalah {(0.2 x 250 + 3.4) x 350}ml/menit = 18,74 l/menit. Nilai ini tidak berubah meskipun kerbau dipacu lebih cepat.

Data ini dipakai untuk menghitung nilai hutang O_2 pada kerbau makepung yang menerima berbagai taraf lama perlakuan latihan lari derap dengan asumsi bahwa $VO_{2\text{maks.}}$ dianggap sama untuk keempat kelompok perlakuan latihan. Akibat latihan adalah lebih cepat tercapainya $VO_{2\text{maks.}}$ daripada kepada nilai $VO_{2\text{maks.}}$nya sendiri. Hutang O_2 kerbau akan menurun setelah mengalami latihan harian lari derap.

Dari beberapa contoh yang diuraikan diatas, jelaslah bahwa data serupa perlu dikembangkan untuk hewan-hewan atlet lain.

KESIMPULAN

Fisiologi kerja perlu dikembangkan untuk menciptakan kebugaran pada ternak kerja dan hewan atlet di Indonesia sehingga dapat menjadi dasar ilmiah dalam mengevaluasi kesehatan dan prestasi hewan yang diperlombakan atau untuk pelayanan lain melalui ketenagaan. Indonesia mempunyai berbagai bentuk olahraga yang melibatkan hewan seperti karapan sapi, balap dan ketangkasan kuda, aduan domba dan sebagainya yang hingga saat ini belum tersentuh penanganannya secara ilmiah. Karena beberapa metode dapat disesuaikan dengan kondisi Indonesia, maka sudah saatnya untuk mengembangkan cabang ilmu tersebut melalui pengadaan *treadmill*, *spirometri* dan *blood-gas analyser* untuk kuda, sapi karapan dan hewan besar lain yang akan sangat menunjang pemeriksaan di bidang olahraga hewani di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

American College and Sports Medicine, 1978. Position Statement on: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Med. and Sci. in Sports*, 10: 151-154.

Attenburrow, D.P., 1992. Clinical application of the measurement of extra and intra thoracic airflow resistance by respiratory sound quantification and rectal pressure change in the equine at exercise in the field. *Seminar Sehari Prospek Perkudaan di Indonesia Masa Kini dan Masa Mendatang, di Jakarta 29 Oktober 1992.* PDHI Jawa Barat II, PORDASI, PKBNI dan Ikatan Alumni FKH IPB.

Attenburrow, D.P. and V.A. Goss, 1992. Scintigraphy in diagnosis and research into orthopedic pathology in the equine. *In*: Health for All Through Nuclear Medicine and Biology. *Symposium Proceedings volume 2, Vth Asia & Oceania Congr. Nuclear Med. & Biol.*, Jakarta and Bali 25-30 October, PKBNI pp. 403-412.

Brody, S., 1945. Bioenergetics and growth with special reference to the efficiency complex in domestic animals. Reinhold Publishing Corporation. Reprinted 1974 by Hafner Press New York and Collier Macmillon London.

Clar, von U., K. Becker and A. Susenbeth, 1992. Eine Maskentechnik zur mobilen Gaswechselmessung beim rind. *J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr.*, 67: 133-142.

Erickson, B.K., H.H. Erickson, W.L. Sexton and J.R. Coffman, 1987. Performance evaluation and detection of injury during exercise training in the quarter horse using a heart rate computer. *In*: Equine Exercise Physiology 2, Gillespie, J.R. and N.E. Robinson (Eds.), ICEEP Publications, Davis, CA, pp.92-101.

Gillespie, J.R. and N.E. Robinson, 1987. Equine Exercise Physiology 2, ICEEP Publications, Davis, CA, pp.92-101.

Hornicke, H., R. Meixner and U. Pollmann, 1983. Respiration in exercising horses. *In*: Equine Exercise Physiology, Snow, D.H., S.G.B. Persson and R.J. Rose (Eds.), Cambridge, G.B. - Burlington Press. pp.7-16.

Karhiwikarta, W. dan A.Purba, 1995. Pemeriksaan fisiologi dalam latihan (exercise). *Simposium Sport Physiologi, Konas IX-Seminar Ilmiah X IAIFI*, Semarang 26-28 Oktober 1995.

Kasa, I.W., M.K. Hill, C.J. Thwaites and N.D. Baillie, 1995a. Physiological effects of exercise in male and female Saanen goats at the same body weight but different feed intake. *Small Ruminant Res.*, 16: 83-86 .

Kasa, I.W., M.K. Hill, C.J. Thwaites and N.D. Baillie, 1995b. Effects of treadmill exercise on physiological responses in Saanen goats. *Small Ruminant Res.*, 16: 129-132.

Kleiber, M. 1962. The Fire of Life. An Introduction to Animal Energetics. John Willey & Sons, Inc., New York-London. pp.44-59.

Lawrence, P.R., 1985. A review of the nutrient requirement of draft oxen. *In*: Draft Animal Power for Production: *Proceedings of an International Workshop held at James Cook Univ.10-16 July*, Copland, J.W. (Ed.), Canberra: ACIAR Proceedings no. 10: 69-77.

Lawrence, P.R. and R.J. Dykmann, 1991. The energy cost of walking and working in different soil conditions by oxen and buffalo. CTVM, Edinburgh University, Scotland.

Lawrence, P.R. and R.A. Pearson, 1985. Factors affecting the measurement of draught force, work output and power of oxen. *J. Agric. Sci.*, 105: 703-714.

Mahardika, I G., D. Sastradipradja, I.K. Sumadi and T. Sutardi, 1995. Energy expenditure of water buffaloes for draft power in the humid tropics. *In*: Sustainable small scale ruminant production in semi-arid sub-humid tropical areas, Lawrence, P., K. Becker and Bob Orskov (Eds.), Publ. By Inst. F. Anim. Prod. in the Tropics and subtropics, Univ. of Hohenheim, Stuttgart, Germany, pp.127-130.

Mahardika, I G. (1996). Kinerja kerbau betina pada berbagai beban kerja serta implikasinya terhadap kebutuhan energi dan protein pakan. *Disertasi Doktor*, Institut Pertanian Bogor.

Petheram, R.J., M.R. Goe and Abiye Astatke, 1990. Approaches to research on draught animal power in Indonesia, Ethiopia and Australia. ACIAR-DAP Project James Cook Univ.- Int'l Livestock Center Africa - Res. Inst. Anim. Prod. AARD Ina.

Pethick, D.W.. C.B. Miller and N.G. Harman, 1991. Exercise in merino sheep - The relationships between work intensity, endurance, aerobic threshold and glucose metabolism. *Austr. J. Agric. Res.*, 42: 599-620.

Powers, S.K. and E.T. Howley, 1990. Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance. Wm. C. Brown Publisher, Dubuque, U.S.A.

Rometsch, M. and K. Becker, 1993. Determination of the reaction of heart rate of oxen to draught work with a portable data-acquisition system. *J. Agri. Engng Res.*, 54: 29-36.

Sastradipradja, D., 1965. Basal metabolism of Indonesian water buffaloes. *Comm. Vet.*, 9: 29-34.

Snow, D.H., S.G.B. Persson and R.J. Rose (Eds.), 1983. Equine Exercise Physiology, Cambridge, G.B. – Burlington Press

Soekarman, H.R., 1995. Tujuan pendidikan, pengembangan physiologi khusus exercise physiologi. *Simposium Sport Physiologi, Konas IX-Seminar Ilmiah X IAIFI*, Semarang 26-28 Oktober 1995.

Sumadi, I K., 1997. Fisiologi latihan kerbau makepung dan implikasinya terhadap kebutuhan energi dan protein pakan. *Disertasi Doktor*, Institut Pertanian Bogor.

Thiel, M., G. Tolkmitt and H. Hornicke, 1987. *In*: Equine Exercise Physiology 2, Gillespie, J.R. and N.E. Robinson (Eds.), ICEEP Publications, Davis, CA, pp. 183-193.

Zanzinger, J. and K. Becker, 1992. Blood parameters in draught oxen during work: relationship to physical fitness. *Comp. Biochem. Physiol.*, 102A: 715-719.

Zanzinger, J., K. Becker and M. Rometsch, 1993. Physiological response of zebu and taurine oxen to draught work. *J. Exp. Zool.*, 266: 249-256.

UCAPAN TERIMA KASIH

Media Veteriner mengucapkan terima kasih dan memberikan pernghargaan yang setinggi-tingginya kepada para pakar di bawah ini yang telah menelaah semua tulisan/karya ilmiah yang dimuat dalam edisi ini.

- Dr. Drs. Achmad Maad Wirawidjaja, MS., Bagian Fisiologi dan Farmakologi Fakultas Kedokteran Hewan – IPB, Jl. Raya Gunung Gede Bogor 16151;
- Dr. Drh. Iman Supriatna, Bagian Reproduksi dan Kebidanan Fakultas Kedokteran Hewan – IPB, Kampus Cilibende Jl. Cilibende Bogor 16151;
- Drh. Prabowo P. Putro, Mphil., Bagian Reproduksi dan Obstetri Fakultas Kedokteran Hewan UNIVERSITAS GADJAH MADA, Sekip Unit II Bulaksumur YOGYAKARTA 55281, Telp. (0274) 563083
- Dr. Laba Mahaputra, Jurusan Reproduksi dan Kebidanan, Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Airlangga, Jl. Dharmawangsa Dalam Selatan SURABAYA 60286
- Drh. Sri Sulaksmi Damayanti Yusuf, M.Sc. Ph.D., Bagian Penyakit Hewan dan Kesehatan Masyarakat Veteriner Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor, Kampus Taman Kencana Jl. Taman Kencana 3 Bogor 16151
- Dr. Endhie D. Setiawan, MS., Balai Penelitian Veteriner (Balitvet) Departemen Pertanian, Jl. R.E. Martadinata 30 Bogor
- Dr. Tri Budhi Murdiyati, Laboratorium Toksikologi Balai Penelitian Veteriner (Balitvet) Departemen Pertanian, Jl. R.E. Martadinata 30 Bogor
- Dr. Ir. Suryahadi, DEA., Jl. Ganimeds Blok R/4 Perumahan IPB Sindang Barang II Sindang Barang – Bogor
- Drh. Fadjar Satrija, M.Sc., Ph.D., Bagian Parasitologi dan Patologi Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor, Kampus Taman Kencana Jl. Taman Kencana 3 Bogor 16151