



F/MP/1991/0153

**MEMPELAJARI PENGARUH SUHU LINGKUNGAN,
KECEPATAN PUTAR PEDAL DAN PEMBEBANAN
PADA ERGOMETER TIPE SEPEDA
TERHADAP EFISIENSI TENAGA MANUSIA**



OLEH

ASEU SUNINGSIH DAMINI

F 22.0862



1991

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta milik IPB University

IPB University

Aseu Suningsih Damini, F. 22 0862. Mempelajari Pengaruh Suhu Lingkungan, Kecepatan Putar Pedal dan Pembebanan pada Ergometer Tipe Sepeda Terhadap Efisiensi Tenaga Manusia. Di bawah Bimbingan Bapak Ir. Kusen Morgan, MS dan Bapak Ir. Sam Herodian.

RINGKASAN

Sampai saat sekarang, sebagian masyarakat tani di Indonesia masih bertahan dengan peralatan dan cara-cara tradisional dalam hal penggunaan sumber tenaga sebagai penunjang usahanya, yaitu memakai sumber tenaga biologis seperti tenaga hewan-ternak dan tenaga manusia.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari optimasi penggunaan tenaga manusia pada pekerjaan mengayuh ergometer tipe sepeda yang berhubungan dengan perubahan suhu lingkungan kerja, kecepatan putar pedal dan besarnya beban yang dikayuh.

Dari analisa statistik, diperoleh bahwa perlakuan pembebanan fisik, kecepatan putar pedal dan perubahan suhu lingkungan kerja menghasilkan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kebutuhan tenaga dan efisiensi tenaga mekanis.

Dari hasil penelitian didapat hubungan antara faktor perlakuan dengan besarnya efisiensi tenaga mekanis, yaitu :

1. Semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula efisiensi mekanis yang diperoleh. Menurut Kusen (1983), efisiensi maksimal akan tercapai pada pembebanan

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



fisik sekitar 120 watt dan disarankan pembebanan fisik yang diberikan terhadap operator tidak melebihi 45 watt. Dalam penelitian ini dihasilkan bahwa pada selang 50-70 watt terjadi penurunan kebutuhan tenaga sekitar 5.756 persen.

Nilai efisiensi mekanis akan semakin kecil dengan bertambah besarnya kecepatan putar pedal. Efisiensi tertinggi tercapai pada kecepatan putar pedal 30 rpm. Pada selang 30-50 rpm terjadi penurunan efisiensi yang disertai dengan penurunan kebutuhan tenaga. Sesuai dengan pendapat Kusen (1983), bahwa pada nilai kecepatan putar pedal 33 rpm akan tercapai efisiensi optimal.

Semakin tinggi suhu lingkungan kerja maka efisiensi tenaga mekanis akan semakin kecil. Efisiensi tenaga mekanis tertinggi tercapai pada suhu lingkungan kerja sebesar 22°C-25°C, yaitu 18.8 persen. Hasil percobaan ini didukung oleh pendapat beberapa ahli, yaitu menurut Gagge et al (1941) yang menyatakan bahwa keadaan optimum untuk melakukan kerja atau istirahat adalah keadaan dimana suhu lingkungan 25°C dengan kelembaban nisbi 50 persen. Menurut Selkurt (1971), bahwa keadaan lingkungan kerja dengan suhu yang tinggi dan disertai kelembaban nisbi yang tinggi pula akan mengurangi kemampuan kerja fisik.



MEMPELAJARI PENGARUH SUHU LINGKUNGAN, KECEPATAN PUTAR PEDAL DAN PEMBEBANAN PADA ERGOMETER TIPE SEPEDA TERHADAP EFISIENSI TENAGA MANUSIA

OLEH
ASEU SUNINGSIH DAMINI
F 22. 0862

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
Pada Jurusan Mekanisasi Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

1991

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

MEMPELAJARI PENGARUH SUHU LINGKUNGAN,
KECEPATAN PUTAR PEDAL DAN PEMBEBANAN
PADA ERGOMETER TIPE SEPEDA
TERHADAP EFISIENSI TENAGA MANUSIA

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada Jurusan Mekanisasi Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

OLEH

ASEU SUNINGSIH DAMINI

F 22. 0862

Dilahirkan pada tanggal 13 Maret 1967

di Bandung

Tanggal lulus : 9 Juli 1991

Disetujui,

Bogor, Agustus 1991

(Ir. Sam Herodian)

(Ir. Kusen Morgan, MS)

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing I



Hak cipta milik IPB University

Citra Dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T yang telah melimpahkan rakmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian selama empat bulan di Laboratorium Ergonomika, Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian dan Puncak Pass, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

Dengan penuh rasa tulus penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Kusen Morgan, MS sebagai dosen pembimbing utama
2. Bapak Ir. Sam Herodian sebagai dosen pembimbing pendamping
3. Bapak Ir. R. Godfried Sitompul, yang telah bersedia menguji skripsi ini
4. Bapak Dr. Ir. Hadi K. Purwadaria, selaku ketua komisi pendidikan S-1 Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
5. Bapak Drs. J.I. Romli dan keluarga, yang telah memberikan dorongan moril dan materil kepada penulis
6. Bapak Kapten Inf. S. Soegiyatno, Dan Kiwal Denma Puskif Pussenif, atas bantuan yang telah diberikan



Bapak Lettu Inf. Dadang Sanjaya, Kes Pusdikif Pussenif, yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian 8. Rekan-rekan AE-Corps dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna, kritik dan saran dari semua pihak sangat penulis harapkan.

Bogor,

Agustus 1991

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN PENELITIAN	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. ERGONOMI	4
B. FAAL KERJA	6
C. PENGOPERASIAN ALAT KENDALI DENGAN KAKI ..	13
D. CUACA KERJA	16
1. Perubahan yang Dialami oleh Tubuh Saat Tubuh Mengadakan Penyesuaian Suhu	18
2. Penyesuaian Diri Terhadap Panas dan Dingin	18
E. KEBUTUHAN TENAGA	20
1. Sumber Energi	20
2. Kapasitas Tenaga	21
3. Metabolisme	25
4. Pengukuran Tenaga	27
(1). Metoda Pengukuran Langsung	28
(2). Metoda Pengukuran Tidak Langsung	29

5. Kebutuhan Energi Basal	32
6. Laju Metabolisme Relatif (L.M.R)	33
7. Kelelahan dan istirahat	35
E. EFISIENSI KERJA MEKANIS	38
III METODA PENELITIAN	41
A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	41
1. Waktu	41
2. Tempat	41
B. PERALATAN DAN PERLENGKAPAN KERJA	42
1. Instrumen dan Alat Ukur	42
(1). Kantung Dauglas	42
(2). Gas Meter	42
(3). Barometer dan Termometer	43
(4). Stopwatch	43
(5). Breath Analyzer	43
(6). Timbangan dan Meteran	44
(7). Ergometer Tipe Sepeda	44
2. Objek dan Operator	45
C. METODA PENELITIAN	45
1. Penelitian Pendahuluan	45
2. Perlakuan	46
3. Rancangan Percobaan	46
4. Pengukuran Kebutuhan Tenaga	48
5. Analisa Waktu Istirahat	53



IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	54
	A. PENELITIAN PENDAHULUAN	54
	B. PENENTUAN KONDISI AEROBIK	54
	C. PENELITIAN UTAMA	55
	1. Analisa Kebutuhan Tenaga	55
	2. Analisa Efisiensi Tenaga Mekanis Tubuh	60
	3. Pengaruh Pembebanan Fisik	64
	4. Pengaruh Kecepatan Putar Pedal	67
	5. Pengaruh Suhu Lingkungan	70
	6. Pengaturan Waktu Istirahat dan Penen- tuan Tingkat Beban Kerja	74
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	79
	DAFTAR PUSTAKA	81
	LAMPIRAN	84



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1.	Tingkat beban kerja menurut variabel faal	12
Tabel 2.	kemampuan kaki mengayuh pedal	14
Tabel 3.	Umur dan tenaga kerja mekanis yang dihasilkan oleh seseorang	22
Tabel 4.	Bagian anggota tubuh dan besar tenaga mekanisnya	25
Tabel 5.	Klasifikasi beban kerja berdasarkan L.M.R	35
Tabel 6.	Jenis kegiatan kerja dan efisiensinya	39
Tabel 7.	Frekwensi keluhan fisik selama kerja duduk tetap	40
Tabel 8.	Analisa variansi kebutuhan tenaga	56
Tabel 9.	Perhitungan nilai kebutuhan tenaga pada suhu lingkungan kerja	57
Tabel 10.	Analisa variansi efisiensi tenaga mekanis	61
Tabel 11.	Perhitungan nilai efisiensi tenaga mekanis tubuh Suhu lingkungan kerja	62
Tabel 12.	Klasifikasi beban kerja dan waktu istirahat	77

1. Cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Denyutan jantung dan bekerja	10
Gambar 2. Suhu efektif kerja	16
Gambar 3. Batas suhu yang diperbolehkan untuk melakukan kerja	17
Gambar 4. Perubahan suhu rektal, detak jantung dan pengeluaran keringat selama 9 hari di tempat yang panas	19
Gambar 5. Hubungan antara kekuatan seorang laki-laki dan wanita pada berbagai tingkat umur	23
Gambar 6. Bagan faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas kerja	24
Gambar 7. Skema metabolisme tubuh	26
Gambar 8. Pola konsumsi oksigen dalam sistem aerobik	27
Gambar 9. Gambar hubungan O ₂ dan lamanya bekerja ..	38
Gambar 10. Pengaruh kecepatan menaiki tangga terhadap pengeluaran tenaga dan efisiensi	40
Gambar 11. Grafik nilai rata-rata pengeluaran tenaga	58
Gambar 12. Grafik nilai rata-rata efisiensi mekanis	63
Gambar 13. Grafik pengaruh pembebanan fisik terhadap efisiensi mekanis	65
Gambar 14. Grafik pengaruh pembebanan fisik terhadap kebutuhan tenaga	67
Gambar 15. Grafik pengaruh kecepatan putar pedal terhadap kebutuhan tenaga	68

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
1. Dilarang menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan dalam bentuk apapun sumbernya.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak mengizinkan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 16.	Grafik pengaruh kecepatan putar pedal terhadap efisiensi tenaga	69
Gambar 17.	Grafik pengaruh suhu lingkungan kerja terhadap kebutuhan tenaga mekanis	72
Gambar 18.	Grafik pengaruh suhu lingkungan kerja terhadap efisiensi mekanis	73

Hak cipta milik IPB University

1. Cipta Dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hakipta milik IPB University

IPB University

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1.	Konsumsi oksigen pada kondisi basal untuk orang Indonesia berdasarkan luas permukaan kulit setelah koreksi.....	84
Lampiran 2.	Konversi energi berdasarkan nilai RQ ...	87
Lampiran 3.	Data hasil penelitian	88
Lampiran 4.	Contoh rumus untuk perhitungan kebutuhan tenaga dan efisiensi mekanis	93
Lampiran 5.	Contoh perhitungan kebutuhan tenaga dan efisiensi mekanis	96
Lampiran 6.	Hasil perhitungan nilai kebutuhan tenaga	98
Lampiran 7.	Hasil perhitungan nilai efisiensi tenaga	101
Lampiran 8.	Hasil klasifikasi beban kerja dan waktu istirahat berdasarkan L.M.R.	104
Lampiran 9.	Klasifikasi beban kerja berdasarkan denyut jantung per menit	109
Lampiran 10.	Klasifikasi Beban kerja Sesuai dengan rumus Boyle-Charles	112

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
a. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengizinkan keperluan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Kebiasaan penggunaan tenaga di bidang pertanian dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu penggunaan tenaga sebagai penarik beban (drawing work) dan tenaga statis yang dipakai untuk memutar (stationary work), yang dilakukan dengan menggunakan transmisi seperti belt, gigi, p.t.o, rantai dan sebagainya. Pekerjaan-pekerjaan menarik sebagai contohnya adalah pengolahan tanah, penanaman, penyiangan, panen dan menarik trailer atau alat-alat lainnya. Pekerjaan-pekerjaan yang termasuk pekerjaan stationary adalah memompa air, mengolah hasil pertanian, menggergaji dan lain-lain.

Dikenal beberapa sumber tenaga yang biasa dipergunakan di bidang pertanian, sumber-sumber tersebut adalah manusia, hewan-ternak, angin, air, listrik dan motor bakar. Sampai sekarang yang paling banyak dipergunakan adalah tenaga manusia, hewan-ternak dan motor bakar, sedang tenaga angin, air dan listrik penggunaannya masih terbatas yaitu hanya pada pekerjaan-pekerjaan `stationary` saja. Sumber tenaga yang lain yang mempunyai prospek yang baik di masa depan adalah energi matahari (solar energy) dan tenaga atom yang sampai saat sekarang di Indonesia masih dalam tahap penelitian (Daywin, dkk., 1975).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi tulisan ini tanpa izin tertulis dari penerbit
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Secara garis besar, penggunaan sumber tenaga di bidang pertanian ini di bagi ke dalam tiga skala usaha, yaitu pertanian dalam skala usaha kecil, sedang dan besar. Penggunaan alat-alat atau mesin-mesin sebagai penunjang usaha pertanian seperti mesin-mesin modern yang menggunakan tenaga mekanis, yaitu motor bakar internal atau listrik, umumnya lebih sesuai untuk usaha pertanian skala besar dan sedang. Untuk usaha pertanian yang berskala kecil yang biasa dipergunakan oleh masyarakat petani di Indonesia, penggunaan mesin-mesin pertanian masih sering terhambat oleh adanya beberapa faktor, seperti faktor sosial ekonomi, keterampilan teknis, langkanya sarana penunjang dan lain-lain. Hambatan seperti itu biasanya banyak dijumpai di daerah-daerah pertanian yang letaknya jauh jauh dari kota dan sarana transportasi antara kota dan daerah tersebut masih jarang. Oleh karena itu mereka bertahan dengan peralatan dan cara-cara tradisional dengan menggunakan sumber tenaga biologis seperti tenaga hewan dan manusia (Kusen, 1983).

Peranan tenaga kerja sebagai sumber daya manusia adalah sangat penting. Agar tenaga kerja mampu bekerja dengan produktif, maka perlu pengerahan tenaga secara efektif dan efisien, dalam arti perlu adanya kecermatan penggunaan daya usaha, pikiran, dana dan waktu untuk mencapai sasaran.

Salah satu cara yang ditempuh untuk mencapai hal di atas adalah dengan menerapkan azas ergonomi, yaitu penerapan yang mengusahakan penyesuaian antara pekerjaan dan lingkungan terhadap orang atau sebaliknya. Hal ini bertujuan untuk mencapai produktivitas dan efisiensi kerja yang optimum melalui pemanfaatan azas ergonomi dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya, yaitu lamanya kerja, usia, jenis kelamin, suhu dan faktor lingkungan lainnya.

Pada hakekatnya kondisi produktivitas kerja yang optimal ini akan tercapai bila terdapat kesesuaian antara pekerja (operator) dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dalam batas tertentu manusia dituntut beradaptasi dengan lingkungan kerjanya, tetapi keterbatasan ini dapat diperluas dengan menyesuaikan kerjanya sedemikian rupa, sehingga tidak melampaui batas-batas kemampuan manusia dalam hal daya persepsi, daya mental dan daya fisiknya.

B. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mencari optimasi penggunaan tenaga manusia pada pekerjaan mengayuh sepeda yang berhubungan dengan kecepatan putar pedal (rpm), besarnya beban yang dikayuh (watt) dan perubahan suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$) pada saat melakukan pekerjaan.



II. TINJAUAN PUSTAKA

A. ERGONOMI

Pada prinsipnya, ergonomi merupakan bidang ilmu yang meninjau manusia dari aspek-aspek keteknikan dan sistem dalam hubungannya dengan fasilitas dan lingkungan tempat melakukan kegiatan kerja, dengan tujuan akan tercapai produktivitas dan efisiensi yang optimal melalui pemanfaatan sumber daya yang seoptimal mungkin. Ergonomi dapat pula diartikan sebagai penerapan ilmu-ilmu biologi tentang manusia bersama-sama dengan ilmu-ilmu teknik dan teknologi untuk mencapai penyesuaian manusia terhadap pekerjaannya, yang manfaatnya diukur dengan efisiensi dan kesejahteraan kerja (Suma'mur, 1988).

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *Ergon* yaitu kerja dan *Nomos* yang berarti peraturan atau hukum. Selanjutnya ilmu yang semula hanya terbatas pada studi gerak dan waktu, kemudian berkembang menjadi cabang ilmu tersendiri. Di Amerika dikenal dengan istilah *Human Factors Engineering*, di Perancis *L'Ergonomie*, di Jerman *Antropotechnik* dan di Jepang *Labour Science* (Murrell, 1965). Di Indonesia, ilmu tersebut baru berkembang beberapa tahun terakhir ini dan lebih populer dengan istilah *Ergonomi* (Suma'mur, 1988).

Ergonomi merupakan pertemuan dari berbagai bidang ilmu, seperti ilmu antropologi, biometrika, faal kerja, higiene perusahaan dan kesehatan kerja, perencanaan kerja, riset terpakai, dan cybernetika. Namun kekhususan utamanya adalah perencanaan dari cara bekerja yang baik meliputi tata kerja dan peralatannya (Suma`mur, 1988).

Program ergonomi meliputi penentuan problematik, analisa dan pemecahan masalah serta pembuktian efektivitas. Penentuan problematik dilakukan dengan melihat gejala-gejala yang terjadi, misalnya kelelahan, kejenuhan dan lain-lain. Kelelahan dapat ditunjukkan dengan besarnya kandungan asam laktat dalam darah. Lamanya waktu kerja yang diselingi dengan istirahat sangat erat hubungannya dengan kandungan asam laktat dalam darah (Passmore dan Robson, 1971).

Ergonomi dapat membantu dalam mengatasi masalah-masalah yang berkaitan antara keseimbangan beban melakukan kerja dan pengaruh-pengaruh yang timbul akibat melakukan kerja tersebut. Dalam hal ini diperlukan adanya kerjasama diantara peneliti dan teknisi, serta ahli tentang pemakaian alat-alat dengan pengukuran, pencatatan dan pengujiannya (Suma`mur, 1988). Rahardjani (1978) berpendapat bahwa dalam mencapai kondisi kerja yang tinggi ada beberapa norma-norma yang harus diperhatikan antara lain adalah :

1. Beban kerja yang diperkenankan.
2. Sikap tubuh dalam melakukan pekerjaan.
3. Macam kegiatan fisik dan masalah umum lainnya.

Dengan dalih ergonomi, kerja sehari-hari yang dilakukan oleh seseorang yang dapat bekerja selama 8 jam per hari dengan istirahat secukupnya, tanpa mengganggu kesehatan dan kesejahteraan asalkan beban pekerjaan tidak melebihi 30 persen energi maksimum yang dimiliki.

D. FAAL KERJA

Dalam melakukan kerja, tubuh manusia senantiasa mengadakan penyesuaian-penyesuaian dengan keadaan sekitarnya, yaitu dengan jalan meningkatkan sirkulasi darah, respirasi dan kecepatan penguapan (berkeringat), sehingga tercapai suatu keadaan seimbang dimana energi (tenaga yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan) sebanding dengan energi yang dihasilkan oleh metabolisme dalam tubuh dan kondisi seperti ini dinamakan kondisi aerobik. Pada tingkat kondisi ini darah mengandung oksigen dengan kadar yang boleh dikatakan jenuh, sehingga oksigen yang telah dikonsumsi oleh tubuh selanjutnya digunakan seluruhnya dalam proses metabolisme yang akan menghasilkan tenaga guna mengerjakan kegiatan tersebut (Passmore dan Robson, 1971).

Secara faal, kerja adalah hasil kerjasama dan koordinasi yang sebaik-baiknya dari indera (mata, telinga, peraba, perasa dan lain-lain), otak dan susunan syaraf pusat dan diperifer, serta otot-otot.

Otot adalah salah satu organ yang terpenting terutama untuk pekerjaan fisik. Otot bekerja dengan jalan kontraksi dan melemas. Kekuatan ditentukan oleh jumlah serat-serat otot, daya kontraksi dan cepatnya berkontraksi. Sebelum kontraksi (mengerut), darah diantara serat-serat otot atau di luar pembuluh-pembuluh ototnya terjepit, sehingga peredaran darah, dan pertukaran zat jadi terganggu, hal yang demikian menjadi sebab kelelahan otot. Maka dari itu, kerutan yang selalu diselingi pelepasan, disebut kontraksi dinamis, sangat tepat bagi bekerjanya otot-otot. Contoh pekerjaan-pekerjaan demikian misalnya mengayuh pedal sepeda, memutar roda, memukul lonceng, mencangkul dan lain-lain (Sastowinoto, 1985).

Kerja terus menerus dari suatu otot sekalipun bersifat dinamis, selalu diikuti dengan kelelahan, yang perlu istirahat untuk pemulihan. Atas dasar kenyataan itu, waktu istirahat dalam bekerja atau sesudah kerja sangat penting. Kelelahan otot secara fisik antara lain akibat zat-zat sisa metabolisme seperti asam laktat, CO_2 , dan sebagainya. Namun kelelahan, sesuai dengan mekanisme kerja, tidak saja ditentukan oleh keadaan otot

sendiri, melainkan terdapat komponen mental psikologis yang sering-sering juga besar pengaruhnya. Otot yang lelah akan menunjukkan kurangnya kekuatan daripadanya, bertambah panjangnya waktu laten kontraksi dan waktu melemas, berkurangnya koordinasi, serta otot gemetar (tremor) (Suma`mur, 1988).

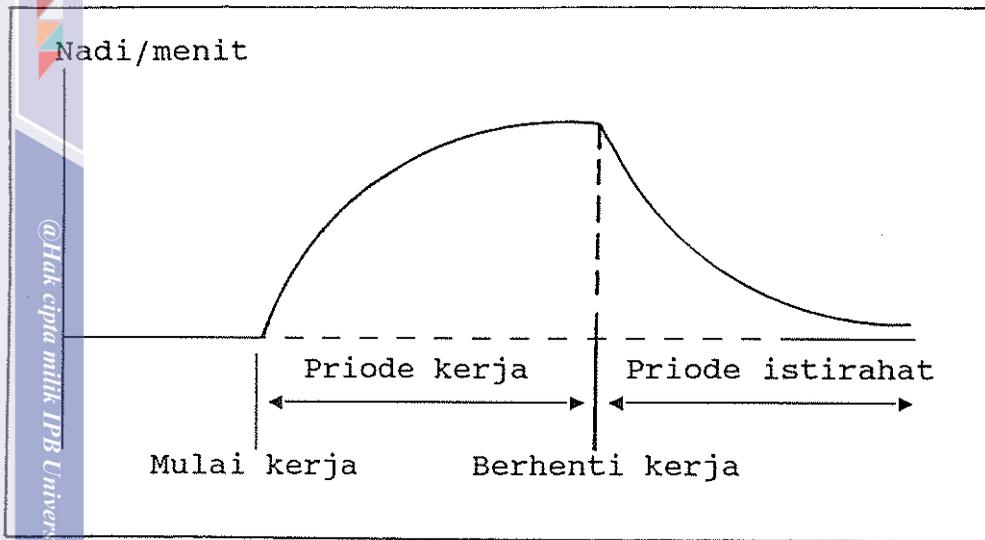
Otot dan tulang merupakan dua alat yang sangat penting dalam bekerja. Kerutan dan pelepasan otot dipindahkan kepada tulang menjadi gerakan-gerakan fleksi, abduksi, rotasi, supinasi dan lain-lain. Demikian pentingnya kedua alat ini sebagai suatu kesatuan, maka berkembanglah ilmu biomekanik, yaitu ilmu tentang gerakan otot dan tulang, yang dengan pengetrapannya diharapkan agar tenaga sekecil-kecilnya dapat dicapai hasil kerja sebesar-besarnya (Suma`mur, 1988). Bio-mekanika memberikan pengetahuan-pengetahuan tentang gerakan-gerakan tubuh dan bagian-bagian yang meliputi daya tahan, kecepatan dan ketelitian gerak (Mc. Cormick, 1970).

Tulang-tulang dalam tubuh dihubungkan dalam jaringan otot penggerak yang mempunyai kemampuan untuk berkontraksi, otot ini terdiri dari sekumpulan serabut otot dan terikat pada tulang yang berbeda di kedua ujungnya. Apabila otot tulang berkontraksi, seperti saat seseorang melakukan aktivitas kerja akan terjadi pergerakan tulang membentuk suatu gerak mekanis

(Sastrowinoto, 1985). Otot dan tulang merupakan faktor-faktor terpenting bagi ukuran-ukuran tubuh, ukuran tinggi dan besar dari tubuh ataupun bagian-bagiannya. Ukuran-ukuran ini menentukan pula kemampuan fisik tenaga kerja (Suma`mur, 1988).

Jantung merupakan alat yang sangat penting bagi pekerja. Alat tersebut memompakan darah ke otot-otot, sehingga zat yang diperlukan dan zat-zat sampah dapat diambil dari otot (Astrand dan Rodhal, 1977). Jantung bekerja diluar kemauan dan memiliki kemampuan-kemampuan secara khusus. Alat itu memompa darah arteri ke jaringan-jaringan, termasuk otot, dan darah vena ke paru-paru.

Satu denyut jantung merupakan satu volume denyutan (stroke volume) darah arteri. Dengan sejumlah denyutan tiap menitnya, maka jantung memompakan sejumlah darah arteri yang cukup untuk keperluan bekerja. Dengan kegiatan tubuh yang meningkat, jantung harus memompakan darah lebih banyak, berarti jumlah denyutan bertambah. Denyutan jantung dapat diukur dari denyutan nadi. Dengan bekerja, denyut nadi bertambah terus, sampai kemudian jumlah denyutan menetap sesuai dengan kebutuhan, dan setelah berhenti bekerja nadi berangsur kembali normal. Jantung dapat dikatakan baik, jika jantung sanggup meningkatkan denyutannya dan normal kembali sesudah kegiatan dihentikan (Suma`mur, 1988).



Gambar 1. Pola denyut jantung saat melakukan kerja dan istirahat (Suma'mur, 1988)

Jumlah denyutan jantung merupakan petunjuk besar kecilnya beban kerja. Pada pekerjaan sangat ringan denyut jantung adalah kurang dari 75 denyutan per menit, pekerjaan ringan diantara 75 - 100 denyutan per menit, agak berat 100 - 125 denyutan per menit, berat 125 - 150 denyutan per menit, sangat berat 150 - 175 denyutan per menit dan luar biasa berat lebih dari 175 denyutan per menit. Maksimum denyut nadi orang berusia antara 20-30 tahun adalah 200 per menit, sedangkan mereka yang berusia 40 tahun ke atas 170 per menit. Jantung yang sehat dalam 15 menit sesudah bekerja akan bekerja normal kembali seperti sebelumnya. Laju denyut jantung sangat dipengaruhi oleh perubahan cuaca kerja, keadaan reaksi psikis dan psikologis, dan lain-lain (Suma'mur, 1988).

Salah satu keperluan utama otot untuk pekerjaannya adalah zat asam, yang dibawa oleh darah arteri ke otot untuk pembakaran zat dan menghasilkan energi. Maka dari itu, jumlah O_2 yang dipergunakan oleh tubuh untuk bekerja merupakan salah satu petunjuk pula dari beban kerja. Sebagaimana diketahui, O_2 diambil oleh kapiler darah di dalam paru-paru, kemudian masuk kedalam darah balik dari paru-paru yang kaya akan zat asam. Maka keadaan dari paru-paru dan alat pernafasan akan berpengaruh pula kepada pengambilan O_2 ini oleh tubuh.

Untuk bekerja perlu energi hasil pembakaran. Semakin berat pekerjaan, semakin besar tenaga yang dibutuhkan. Dalam hubungan ini jumlah kalori merupakan juga petunjuk besarnya beban pekerjaan. Timbulnya panas dari tubuh sejalan dengan kenaikan suhu badan, terutama suhu rektal, dan usaha-usaha tubuh untuk mengeluarkan panas akibat metabolisme. Sebagai akibat terakhir ini, kecepatan penguapan lewat keringat juga merupakan indikator beban fisiologis dari badan. Namun indikator-indikator ini masih dipengaruhi pula oleh keadaan cuaca kerja (Suma`mur, 1988).

Beban kerja fisiologis dapat didekati dari banyaknya O_2 yang digunakan tubuh sebagai bahan bakar, jumlah kalori yang dibutuhkan, denyutan jantung, suhu netral dan kecepatan penguapan lewat berkeringat, semuanya dinyatakan dalam Tabel 1. di bawah ini (Mc. Cormick, 1970)

Beban kerja ini menentukan berapa lama seseorang dapat bekerja sesuai dengan kapasitas kerjanya. Makin besar beban, makin pendek waktu seseorang dapat bekerja tanpa kelelahan atau gangguan.

Tabel 1. Tingkat beban kerja menurut variabel faal*

Variabel Faal	B e b a n f a a l					
	sangat ringan	ringan	sedang	berat	sangat berat	luar biasa berat
Pemakaian O ₂ (l/menit)	0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5- 2.0	2.0- 2.5	2.5
Kalori/menit	2.5	2.5-5.0	5.0-7.5	7.5-10	10-12.5	12.5
Denyutan Jantung/menit		75 -100	100-125	125-150	150-175	175
Suhu rektal dalam °C			37.5-38	38-38.5	38.5-39.5	39
Kecepatan berkeringat ml/jam rata-rata untuk bekerja 8 jam per hari			200-400	400-600	600-800	800

* Mc. Cormick (1970)

Hati dan otot adalah tempat penimbunan bahan bakar (glikogen). Dalam keadaan otot kekurangan bahan bakar, penimbunan dari hati akan dimobilisir ke otot. Usus adalah tempat penyerapan dari bahan-bahan bakar ini.

Ginjal tidak kalah pentingnya, oleh karena merupakan alat pertukaran zat dari bahan-bahan terlarut.

Ginjal sangat baik terutama diperlukan pada pekerjaan dengan cuaca kerja panas. Selain faktor beban kerja dan peralatan di dalam tubuh, faktor waktu dan faktor-faktor lingkungan sangat berpengaruh pada faal kerja. Lamanya bekerja tergantung dari kemampuan seorang tenaga kerja, beban kerja dan lingkungan. Selain faktor-faktor di atas, faktor periodisitas yang berhubungan dengan irama-irama biologis berpengaruh terhadap faal kerja. Faktor periodisitas ini yaitu, perubahan-perubahan faal yang datang dan hilang secara bergantian (Sumamur, 1988).

C. PENGOPERASIAN ALAT KENDALI DENGAN KAKI

Berdasarkan pada kegunaan otot-otot manusia, pengoperasian alat kendali dapat dibagi kedalam pengendalian dengan menggunakan tangan dan dengan kaki. Secara mekanis perbedaan karakteristik dari ke duanya adalah : ukuran, kecepatan dan posisi kontrol, dan tenaga yang dibutuhkan (Akmadi, 1981).

Alat kendali yang dioperasikan dengan menggunakan kaki untuk waktu lama, dimaksudkan untuk menyalurkan tenaga. Alat kendali ini dibedakan oleh dua sistem kerja, yaitu sistem pedal yang berputar terus-menerus dan pedal yang bekerja bolak-balik. Sistem pedal yang bergerak bolak-balik dioperasikan oleh poros kaki dengan menggunakan telapak kaki untuk torsi ringan (lebih kecil dari 0.23 kg.m) dan seluruh kaki untuk torsi berat

(lebih besar dari 0.23 kg.m) (Murrel, 1965). Besar sudut yang dibuat oleh lutut untuk kebutuhan tenaga maksimum berkisar antara 130° - 150° (Damon, 1966).

Beberapa karakteristik dasar dari pedal yang berputar terus-menerus adalah panjang engkol pedal untuk orang dewasa berkisar antara 15 - 20 cm, sedangkan besarnya kecepatan putar yang nyaman adalah 50 - 60 rpm (Andersen, 1971). Kemampuan kaki untuk mengayuh pedal pada berbagai sudut yang dibuat oleh lutut pada keadaan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1. (Murrel, 1965).

Tabel 2. kemampuan kaki mengayuh pedal *

Sudut ($^{\circ}$)	Posisi duduk			Mengayuh seketika (maksimum)	
	Bersandar (nyaman)	Tanpa Bersandar		Tegang	Tanpa
		Tegang	Tanpa Tegang		
135	25	-	-	57.5	80
113	22.5	-	-	45.0	30
90	15	15	20	-	25

* Murrel (1965)
Satuan dalam kg

Untuk memutar pedal torsi yang digunakan dapat dirumuskan sebagai momen dari suatu gaya (hasil kali gaya dengan jari-jari). Sedangkan tenaga untuk mengerakkannya adalah interaksi dari kerja yang dihasilkan dalam satuan waktu tertentu (Bainer, 1955).

Dasar perhitungan tenaga untuk mengayuh dengan menggunakan dua kaki dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : (Kusen, 1983).

$$T = G \times v \times 2$$

$$V = 2 \pi r \times n/60$$

$$r = \frac{0.9a \times b}{(0.9a + 2b)}$$

$$n = \frac{1800}{\alpha}$$

$$T = \frac{G \times \pi \times 0.9a \times b \times 1800}{\alpha \times (0.9a + 2b) \times 60}$$

$$T = \frac{G \times \pi \times a \times b \times 54}{(0.9a \times 2b)}$$

keterangan

T = Tenaga mengayuh (watt)

v = Kecepatan linier (m/detik)

n = Jumlah putaran per menit

G = Gaya tekan satu kaki pada pedal (Newton)

a dan b = Data antropometrik pengayuh (m)

α = Jumlah sudut yang dibentuk oleh kaki pada saat mengayuh pedal

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

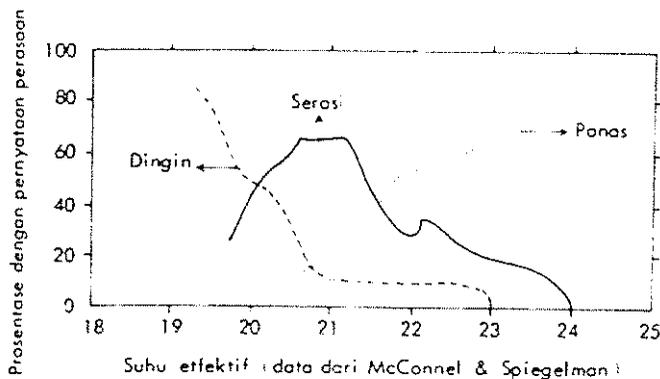
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

KONDISI LINGKUNGAN KERJA

Pada dasarnya suhu tubuh manusia adalah selalu hampir tetap. Suhu yang tetap ini adalah akibat adanya keseimbangan diantara panas yang dihasilkan di dalam tubuh sebagai akibat metabolisme dan pertukaran panas diantara tubuh dengan lingkungan sekitarnya. Produksi panas dalam tubuh tergantung dari kegiatan yang dilakukan oleh tubuh, makanan, pengaruh dari berbagai macam bahan kimiawi, dan gangguan pada sistem pengatur panas, misalnya pada keadaan sakit.

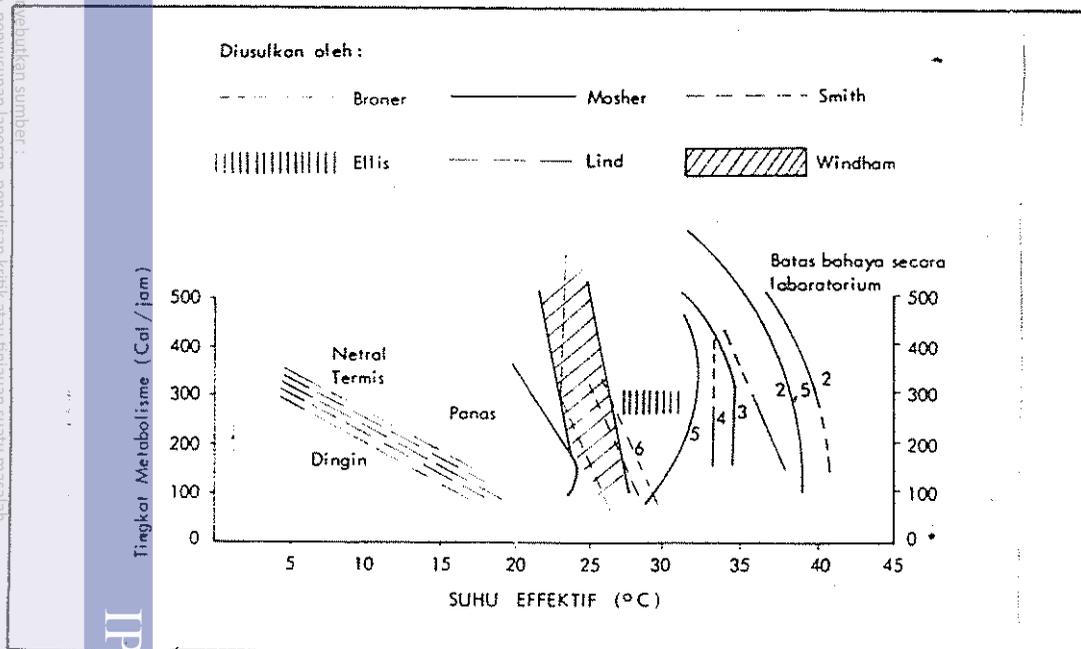


Gambar 2. Suhu efektif kerja (Mc Connel dan Spiegelman di dalam Suma'mur 1988)

Salah satu faktor fisik yang dapat menurunkan kapasitas kerja seseorang adalah cuaca kerja, menurut Suma'mur (1988) cuaca kerja adalah kombinasi dari suhu udara, kelembaban udara, kecepatan aliran udara dan suhu

radiasi. Demikian pula efek cuaca kerja terhadap daya kerja. Efisiensi kerja sangat dipengaruhi oleh cuaca kerja pada daerah efektif kerja, jadi tidak dingin dan tidak panas. Untuk menentukan suhu efektif dapat dilihat dari Gambar 2.

Suhu nyaman untuk kerja bagi orang Indonesia sekitar $24 - 26^{\circ}\text{C}$. Suhu dingin dapat mengurangi efisiensi dengan keluhan otot kaku. Sedangkan suhu panas akan mengakibatkan prestasi kerja pikir. Penurunan efisiensi kerja yang sangat besar akan tercapai pada suhu lebih besar dari 32°C . Suhu kerja yang tinggi akan mengurangi kelincahan, memperpanjang waktu reaksi dan waktu pengambilan keputusan, mengganggu kecermatan kerja otak, mengganggu koordinasi syaraf perasa dan motoris.



Gambar 3. Batas suhu yang diperbolehkan untuk melakukan kerja (Suma'mur 1988)

Batas suhu kerja yang diperbolehkan dapat dilihat pada Gambar 3. Suhu kerja erat hubungannya dengan tingkat metabolisme tubuh yang menghasilkan panas. Kerja pada suhu lingkungan yang tinggi dapat membahayakan karena harus disertai dengan penyesuaian waktu kerja dan perlindungan yang tepat.

1. Perubahan yang Dialami oleh Tubuh Saat Tubuh Mengadakan Penyesuaian Suhu

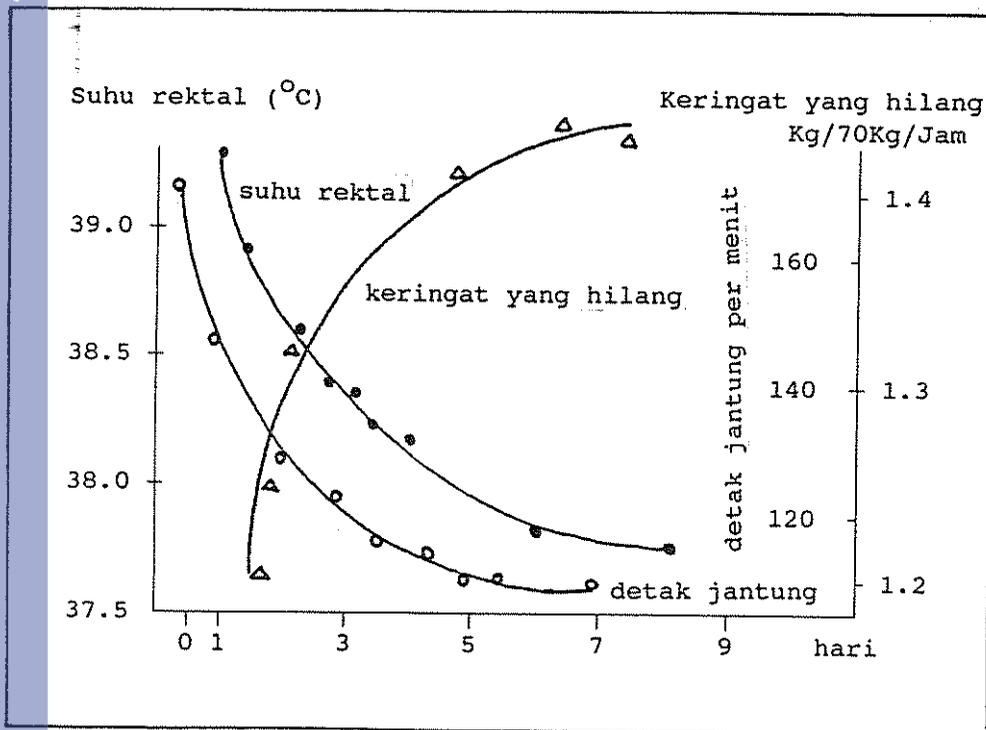
Jika seseorang pindah dari suatu keadaan suhu kerja ke keadaan suhu kerja yang lain, tentunya tubuh akan mengadakan penyesuaian-penyesuaian terhadap lingkungannya. Apabila seseorang itu pindah dari daerah yang optimum ke daerah yang dingin, maka tubuh akan selalu stabil, hal ini disebabkan karena darah yang beredar dipermukaan tubuh hanya sedikit dan sebaliknya apabila seseorang tersebut pindah dari daerah dingin ke daerah panas, maka untuk mencapai kesetimbangan tubuh, akan banyak darah yang beredar dipermukaan tubuh (Mc Cormick, 1987).

2. Penyesuaian Diri Terhadap Panas dan Dingin

Penyesuaian diri terhadap suasana lingkungan panas dan dingin terdiri dari serangkaian penyesuaian, seperti biasanya orang akan membuka baju apabila berada di tempat panas. Selama manusia mengadakan penyesuaian dengan keadaan yang baru,

tubuh akan selalu mengadakan metabolisme, tetapi hasil metabolisme ini sebagian besar akan digunakan untuk mengadakan penyesuaian.

Sebagai pembandingan, studi tentang sekelompok orang yang dipelajari dalam waktu 9 hari, selama 100 menit pada tingkat tenaga yang dikeluarkann 300 kkal per menit di tempat yang panas, dapat di lihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perubahan suhu rektal, detak jantung dan pengeluaran keringat selama 9 hari di tempat yang panas



KEBUTUHAN TENAGA

1. Sumber Energi

Karbohidrat dan lemak merupakan sumber utama bagi energi tubuh yang dipergunakan untuk melakukan kerja otot, sedangkan protein (hidrokarbon yang mengandung nitrogen) dipergunakan untuk memelihara jaringan. Sistem pencernaan memecahkan protein menjadi asam amino dan lemak menjadi asam lemak sedangkan karbohidrat menjadi gula (glukosa).

Kemudian semua ini disimpan di dalam hati (liver) dan otot dalam bentuk glikogen. Tetapi tidak semua glukosa diubah menjadi glikogen (sebagai cadangan untuk energi otot), ada sebagian glukosa yang langsung dipergunakan untuk disimpan di dalam darah sebagai gula darah. Asam lemak, sebelum dimanfaatkan terlebih dahulu disimpan di dalam jaringan, dan apabila diperlukan sedikit demi sedikit (melalui darah) dibawa ke hati untuk dipecah menjadi glikogen, sama seperti proses gula atau karbohidrat lainnya. Glikogen adalah sumber energi bagi kerja otot bila otot bekerja maka glikogen akan digunakan sebagai sumber energi kita (Sastrowinoto, 1985).

2. Kapasitas Tenaga

Pengeluaran tenaga seseorang dapat ditinjau dari dua segi, pertama pengeluaran tenaga total tubuh atau laju metabolisme dan kedua pengeluaran tenaga mekanis. Tenaga yang dapat dimanfaatkan sebagai tenaga mekanis disalurkan melalui kerja otot yang berasal dari makanan yang dimakannya dan oksigen melalui pernafasan. Jumlah bahan makanan ini dikonversikan ke bentuk kerja (Mc. Cormick, 1970). Kapasitas energi maksimum untuk seorang lelaki Eropa diperkirakan sebesar 2.0 hp, tetapi untuk kegiatan sepanjang hari besarnya tenaga yang dibutuhkan kira-kira 0.2 hp (Zander, 1973).

Dalam waktu singkat di bawah satu detik seseorang dapat membangkitkan tenaganya sebesar 4400 watt lebih (6hp). Jika seorang atlet melakukan latihan selama 10 - 15 detik maka atlet tersebut dapat mengeluarkan energi sebesar 1100 - 1470 watt (Krendel, 1958). Pengeluaran tenaga mekanis untuk jenis pekerjaan harian rata-rata berkisar antara 70 - 150 watt dan tergantung dari iklim dan lingkungan kerja serta kondisi tubuh orang yang melakukan kerja. Pada Tabel 3. dapat dilihat hubungan antara besarnya tenaga mekanis dan umur seseorang dalam melakukan suatu pekerjaan selama 4 - 480 menit dengan nilai efisiensi 20%.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 3. Umur dan tenaga kerja mekanis yang dihasilkan oleh seseorang a)

Umur	Tenaga kerja mekanis (t dalam menit)
20 tahun	$hp = 0.39 - 0.104 \log t$
35 tahun	$hp = 0.35 - 0.092 \log t$
60 tahun	$hp = 0.29 - 0.077 \log t$

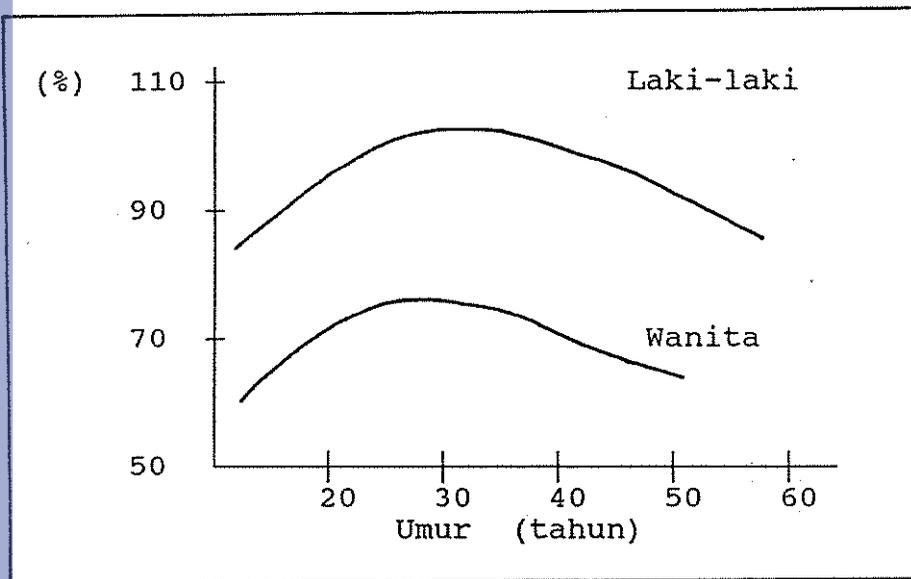
a) Krendel (1958)

Kemampuan seseorang untuk mengeluarkan tenaga mekanisnya tergantung pada lamanya melakukan kerja, usia, jenis kelamin, ukuran tubuh, bagian anggota tubuh yang digunakan, kesehatan dan lain-lain (Sumamur, 1988).

Mengenai penyaluran tenaga mekanis pada kondisi iklim dan umur tubuh orang di daerah tropis, beberapa ahli menetapkan sebesar 75 watt (0.1 hp) untuk pria dewasa dan 40 watt (60% tenaga pria) bagi wanita dewasa (Hopfen, 1969). Berdasarkan suatu hasil penelitian, rata-rata pengeluaran tenaga bagi orang Indonesia dewasa sebesar 2200 kkal/8 jam (312 watt) telah tergolong berat. Dengan asumsi efisiensi tenaga mekanisnya 20 %, berarti tenaga mekanis yang dapat dimanfaatkan hanya sebesar 64 watt (Djumadias dan Sunawang, 1970).

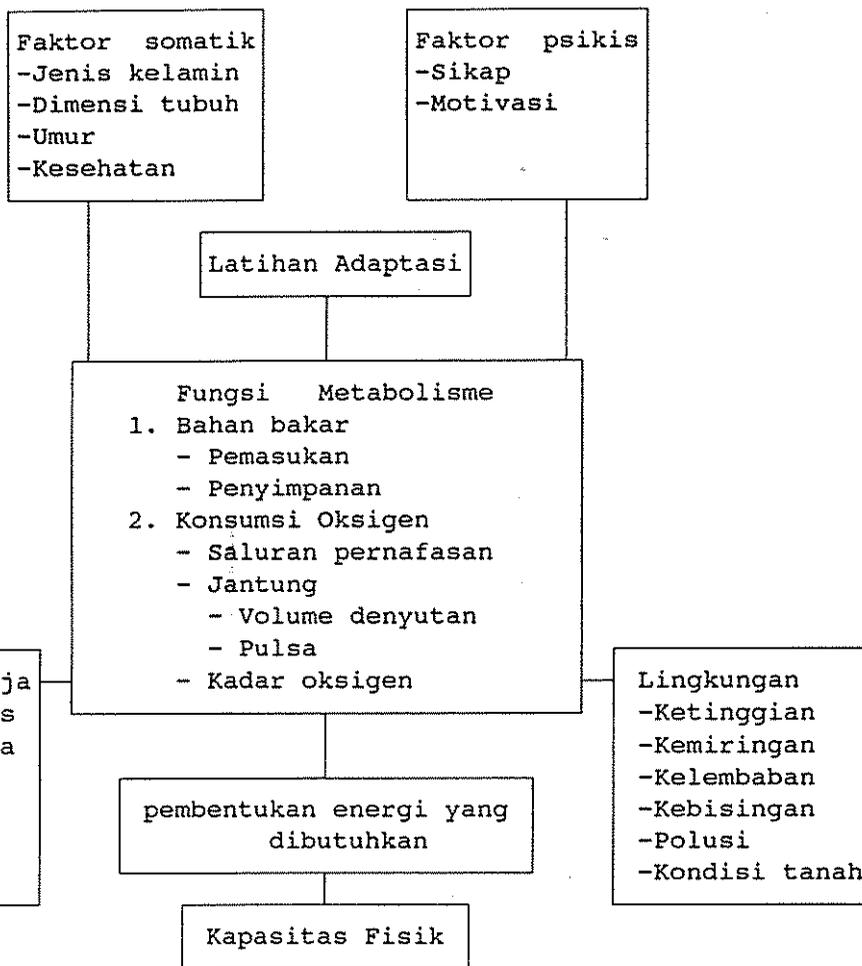
Berdasarkan pada hasil penelitian di Eropa, seorang buruh pria berumur 35 tahun yang setiap

harinya bekerja selama 8 jam, 48 jam seminggu, jumlah tenaga total tubuh yang dikeluarkannya sebesar 365 watt (0.49 hp), atau besar tenaga mekanisnya sekitar 0.1 hp. Buruh pria berumur 20 tahun dapat mencapai 15 % lebih tinggi dan yang berumur 60 tahun lebih rendah 25 % dari tenaga normal (Krendel, 1958).



Gambar 5. Hubungan antara kekuatan seorang laki-laki dan wanita pada berbagai tingkat umur (Passmore dan Robson, 1971)

Pada Gambar 6. dapat dilihat sejumlah faktor yang dapat mempengaruhi kapasitas kerja seseorang (Astrand dan Rodhal, 1977).



Gambar 6. Bagan faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas kerja

Tenaga mekanis seseorang yang disalurkan melalui tangan berbeda besarnya dengan yang melalui kaki, dan berbeda pula jika yang disalurkan secara kombinasi tangan dan kaki.

Tabel 4. Bagian anggota tubuh dan besar tenaga mekanisnya ^{a)}

Anggota tubuh	Tenaga mekanis (t dalam detik)
Tangan dan kaki	watt = $4.4 t^{-0.40} \times 746$
Kaki saja	watt = $2.8 t^{-0.40} \times 746$
Tangan saja	watt = $1.5 t^{-0.40} \times 746$

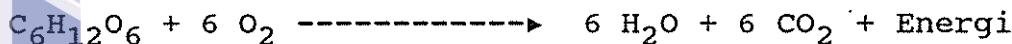
a) Krendel (1958)

3. Metabolisme

Proses metabolisme dalam tubuh adalah proses kimiawi, bahan makanan yang diubah menjadi energi mekanis menjelma jadi kerja yang dilakukan dalam otot dan kerja organ-organ dalam tubuh. (Mc. Cormick 1970).

Pengeluaran energi dapat dilakukan tanpa menggunakan oksigen (anaerobik) ataupun dengan menggunakan oksigen (aerobik). Singleton (1972) menyatakan bahwa proses anaerobik, yaitu cadangan energi dalam otot yang tersedia dan dapat langsung digunakan. Sedangkan pada proses aerobik terlihat kebutuhan utama otot adalah bahan bakar (karbondioksida) dan bahan pembakarnya (oksigen), yang melalui proses oksidasi akan diperoleh energi yang diperlukan guna melakukan aktivitas kerja.

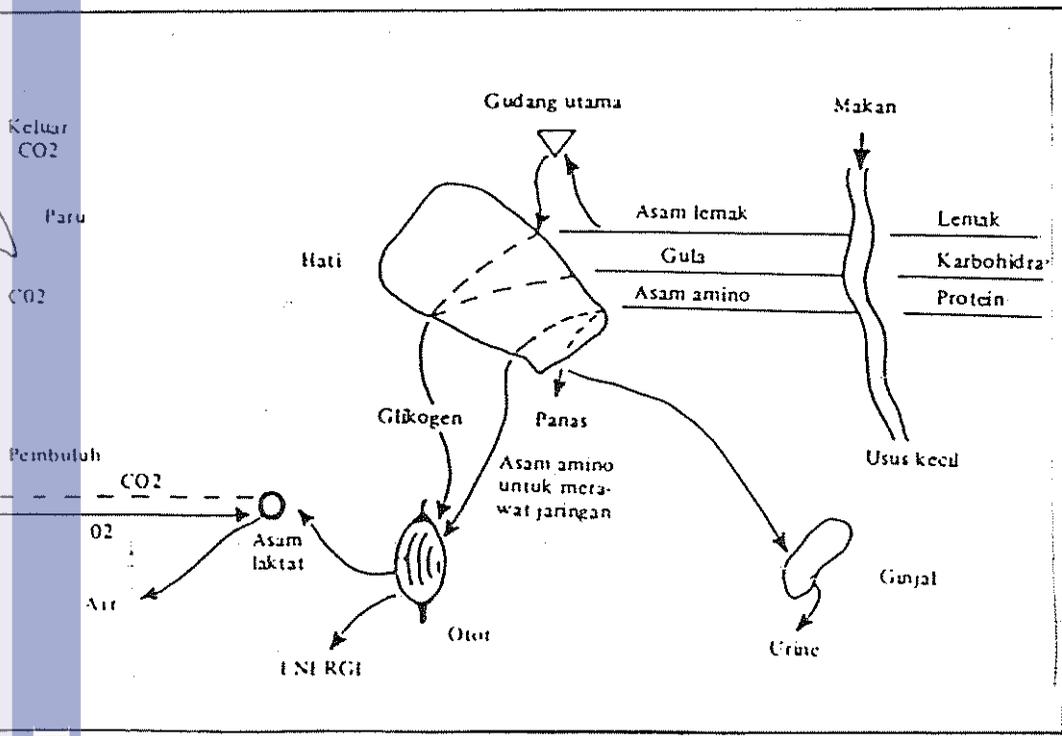
Passmore dan Robson (1971), menerangkan proses oksidasi dalam tubuh manusia sebagai berikut :



Dari reaksi tersebut dihasilkan energi (E) sebesar 0.77 kWh (663 kkal) setara dengan 6 kali 22.4 liter O₂ atau 134.4 liter O₂. Tiap liter O₂ per menit setara dengan tenaga 342 watt (4.93 kal per menit). Dengan mengetahui konsumsi oksigen pernafasan per menit, maka pengeluaran energi tubuh dapat dihitung. Energi yang dapat dimanfaatkan menjadi kerja mekanis hanya seperlimanya. (Kusen, 1983)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar I.P.B. University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin I.P.B. University.

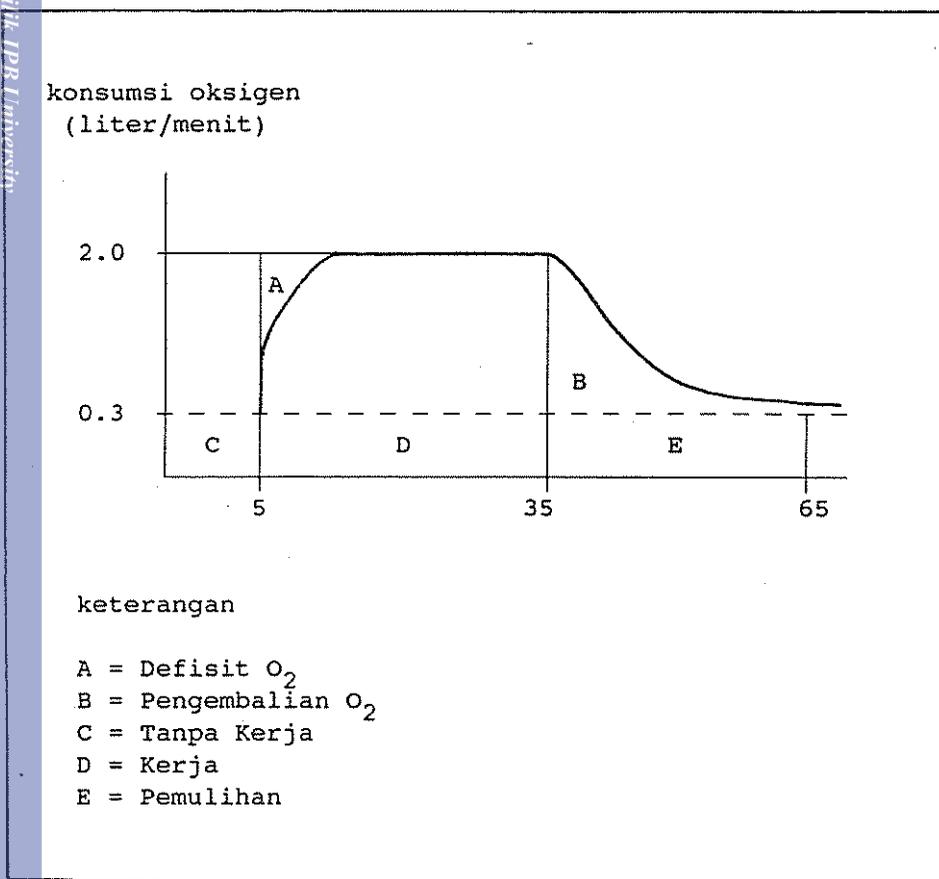
@Hak cipta milik I.P.B. University



Gambar 7. Skema metabolisme tubuh (Sastrowinoto, 1985)

Pengukuran Tenaga

Proses pengeluaran tenaga dengan sistem anaerobik berlangsung secara singkat sekitar 2 - 3 menit pada awal melakukan kerja (Astrand dan Rodhal, 1977).



Gambar 8. Pola konsumsi oksigen dalam sistem aerobik (Mc. Cormick, 1970)

Selanjutnya beralih pada sistem aerobik dan pada sistem ini tercapai keseimbangan antara besar tenaga yang dikeluarkan oleh tubuh dengan konsumsi oksigen pernafasan. Pada suatu level pengeluaran tenaga akan

membutuhkan oksigen yang tetap pula (Passmore dan Robson, 1971), seperti yang tertera pada Gambar 5.

Atas dasar prinsip metabolisme tersebut dapat dilakukan pengukuran tenaga tubuh atau laju metabolisme. Passmore dan Robson (1971), mengemukakan dua metode pengukuran energi tubuh manusia, yaitu pengukuran metode langsung dan tidak langsung. Kedua metode tersebut pada prinsipnya berdasarkan kepada beberapa parameter yang dapat diukur ketika berlangsungnya proses metabolisme pengeluaran tenaga seperti : pelepasan kalor tubuh, konsumsi oksigen pernafasan, denyut jantung, suhu tubuh, jumlah CO_2 pernafasan dan kadang-kadang dapat didekati dengan ritme pernafasan.

(1). Metode Pengukuran Langsung

Prinsip yang digunakan pada metode pengukuran ini berdasarkan atas azas kesetaraan antara panas dan energi (prinsip kalorimeter). Dalam metode ini digunakan suatu ruangan yang direncanakan secara khusus. Ruangan ini yang biasanya disebut kalori meter, mula-mula dipakai pada tahun 1800-an oleh Max Rubner untuk mengukur pengeluaran energi dari tubuh, di mana sebagai sample yang digunakan adalah seekor anjing.

Ruangan ini dilengkapi dengan fasilitas kerja, makanan dan lain-lain serta sampel yang sedang melakukan kegiatan, dan memungkinkan untuk mengukur panas yang dikeluarkan oleh sampel selama dilakukannya penelitian. Panas yang dikeluarkan akan diserap oleh air yang bersirkulasi dalam pipa disekeliling ruangan yang berisolasi tersebut. Kemudian total panas, jumlah konsumsi oksigen, jumlah H_2O dan CO_2 yang dihasilkan dikonversikan kembali sebagai energi yang dibutuhkan oleh sampel untuk melakukan aktivitas dalam ruang tersebut.

Pengukuran dengan metoda ini hanya dapat dilakukan di laboratorium untuk penelitian cermat, diantaranya untuk kebutuhan kalibrasi metoda pengukuran tidak langsung tetapi membutuhkan biaya yang besar dan menuntut ketelitian kerja yang tinggi.

(2). Metoda Pengukuran Tidak Langsung

Untuk mengatasi hambatan dalam metoda pengukuran energi secara langsung, terutama bila dilapangan maka diusahakan suatu cara (metoda) pengukuran yang memungkinkan pengukuran energi di lapangan, yaitu metoda pengukuran tidak langsung.



Dalam hal ini energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu aktivitas kerja yang dilakukan pada kondisi aerobik, dihitung dari jumlah oksigen udara hasil pernafasan. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menghitung denyut nadi. Dengan pengukuran denyut nadi ini akan diperoleh hubungan tidak mantap dengan pengeluaran energi, bagian otot yang digunakan dan lain-lain. Kadang-kadang cara pengukuran denyut nadi ini dikombinasikan dengan cara konsumsi oksigen agar diperoleh hasil pengukuran yang lebih tepat. Jika angka denyut nadi/menit cukup tinggi tetapi konsumsi oksigen rendah hal ini menunjukkan terjadi kelelahan otot.

Peningkatan suhu tubuh dapat dijadikan indikator perubahan naiknya suhu tubuh baru jelas pada kategori kerja berat dan sedang. Jadi penerapannya terbatas (Tabel 1).

Dalam penelitian ini digunakan kantung Douglas dengan kapasitas volume udara yang dapat ditampung sebanyak ± 150 liter. Kantung ini dilengkapi dengan masker dengan tiga cabang klep (three way Valves) yang tidak memungkinkan kebocoran dalam pengambilan udara respirasi dan mudah pemakaiannya.



Dengan kantung Douglas manusia melalui pipa (mouth piece) dan katup mengumpulkan udara pernafasannya ke dalam kantung selama waktu tertentu, dengan waktu pengukuran selama 2 - 3 menit. Selanjutnya dilakukan pengambilan contoh udara pernafasan dalam kantung Douglas yang dimasukkan ke dalam balon dengan kapasitas ± 2.5 liter untuk dianalisa kadar oksigennya.

Salah satu contoh penerapan kedua pengukuran tersebut diatas adalah pengukuran tenaga dengan Ergometer. Ergometer pada prinsipnya adalah suatu instrumen atau suatu mekanisme yang dapat diatur pemberian bebannya yang dianggap sebagai beban kerja. Salah satu jenis ergometer yang paling populer yaitu ergometer tipe sepeda. Tipe ini terdiri dari bermacam-macam jenis mulai dari yang sangat sederhana untuk keperluan olahraga dengan pengaturan beban secara mekanis, sampai pada jenis yang serba otomatis dengan perlengkapan instrumen elektronik untuk keperluan penelitian.

Dalam batas tertentu beban ergometer dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengukur efisiensi digunakan respirometer sehingga konsumsi oksigen dapat terukur yang berarti pengeluaran tenaga total tubuh juga terukur.

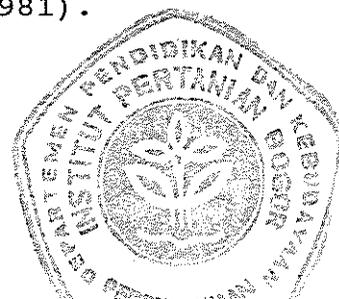


Kebutuhan Energi Basal

Walaupun dalam keadaan tanpa kegiatan otot, energi selalu diperlukan untuk pekerjaan organ-organ tubuh seperti alat-alat pernafasan, jantung dan lain lain, serta untuk mempertahankan suhu tubuh. Keadaan ini dinamakan keadaan metabolisme basal, yaitu keadaan dimana jumlah energi yang dipergunakan oleh tubuh dalam keadaan istirahat tidak tidur, dan suhu tubuh dalam lingkungan yang sesuai (Soedarmo, 1977).

Karvopich dan Sinning (1971) menyatakan bahwa suplai oksigen yang memadai sangatlah diperlukan untuk melakukan aktivitas kehidupan manusia. Dalam keadaan tidak bekerja tubuh manusia hanya memerlukan 200 - 300 cc O₂ per menit, dalam melakukan kegiatan kebutuhan energi meningkat lebih dari 20 kali. Energi yang dihasilkan dari pembakaran C₆H₁₂O₆ dengan O₂ pada jumlah sedikit disebut energi dasar dan hanya cukup digunakan untuk mempertahankan aktivitas dalam tubuh seperti bekerjanya enzim-enzim, aktivitas sel-sel dan sebagainya.

Metabolisme basal seseorang dalam keadaan sehat diperkirakan tetap, sehingga energi yang diperlukan untuk tiap meter persegi luas permukaan tubuhnya akan tetap pula. Makin besar tubuh seseorang, makin tinggi kebutuhan energi basalnya (Akmadi, 1981).



Secara empirik dan dengan perhitungan matematik, luas permukaan tubuh dapat dicari dengan mengukur tinggi dan berat badan dan rumus yang biasa dipakai di Jepang yaitu :

$$A = W^{0.444} \times H^{0.663} \times 88.3$$

Keterangan

A = Luas permukaan kulit tubuh (cm²)

W = Berat tubuh (kg)

H = Tinggi badan (cm)

Di Jepang telah dilakukan penelitian yang memperoleh hubungan antara luas permukaan kulit dan kebutuhan energi basal (Lampiran 1).

6. Laju Metabolisme Relatif (L.M.R)

Pada kondisi yang sama, tingkat beban kerja yang berdasarkan tingkat konsumsi oksigen dan jumlah energi yang dikeluarkan ditentukan oleh perbedaan ukuran tubuh antara satu orang dengan yang lainnya. Hal tersebut makin jelas terlihat apabila bangsa atau ras yang menjadi sample dalam penentuan standar beban kerja berbeda dengan yang menggunakannya. Pada tingkat pengeluaran energi yang sama bagi orang yang bertubuh besar mungkin masih tergolong pekerjaan yang ringan akan tetapi bagi orang yang bertubuh kecil merupakan pekerjaan yang melelahkan.



Untuk mengatasi hal tersebut di Jepang telah dikembangkan suatu metode yang dinamakan relative Metabolic rate (RMR) atau Laju Metabolisme Relatif (LMR). Cara ini merupakan pengukuran dan perhitungan yang dapat menggambarkan tingkat beban kerja suatu pekerjaan dengan lebih spesifik (Kobayashi, 1989).

L.M.R pada dasarnya adalah perbandingan antara selisih laju metabolisme kerja dan istirahat dengan laju metabolisme basal. Laju metabolisme basal mempunyai nilai yang berbeda untuk setiap orang dan ditentukan oleh ukuran tubuh yang bersangkutan. Dalam bentuk persamaan L.M.R dinyatakan sebagai berikut :

$$L.M.R = \frac{\text{Keb O}_2 \text{ kerja} - \text{Keb O}_2 \text{ istirahat}}{\text{Keb O}_2 \text{ basal}}$$

dimana :

Keb O₂ kerja = Kebutuhan O₂ saat bekerja (cc/menit)

Keb O₂ istirahat = Kebutuhan O₂ saat istirahat sebelum kerja (cc/menit)

Keb O₂ basal = Kebutuhan O₂ minimal yang diperlukan oleh manusia untuk hidup (cc/menit)

Pengukuran kebutuhan O₂ istirahat dilakukan pada kondisi lingkungan yang sama dengan kondisi kerja, diukur sesaat sebelum melakukan pekerjaan.

Nilai L.M.R yang diperoleh menunjukkan tingkat beban kerja dari pekerjaan yang dilakukan. Sumber dari 'Japan Association of Industrial Health' menetapkan klasifikasi beban kerja berdasarkan L.M.R.

Tabel 5. Klasifikasi beban kerja berdasarkan L.M.R a)

Nilai L.M.R	Klasifikasi Beban Kerja
L.M.R < 1] Kerja ringan
L.M.R < 2	
L.M.R < 3	
L.M.R < 4	Sedang
L.M.R < 5	Berat
L.M.R > 5	Sangat Berat

a) Japan Association of Industrial Health

7. Kelelahan dan Istirahat

Effendy dan Jasmainy (1983) menyatakan bahwa kelelahan adalah suatu pengertian pada saat melakukan aktivitas kerja fisik terjadi pembebanan terhadap peredaran darah, pernafasan, dan fungsi-fungsi otot yang dapat mengakibatkan penurunan produktivitas dan kekuatan otot tubuh.

Pada proses pembentukan energi tubuh akan terbentuk pula asam laktat ($C_3H_6O_3$) sebagai limbah metabolisme yang tertimbun pada jaringan otot dan darah (Fox dan Mathews, 1981). Manuaba (1971) menyatakan bahwa setelah kondisi yang optimum dalam mengerjakan beban (kondisi aerobik), tubuh masih mampu melakukan aktivitas walaupun pekerjaan yang

dilakukan sudah tidak efektif lagi dan jangka waktunya tidak lama. Hal ini disebabkan denyut jantung akan mempercepat sirkulasi darah sehingga peningkatan oksigen oleh darah menjadi kurang efektif.

Pada keadaan ini terjadi penurunan konsumsi oksigen, otot-otot yang berkontraksi statis tidak mendapat glukosa dan oksigen dari darah sehingga harus menggunakan cadangan-cadangan yang ada. Selain itu sisa-sisa metabolisme tidak dapat diangkut ke luar dan mengakibatkan terjadinya penimbunan. Karena itu otot yang berkonstraksi statis akan berakibat rasa nyeri dan otot akan menjadi lelah. hal ini mengakibatkan kerja otot statis tidak akan dapat berlangsung lama, sebaliknya kerja otot dinamis dengan irama tepat dapat lama berlangsung tanpa kelelahan otot.

Lama waktu istirahat tergantung dari lamanya melakukan kerja dan waktu kerja (pagi, siang, sore) dan besarnya beban kerja. Pada beban kerja yang berat diperlukan istirahat-istirahat yang pendek dan sering dilakukan dari pada melakukan kerja terus menerus dengan istirahat panjang (Suma'mur, 1967).

Lama waktu bekerja berhubungan dengan jumlah oksigen yang dikonsumsi. Untuk melakukan kerja berat selama 10 menit, Jumlah oksigen yang dikonsumsi dapat dilihat pada Gambar 9.

Untuk menentukan lamanya seorang tenaga kerja bekerja dalam suatu tingkat pengerahan tenaga, dipergunakan kenyataan, bahwa pengerahan tenaga maksimal dengan seluruh kapasitas aerobik dapat berlangsung hanya 4 menit, pengerahan tenaga dengan $1/3$ x kapasitas aerobik dapat berlangsung selama 480 menit, sedangkan lamanya pengerahan tenaga pada suatu tingkat dapat dicari dari suatu grafik garis linier yang menggambarkan hubungan diantara lamanya kerja dengan tingkat pengerahan tenaga yang dimaksud. Waktu pemulihan yang menunjukkan lamanya waktu diperlukan untuk istirahat dapat dihitung berdasarkan rumus di bawah ini (Suma`mur, 1988):

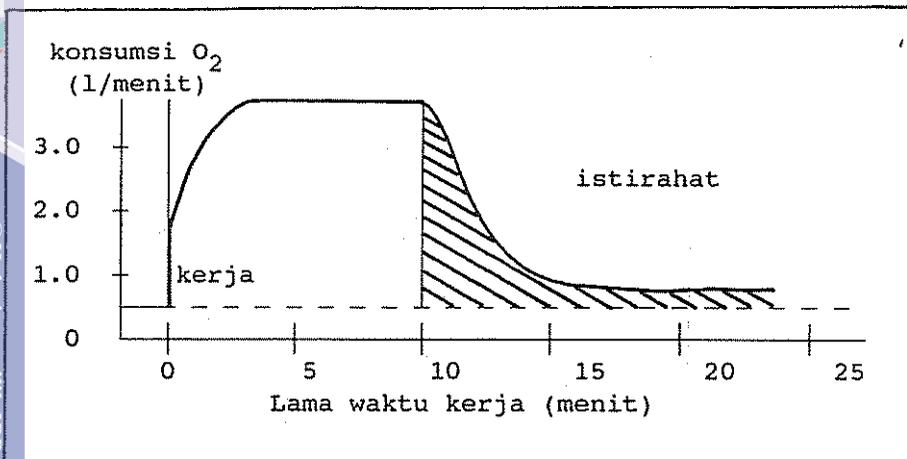
$$A = (B/4.2 - 1) \times W$$

dimana : A = Waktu istirahat

B = Rata-rata pengeluaran energi
(kal/menit)

W = Jumlah waktu kerja total

Dengan menggunakan rumus ini pada pengeluaran tenaga sebesar 4.2 kal/menit tidak memerlukan waktu pemulihan.



Gambar 9. Hubungan lamanya waktu bekerja dan banyaknya O_2 yang dikonsumsi (Selkurt, 1971)

4. EFISIENSI KERJA MEKANIS

Efisiensi tenaga mekanis dari seseorang adalah persentase perbandingan antara besarnya tenaga mekanis yang dapat disalurkan oleh otot dengan besar pengeluaran tenaga total tubuh ($T_{out} / T_{in} \times 100\%$) (Mc. Cormick, 1970)

Menurut Zander (1973), besarnya efisiensi tenaga mekanis berkisar antara 20 - 30 persen. Kemudian Mc. Cormick (1970) menyatakan bahwa perbandingan antara output dan input dari kerja manusia dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Kerja Mekanis}}{\text{Kerja Mekanis} + \text{Panas yang dihasilkan}}$$

Contoh yang ditunjukkan oleh Fox dan Mathews (1981) di dalam Kusen (1983) mengenai hubungan efisiensi dengan kecepatan menaiki tangga dapat dilihat pada Gambar 10.

Efisiensi tenaga mekanis seseorang dapat dipengaruhi oleh kecepatan melakukan gerak kerja. Suatu hasil penelitian menunjukkan efisiensi tertinggi untuk menaiki suatu tangga tercapai pada kecepatan 50 langkah per menit. Selain faktor melakukan kerja, efisiensi juga dipengaruhi oleh jenis pekerjaan yang dilakukan.

Tabel 6. Jenis kegiatan kerja dan efisiensinya*

Jenis Kegiatan	Efisiensi	
	Pria	Wanita
Berjalan horizontal	19.6 - 35.2	-
Berjalan vertikal	20.6 - 43.0	-
Berenang gaya bebas	2.9 - 7.4	2.7 - 9.4
Mendayung	13.0	-
Mendayung	-	17.0
Mendayung	10.0 - 20.0	-
Skating es	11.0	-
Mengayuh sepeda	24.4 - 34.0	-
Mengayuh sepeda	20.0 - 25.0	-

*Fox dan Mathews (1981) di dalam Kusen (1983).

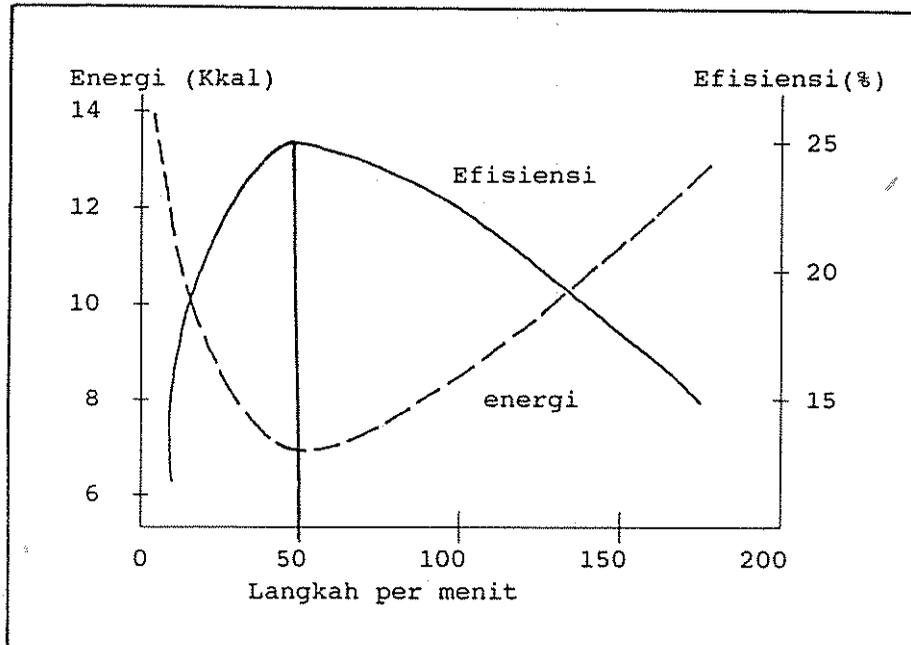
Pada berbagai aktivitas kerja terdapat banyak tenaga mekanis yang terbuang percuma. Hal ini disebabkan karena cara dan pemakaian peralatan kerja kurang

tepat, sikap tubuh kurang nyaman dan lain-lain (Mc. Cormick 1970). Sebagai contoh, Tabel 7. menunjukkan keluhan fisik selama kerja duduk.

Tabel 7. Ferkuensi keluhan fisik selama kerja duduk tetap*

Keluhan	Jumlah	%
1. Mengenai kepala	34	14
2. Mengenai tengkuk	59	24
3. Mengenai punggung	141	57
4. Mengenai lengan dan tangan	37	15
5. Mengenai lutut dan kaki	71	29
6. Mengenai paha	64	19
7. Mengenai pantat	40	16
9. Jumlah yang diselidiki	246	100

* sastrowinoto (1985)



Gambar 10. Pengaruh kecepatan menaiki tangga terhadap pengeluaran tenaga dan efisiensinya (Fox dan Mathews (1981) di dalam Kusen (1983)).



III. METODA PENELITIAN

A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

@Hak cipta milik IPB University

1. Waktu

Penelitian ini dilaksanakan selama 4 (empat) bulan mulai bulan Maret sampai Bulan Juni 1991 yang meliputi penelitian pendahuluan, pengambilan data dan pengolahan data.

2. Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di :

- (1). Laboratorium Ergonomika dan Elektronika Pertanian, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- (2). Bengkel Mekanisasi Pertanian, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- (3). Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- (4). Puncak Pass, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.



B. PERALATAN DAN PERLENGKAPAN PENELITIAN

1. Instrumen dan Alat Ukur

(1). Kantung Dauglas

Kantung Dauglas yang digunakan mempunyai kapasitas volume ± 150 liter yang berfungsi menampung udara ekspirasi dari seorang operator yang akan dianalisa konsumsi tenaganya. Alat ini dilengkapi dengan pipa penyalur pernafasan mulut, masker (mouth piece) serta klep pengatur yang dapat membuka dan menutup sehingga memungkinkan pengukuran dilakukan secara teliti. Alat ini dilengkapi dengan saluran pengambilan sample udara ekspirasi dan balon karet (volume ± 2.5 liter) untuk menampung sample udara tersebut.

(2). Gas Meter

Pengukur volume udara yang berbentuk tabung yang dilengkapi dengan dua buah pipa yang menghubungkan selang penyalur kantung Dauglas, sehingga dapat dicatat volume udara. Pada alat ini dengan bantuan termometer dapat diukur suhu udara ekspirasi. Alat ini mempunyai ketelitian sebesar 0.1 liter.

(3) . Barometer dan Termometer

Barometer digunakan untuk mengukur tekanan udara yang diperlukan untuk menghitung volume udara pernafasan pada kondisi standar, yaitu pada suhu 0°C, tekanan 760 mmHg. Sedangkan suhu udara ekspirasi diukur dengan menggunakan alat termometer udara.

(4) . Stopwatch

Stopwatch dipergunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan untuk pengambilan volume ekspirasi pada saat operator melakukan kerja sehingga konsumsi oksigen per menitnya dapat diketahui.

(5) . Breath Analyzer

Alat ini digunakan untuk mengukur kadar oksigen dan karbondioksida dari balon sample udara ekspirasi. Prinsip kerja alat ukur ini adalah dengan memanfaatkan adanya sifat penghantar panas yang berbeda pada bahan-bahan senyawa yang berbeda. Alat ini menggunakan platinum yang dipanaskan, dimana di salah satu sisi lainnya dialirkan gas standar. Dari perbedaan tingkat penghantar panas yang terjadi dapat diketahui konsentrasi gas yang diuji.



Dalam pengoperasiannya, alat ini dilengkapi dengan CaCl_2 yang berfungsi sebagai penyerap uap air dan *soda lime* untuk menyerap CO_2 . CaCl_2 dan CO_2 ditempatkan masing-masing dalam dua buah tabung yang berada disamping dari Breath Analyzer ini. Breath Analyzer yang dipakai adalah merk Fukuda Sangyo model B - 30.

(6) Timbangan dan Meteran

Diperlukan untuk menimbang berat dan mengukur tinggi badan operator.

(7) Ergometer Tipe Sepeda

Pada prinsipnya ergometer adalah suatu instrumen atau suatu mekanisme yang dapat diatur dalam pemberian bebannya yang dianggap sebagai beban kerja. Sistem pembebanan yang diterapkan pada alat ergometer tipe sepeda adalah penggunaan alat semacam rem yang dapat diatur berat ringannya mengayuh pedal dan dapat mempertahankan beban pada level yang tetap. Standar ukuran lengan pedal yang digunakan pada penelitian ini adalah 19 cm.



2. Objek atau Operator

Operator yang digunakan dalam penelitian ini adalah laki-laki yang berusia antara 20 - 30 tahun dalam keadaan sehat rohani dan jasmani dengan kebiasaan kerja mengayuh beca. Pada selang usia ini manusia mempunyai kekuatan maksimum (Astrand dan Rodhal, 1971).

Ukuran tubuh operator meliputi tinggi badan 150-165 cm dan berat badannya 50 - 60 kg. Jumlah operator yang digunakan 3 (tiga) orang. Untuk tenaga pengayuh ergometer (operator) digunakan penarik beca, hal ini didasarkan karena faktor kebiasaan kerja dapat mempengaruhi efisiensi.

C. METODA PENELITIAN

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk mempersiapkan segala sesuatu yang diperlukan dalam penelitian utama. Hal-hal yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- (1). Menentukan waktu penelitian untuk mendapatkan suhu yang diinginkan yaitu untuk suhu yang berkisar antara 22°C - 25°C , 26°C - 29°C dan 30°C - 33°C .

- (2). Uji coba awal penyesuaian antara operator dengan alat ergometer tipe sepeda dan alat ukur yang digunakan.
- (3). Menentukan faktor dan tingkat perlakuan serta kombinasi perlakuan yang akan diujikan.

2. Perlakuan

Dalam penelitian ini digunakan 3 perlakuan, yaitu perlakuan A, B dan C. Faktor A adalah besarnya pembebanan fisik yang meliputi 3 (tiga) taraf yaitu 50, 70, dan 90 watt; faktor B adalah merupakan faktor kecepatan putar pedal yaitu 30, 50, 70 rpm; sedangkan faktor C adalah kisaran besarnya suhu lingkungan kerja yang meliputi 3 (tiga) taraf yaitu $22^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$, $26^{\circ}\text{C}-29^{\circ}\text{C}$ dan $30^{\circ}\text{C}-33^{\circ}\text{C}$.

3. Rancangan Percobaan

Rancangan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah rancangan faktorial. Rancangan ini dipilih karena dalam penelitian ini terdapat beberapa kombinasi perlakuan dari tiga macam faktor percobaan dan diasumsikan bahwa semua kombinasi perlakuan dari ketiga faktor percobaan tersebut mempunyai peluang dan pengaruh yang sama. Oleh karena banyaknya faktor adalah tiga macam dengan masing-masing taraf percobaan 3(tiga), 3(tiga), dan 3(tiga) maka, rancangan percobaan ini dinamakan rancangan faktorial $3 \times 3 \times 3$.

Disain rancangan faktorial untuk percobaan ini memiliki model sebagai berikut :

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \Sigma_{ijkl}$$

dimana :

Y_{ijkl} = Efisiensi tenaga mekanis tubuh dalam kerja mengayuh sepeda dengan pembebanan ke-i, kecepatan putar pedal ke-j, kisaran suhu lingkungan ke-k, dan ulangan ke-l.

μ = Rata-rata umum

A_i = Pengaruh pembebanan ke-i

B_j = Pengaruh putaran pedal ke-j

C_k = Pengaruh kisaran suhu lingkungan ke-k

$(AB)_{ij}$ = Pengaruh interaksi antara pembebanan ke-i dengan putaran pedal ke-j

$(AC)_{ik}$ = Pengaruh interaksi antara pembebanan ke-i dengan kisaran suhu lingkungan ke-k

$(BC)_{jk}$ = Pengaruh interaksi antara putaran pedal ke-j dengan kisaran suhu lingkungan ke-k

$(ABC)_{ijk}$ = Pengaruh interaksi antara pembebanan ke-i, putaran pedal ke-j, dan kisaran suhu lingkungan ke-k

Σ_{ijkl} = Pengaruh acak dari perlakuan ke-i, j, dan k pada ulangan ke-l.

4. Pengukuran Kebutuhan Tenaga

Pengukuran kebutuhan tenaga dilakukan pada saat operator atau objek melakukan kerja (mengayuh ergometer tipe sepeda) dengan memperhatikan besarnya putaran pedal, pembebanan, dan kisaran suhu lingkungan.

Pengukuran volume ekspirasi pada kondisi istirahat dilakukan sesaat sebelum melakukan kerja (mengayuh ergometer tipe sepeda). Operator diukur pada posisi duduk (rileks), udara ekspirasi ditampung dalam kantung Douglas dan penampungan udara ekspirasi dilakukan selama 4 menit baik untuk volume ekspirasi istirahat maupun untuk volume ekspirasi kerja. Sebelum operator melakukan kerja terlebih dahulu dilakukan pemanasan untuk mencapai kondisi aerobik pada operator yang bersangkutan selama 3 - 4 menit.

Setelah udara ekspirasi tertampung dalam kantung Douglas, Volume udara dalam kantung Douglas tersebut diukur dengan menggunakan alat Gasmeter. Sebelumnya dilakukan pengambilan sample udara pada balon dengan volume ± 2.5 liter untuk diuji kadar O_2 dan CO_2 -nya.

Perhitungan menentukan kadar O_2 dan CO_2 dari balon sample dilakukan sesuai dengan petunjuk yang diberikan pada penggunaan alat Breath Analyzer Fukuda Sangyo B-30, yaitu tergantung pada kepekaan alat ukur konsentrasi (sensitifitas alat). Pada penelitian ini, pengukuran kadar CO_2 menggunakan sensitifitas 0.5 sedangkan pada pengukuran kadar O_2 sensitifitas yang digunakan adalah 1.0. Persamaan yang dipakai untuk mendapatkan kadar CO_2 dan O_2 adalah sebagai berikut :

$$\%CO_2 = \frac{0.057 \times \text{hasil pembacaan}}{(1 - 0.0045(t - 20))}$$

$$\%O_2 = \frac{(\text{hasil pembacaan} \times (-0.108) + 20.93)}{(1 - 0.00052(t - 20))} (1 - \%CO_2)$$

dimana :

t = suhu udara ekspirasi

Kadar O_2 yang diserap selain dikoreksi berdasarkan kadar CO_2 dan suhu lingkungan yang terukur, dikoreksi juga terhadap kadar N_2 sample dan udara, dimana persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\%N_2 \text{ sample} = \text{Kadar } N_2 \text{ di dalam balon sample}$$

$$= 100\% - (\%CO_2 + \%O_2)$$

$$\%N_2 \text{ bebas} = \text{Kadar } N_2 \text{ di udara}$$

$$= 100\% - (20.93\% + 0.03\%)$$

$$= 79.04\%$$

$$\%O_2 \text{ bebas koreksi} = 20.93\% \times \%N_2 \text{ sample}/79.034\%$$

$$\%O_2 \text{ dikonsumsi} = \%O_2 \text{ bebas koreksi} - \%O_2 \text{ sample}$$

$$\%CO_2 \text{ dihasilkan} = \%CO_2 \text{ sample} - \%CO_2 \text{ bebas}$$

Perhitungan Volume gas harus dilakukan pada keadaan standar (STPD), yaitu pada suhu 273K (0°C) dan tekanan udara 101.3 kPa. Faktor reduksi (f) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f = \frac{273 * (P - p_{H_2O})}{(273 + t) * 101.3}$$

dimana :

f = faktor reduksi pada tekanan standar

P = Tekanan udara hasil pengukuran (kPa)

p_{H_2O} = Tekanan parsial dari uap jenuh (kPa)

t = Suhu udara pernafasan (°C)

Perhitungan volume udara pernafasan pada kondisi standar dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{exSTPD} = V_{exATPS} * f$$

Dimana :

V_{exSTPD} = Volume pernafasan kondisi standar (l)

V_{exATPS} = Volume pernafasan hasil pengukuran (l)

Aliran udara udara pernafasan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut ;



$$V_{ex} = \frac{V_{ex}^{STPD}}{T}$$

Keterangan

V_{ex} = Aliran udara pernafasan (l/jam)

T = Lama waktu pengukuran (jam)

Jumlah oksigen yang dikonsumsi selama melakukan kerja dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$VO_2 = V_{ex} * \%O_2$ yang dikonsumsi

VO_2 = Volume oksigen yang dikonsumsi (l/jam)

RQ merupakan perbandingan natara persentase CO_2 dihasilkan dengan persentase O_2 yang dikonsumsi. RQ dipakai untuk mencari nilai energi yang dikonsumsi setiap liter penggunaan oksigen, Nilai energi tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2.

$$RQ = \frac{\%CO_2}{\%O_2}$$

Energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu pekerjaan dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$E = VO_2 * \text{nilai pembacaan pada Lampiran 2}$

E = Energi yang dibutuhkan (kkal/l)



Sebagai pembandingan untuk menghitung konversi volume sisa pernafasan ke volume STP dihitung berdasarkan pada rumus Boyle-Charles, yaitu sebagai berikut :

$$\frac{V_1 P_1}{T_1} = \frac{V_2 P_2}{T_2}$$

keterangan

- V_1 = Volume udara kondisi STP (liter)
 T_1 = Suhu udara pada 273 K
 P_1 = Tekanan udara pada 76 cmHg
 V_2 = Volume udara hasil pengukuran (liter)
 T_2 = Suhu mutlak (K) hasil pengukuran
 P_2 = Tekanan udara hasil pengukuran (cmHg)

Dan untuk pengukuran tenaga total tubuh atau laju metabolisme ialah kesetaraan antara konsumsi oksigen pernafasan dengan energi hasil reaksi oksidasi glukosa. Setiap liter oksigen per menit yang dibutuhkan setara dengan jumlah tenaga sebesar 342 watt (4.93 kkal/menit). Dengan menggunakan rumus Weir (Durnin dan Passmore, 1967 di dalam Kusen, 1983)

$$T = \frac{4.92 \times V}{100} \times (20.93 - \%O_2) \times 69.44$$

keterangan

T = Tenaga total tubuh (watt)

V = Volume udara sisa pernapasan (liter/menit)
pada keadaan STP

%O₂ = Kadar oksigen sisa pernafasan

Sedangkan nilai efisiensi didapat dari rumus berikut :

$$\pi = \frac{T_{out}}{T_{in}}$$

T_{in} = Besarnya tenaga total tubuh atau laju metabolisme pengayuh ergometer tipe sepeda selama melakukan kerja pada setiap kombinasi perlakuan (watt)

T_{out} = Besarnya beban yang diberikan pada setiap kombinasi perlakuan, yaitu 50, 70, dan 90 watt.

5. Analisa Waktu Istirahat dan Beban Kerja

a. Waktu istirahat, dihitung dengan menggunakan rumus Suma'mur (1987), yaitu sebagai berikut:

$$A = (B/4.2 - 1) \times W$$

Keterangan : A = Waktu istirahat

B = Rata-rata energi yang
dikeluarkan (kkal/menit)

W = Jumlah waktu kerja total



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENELITIAN PENDAHULUAN

Sebelum melakukan penelitian utama dilakukan terlebih dahulu penelitian pendahuluan, yaitu penentuan waktu yang tepat untuk memperoleh kisaran suhu lingkungan kerja yang diinginkan. Dari hasil observasi diperoleh bahwa waktu yang tepat untuk melakukan kerja pada suhu lingkungan 22°C - 25°C dan 26° - 29°C adalah pada jam 7.00 sampai 11.30, dan jam 15.30 - 17.30 untuk kisaran suhu 30°C - 33°C dan dilakukan di tempat yang ternaung. Dengan dalih ergonomi, bahwa pada kisaran waktu tersebut panas yang dihasilkan tidak hilang untuk mengatasi evaporasi, radiasi dan konveksi, di mana panas yang hilang akan tercapai, yaitu pada jam 12.00 sampai jam 14.30.

B. PENENTUAN KONDISI AEROBIK

Dalam penelitian ini, sebelum melakukan kerja operator terlebih dahulu melakukan pemanasan selama 3 - 4 menit, hal ini bertujuan untuk mencapai suatu keadaan yang seimbang antara energi yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu kegiatan dengan tingkat energi yang dikonsumsi. Keadaan seimbang ini dinamakan kondisi aerobik tubuh dalam melakukan kerja. Kondisi aerobik yang sebenarnya tercapai beberapa saat setelah tubuh

melakukan kerja pendahuluan (pemanasan) dan berlangsung secara singkat 2 - 3 menit (Astrand dan Rodhal, 1971).

Kerja yang dilakukan pada suatu kondisi aerobik dapat menunjukkan energi total yang dibutuhkan untuk melakukan kerja atau aktivitas. Pada tingkat aktivitas ini darah telah mengandung oksigen dalam kadar jenuh, sehingga oksigen yang dikonsumsi tubuh selanjutnya secara keseluruhan digunakan dalam proses oksidasi yang akan menghasilkan energi guna mengerjakan suatu kegiatan (Passmore dan Robson, 1971).

C. PENELITIAN UTAMA

1. Analisa Kebutuhan Tenaga

Dari hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa kecepatan putar pedal, pembebanan fisik dan suhu lingkungan kerja sangat berpengaruh nyata terhadap kebutuhan tenaga yang dikeluarkan oleh operator, kecuali interaksi antara kecepatan putar pedal dan suhu lingkungan kerja tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Namun secara keseluruhan kombinasi seluruh perlakuan menghasilkan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kebutuhan tenaga (Tabel 8).



Tabel 8. Analisa variansi kebutuhan tenaga

Variansi	db	JK	KT	F _{hit}	F _{tabel}	
					0.05	0.01
Perlakuan	26	45.767	1.760	8.102**	1.70	2.11
A	2	11.487	5.743	26.435**	3.15	4.98
B	2	6.222	3.111	14.319**	3.15	4.98
C	2	18.891	9.446	43.477**	3.15	4.98
AB	4	2.563	0.641	2.950**	2.53	3.65
AC	4	4.815	1.204	5.541**	2.53	3.65
BC	4	0.697	0.174	0.802	2.53	3.65
ABC	8	1.093	0.137	0.629	2.09	2.82
Error	54	11.732	0.217			
Total	80	57.499	0.719			

Keterangan

db = Derajat bebas

KT = Kuadrat tengah

JK = Jumlah kuadrat

A = Pengaruh tunggal dari pembebanan fisik

B = Pengaruh tunggal dari kecepatan mengayuh pedal

C = Pengaruh tunggal dari perubahan suhu lingkungan

AB = Pengaruh interaksi pembebanan fisik dan kecepatan mengayuh pedal

AC = Pengaruh interaksi pembebanan fisik dan perubahan suhu lingkungan kerja

BC = Pengaruh interaksi kecepatan mengayuh pedal dan perubahan suhu lingkungan kerja

ABC = Pengaruh interaksi pembebanan fisik, kecepatan mengayuh pedal dan perubahan suhu lingkungan

** = Berbeda sangat nyata

* = Berbeda nyata

Tabel 9. Hasil perhitungan nilai rata-rata kebutuhan tenaga

NO	PERLAKUAN			RATA-RATA KONSUMSI TENAGA		
	Kombinasi	Suhu Lingkungan Kerja (°C)	Beban (watt)	RPM	(kkal/mnt)	(watt)
	(a1b1c1)	(30-33)°C	50	30	6.371565	444.7457
	(a1b2c1)			50	5.482861	283.6533
	(a1b3c1)			70	7.068310	493.3009
	(a2b1c1)		70	30	5.420375	378.2923
	(a2b2c1)			50	5.355193	373.7432
	(a2b3c1)			70	6.398423	446.5448
	(a3b1c1)		90	30	6.225937	434.5131
	(a3b2c1)			50	6.073795	423.8950
	(a3b3c1)			70	7.738940	540.1068
	(a1b1c2)	(26-29)°C	50	30	5.591857	390.3020
	(a1b2c2)			50	5.306491	370.3442
	(a1b3c2)			70	7.015950	489.6487
	(a2b1c2)		70	30	5.030332	351.0755
	(a2b2c2)			50	4.871073	339.9560
	(a2b3c2)			70	6.029741	420.8537
	(a3b1c2)		90	30	5.628292	392.8029
	(a3b2c2)			50	5.538957	388.8945
	(a3b3c2)			70	7.190121	501.8043
	(a1b1c3)	(22-25)°C	50	30	5.297708	369.7310
	(a1b2c3)			50	4.950800	320.3953
	(a1b3c3)			70	5.338347	372.5672
	(a2b1c3)		70	30	5.304419	370.1978
	(a2b2c3)			50	5.052637	352.6273
	(a2b3c3)			70	5.605219	391.1924
	(a3b1c3)		90	30	5.925216	413.5252
	(a3b2c3)			50	5.210625	363.6533
	(a3b3c3)			70	5.579873	389.4235

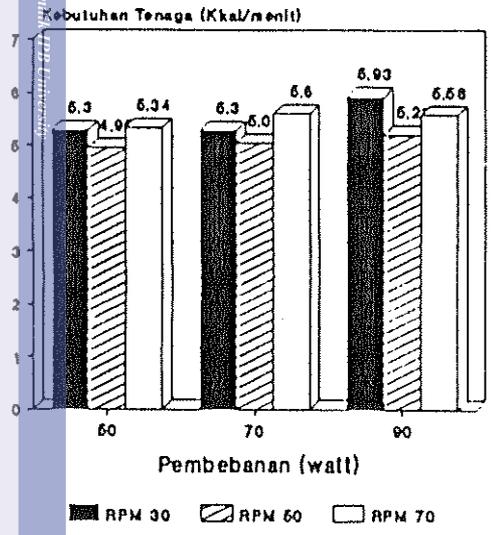


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan atau keperluan lainnya
 b. Pengutipan ini tidak mengikat dan bersifat non komersial yang wajar IPB University
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

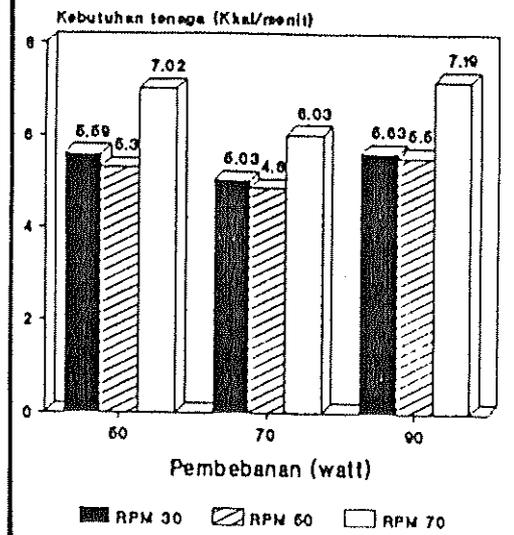


@Hak cipta milik IPB University

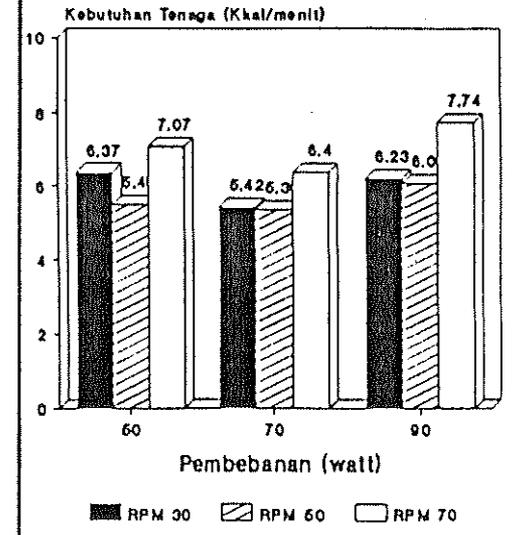
SUHU 22-25 °C KEBUTUHAN TENAGA



SUHU 26-29 °C KEBUTUHAN TENAGA



SUHU 30-33 °C KEBUTUHAN TENAGA



Gambar 11. Grafik pengaruh pembebanan fisik, kecepatan putar pedal dan perubahan suhu lingkungan kerja terhadap kebutuhan tenaga manusia.

Kebutuhan tenaga pada berbagai macam perlakuan adalah 5.7884 kkal/menit. Untuk nilai kebutuhan tenaga pada berbagai macam kombinasi perlakuan pembebanan fisik, kecepatan putar pedal dan kisaran suhu lingkungan kerja dapat dilihat pada Tabel 9. Kebutuhan tenaga yang paling besar dikeluarkan dapat dicapai pada kombinasi perlakuan a3b3c1 (pembebanan fisik 90 watt, kecepatan putar pedal 70 rpm dan kisaran suhu lingkungan kerja 30°C - 33°C), yaitu sebesar 7.7389 kkal/menit.

Menurut Mc. Cormick (1977) suhu udara sekitar (tempat kerja) sangat berpengaruh terhadap jumlah panas yang hilang atau bertambah karena adanya konveksi. Sementara itu Astrand dan Rodhal (1971) menyatakan konsumsi oksigen akan meningkat sesuai dengan meningkatnya beban yang harus ditanggung oleh seseorang. Peningkatan oksigen ini akan mencapai maksimum pada saat seseorang mengerjakan beban yang maksimum. Hal-hal inilah yang menyebabkan perlakuan a3b3c1 membutuhkan tenaga yang lebih besar dibanding kombinasi perlakuan lainnya.

Dari grafik pada Gambar 11. terlihat bahwa makin tinggi kisaran suhu lingkungan kerja, maka semakin besar jumlah tenaga yang dikeluarkan oleh operator pada pekerjaan yang sama. Menurut Astrand dan Rodhal (1977) suhu ideal untuk cuaca kerja kira-kira 28°C. Di bawah kondisi demikian rata-rata suhu kulit

seseorang kira-kira 33°C dan suhu bagian tubuh yang penting (otak, jantung, dan paru-paru) diperkirakan 37°C , sedangkan menurut Gagge *et al* (1941) keadaan yang optimum untuk melakukan kerja atau untuk istirahat adalah pada suhu lingkungan sekitar 25°C dan kelembaban udara sekitar 50 persen.

2. Analisa Efisiensi Tenaga Mekanis Tubuh

Dari analisa sidik ragam yang dilakukan terhadap efisiensi tenaga mekanis yang dihasilkan ternyata diperoleh bahwa perlakuan pembebanan fisik, kecepatan putar pedal dan suhu lingkungan kerja menghasilkan pengaruh yang sangat berbeda nyata. Sedangkan faktor interaksi-interaksinya tidak berbeda nyata terhadap efisiensi tenaga mekanis tubuh kecuali interaksi antara pembebanan dan suhu lingkungan (Tabel 10).

Dari Tabel 12. diperoleh rata-rata efisiensi sebesar 17.5205 persen, sedangkan efisiensi tertinggi dicapai pada kombinasi perlakuan a3b2c3 (pembebanan 90 watt, kecepatan putar pedal 50 rpm dan kisaran suhu 22°C - 25°C), yaitu sebesar 24.7626 persen. Menurut Zander (1973) efisiensi mekanis besarnya berkisar antara 20-30 persen, sedangkan menurut Fox dan Mathews (1981) kisaran efisiensi tenaga khusus untuk pekerjaan mengayuh sepeda adalah berkisar antara 20-25 persen.

Tabel 10. Analisa variansi efisiensi tenaga mekanis

Variansi	db	JK	KT	F_{hit}	F_{tabel}	
					0.05	0.01
Perlakuan	26	1374.801	52.877	25.226**	1.70	2.11
A	2	88.971	44.485	21.223**	3.15	4.98
B	2	1071.129	535.564	255.501**	3.15	4.98
C	2	143.158	71.579	34.148**	3.15	4.98
AB	4	19.342	4.835	2.307	2.53	3.65
AC	4	33.516	8.379	3.997**	2.53	3.65
BC	4	5.494	1.374	0.655	2.53	3.65
ABC	8	13.191	1.649	0.787	2.09	2.82
Error	54	113.191	2.096			
Total	80	1487.992	18.600			

Keterangan

db = Derajat bebas

KT = Kuadrat tengah

JK = Jumlah kuadrat

A = Pengaruh tunggal dari pembebanan fisik

B = Pengaruh tunggal dari kecepatan mengayuh pedal

C = Pengaruh tunggal dari perubahan suhu lingkungan

AB = Pengaruh interaksi pembebanan fisik dan kecepatan mengayuh pedal

AC = Pengaruh interaksi pembebanan fisik dan perubahan suhu lingkungan kerja

BC = Pengaruh interaksi kecepatan mengayuh pedal dan perubahan suhu lingkungan kerja

ABC = Pengaruh interaksi pembebanan fisik, kecepatan mengayuh pedal dan perubahan suhu lingkungan

** = Berbeda sangat nyata

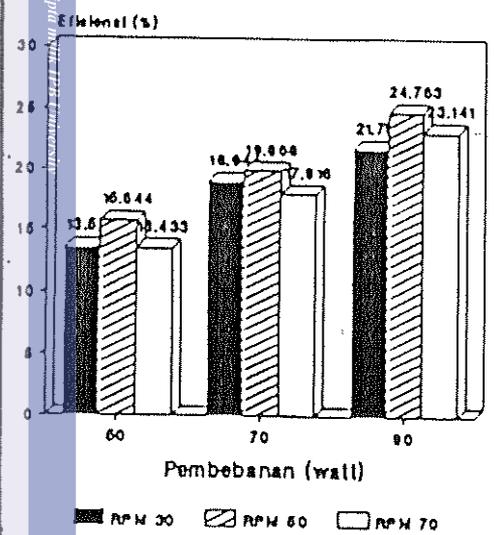
Tabel 11. Perhitungan nilai rata-rata efisiensi tenaga mekanis tubuh

NO	PERLAKUAN			EFISIENSI (%)	
	Kombinasi	Suhu Lingkungan Kerja (°C)	Beban RPM (watt)		
1	(a1b1c1)	(30-33)°C	50	30	11.3294
2	(a1b2c1)		50	50	13.0969
3	(a1b3c1)		50	70	10.1650
4	(a2b1c1)		70	30	18.5209
5	(a2b2c1)		70	50	18.7915
6	(a2b3c1)		70	70	14.9685
7	(a3b1c1)		90	30	20.7317
8	(a3b2c1)		90	50	21.3386
9	(a3b3c1)		90	70	16.7097
10	(a1b1c2)	(26-29)°C	50	30	12.8359
11	(a1b2c2)		50	50	13.5236
12	(a1b3c2)		50	70	10.2348
13	(a2b1c2)		70	30	19.9608
14	(a2b2c2)		70	50	20.7028
15	(a2b3c2)		70	70	17.2408
16	(a3b1c2)		90	30	23.0092
17	(a3b2c2)		90	50	23.8128
18	(a3b3c2)		90	70	17.9698
19	(a1b1c3)	(22-25)°C	50	30	13.5286
20	(a1b2c3)		50	50	15.6440
21	(a1b3c3)		50	70	13.4333
22	(a2b1c3)		70	30	18.9442
23	(a2b2c3)		70	50	19.8685
24	(a2b3c3)		70	70	17.9157
25	(a3b1c3)		90	30	21.7687
26	(a3b2c3)		90	50	24.7626
27	(a3b3c3)		90	70	23.1408

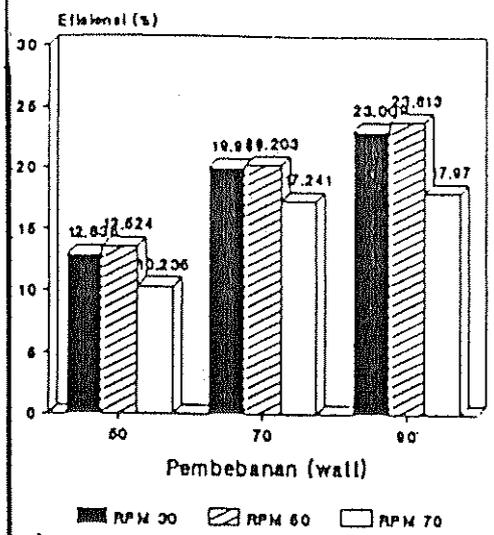


@Hak cipta oleh IPB University

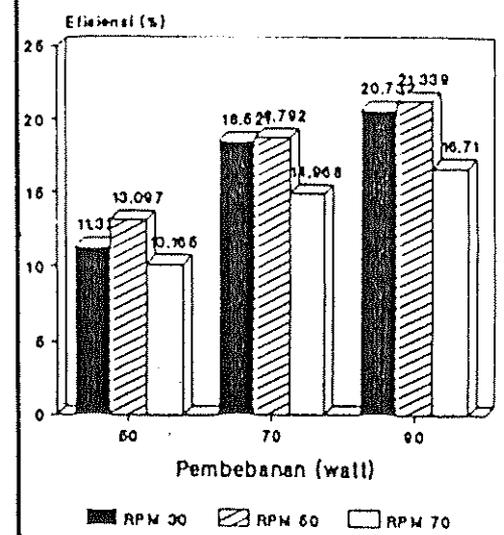
SUHU 22-25 oC EFISIENSI



SUHU 26-29 oC EFISIENSI



SUHU 30-33 oC EFISIENSI



Gambar 12. Grafik pengaruh pembebanan fisik, kecepatan putar pedal dan perubahan suhu lingkungan terhadap efisiensi tenaga manusia.

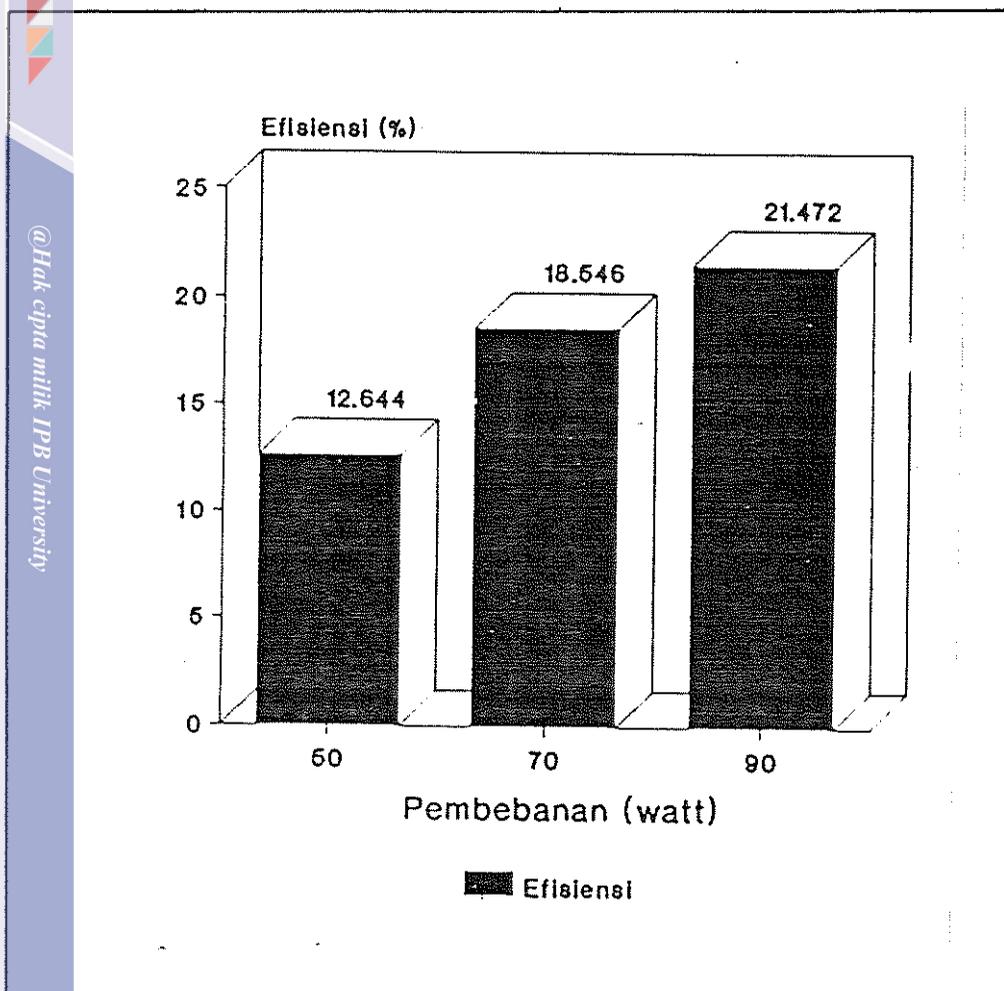
Efisiensi tenaga mekanis seseorang sangat dipengaruhi oleh kecepatan melakukan kerja atau kegiatan (Mc. Cormick, 1970). Selain itu efisiensi tenaga mekanis juga dipengaruhi oleh jenis pekerjaan yang dilakukan, suhu lingkungan saat melakukan kerja dan kebiasaan kerja.

Dilihat dari nilai rata-rata efisiensinya dapat diambil kesimpulan bahwa kecilnya nilai efisiensi mekanis ini disebabkan oleh cara dan pemakaian peralatan kerja yang kurang sempurna, pemborosan tenaga dalam menahan sikap kerja statik sikap tubuh, kurang nyaman dan lain-lain.

3. Pengaruh Pembebanan Fisik

Ada tiga taraf yang diteliti pada faktor ini, yaitu pembebanan fisik pada 50, 70 dan 90 watt. Beberapa ahli menduga, untuk kondisi tropis seseorang dapat menyalurkan tenaga mekanisnya antara 40 - 75 watt untuk kerja harian (6 - 8 jam per hari). Pemilihan beban yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan pada alasan di atas.

Dari uji statistik yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa pembebanan fisik berbeda sangat nyata terhadap efisiensi mekanis dan kebutuhan tenaga. Untuk melakukan kegiatan pada berbagai tingkat pembebanan fisik besar energi yang dibutuhkan dan efisiensi mekanis dapat dilihat pada Tabel 9 dan 11.



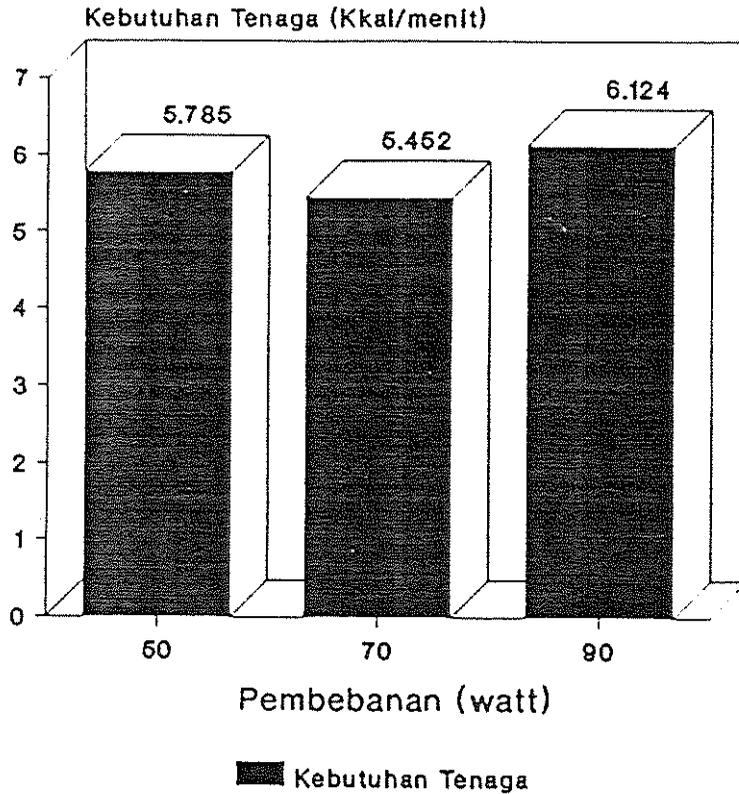
Gambar 13. Grafik pengaruh pembebanan fisik terhadap efisiensi mekanis

Dilihat dari grafik hubungan antara besarnya pembebanan mekanis yang diberikan terhadap efisiensi (Gambar 13), bahwa semakin besar beban yang diberikan, maka semakin besar pula efisiensi mekanis yang diperoleh. Efisiensi tertinggi dicapai pada pembebanan mekanis 90 watt. Dari hasil penelitian ini juga terlihat bahwa pada selang beban 50 - 70 watt terjadi kenaikan sebesar 46.68 persen, sedangkan pada selang 70 - 90 watt kenaikan efisiensinya adalah

sebesar 23.14 persen. Menurut Kusen (1983) efisiensi maksimal akan tercapai pada pembebanan fisik sekitar 120 watt, tetapi untuk jenis pekerjaan harian (6 - 8 jam per hari) disarankan pembebanan fisik tidak melebihi 45 watt, khususnya untuk kondisi Indonesia.

Kebutuhan tenaga mekanis tertinggi tercapai pada pembebanan 90 watt, yaitu sebesar 6.124 Kkal/menit. Dari Gambar 14. dapat dilihat bahwa pada selang pembebanan 50 - 70 watt terjadi penurunan kebutuhan tenaga sebesar 5.756 persen dan pada selang 70 - 90 watt terjadi kenaikan kebutuhan tenaga sebesar 11.616 persen.

Sesuai dengan salah satu dari tujuan ergonomi, yaitu mencapai produktivitas dan efisiensi yang setinggi-tingginya melalui pemanfaatan faktor manusia seoptimal mungkin, dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya (lamanya kerja, usia, jenis kelamin, suhu dan faktor lingkungan lainnya), maka pembebanan pada selang 50 - 70 watt dapat dinyatakan cukup ergonomis dibandingkan dengan selang beban 70 - 90 watt. Besarnya kebutuhan tenaga pada pembebanan fisik 50 - 90 watt digolongkan ke dalam kelompok pekerjaan sedang sampai sangat berat. Hal ini sesuai dengan patokan dari Djumadias dan Sunawang (1970).



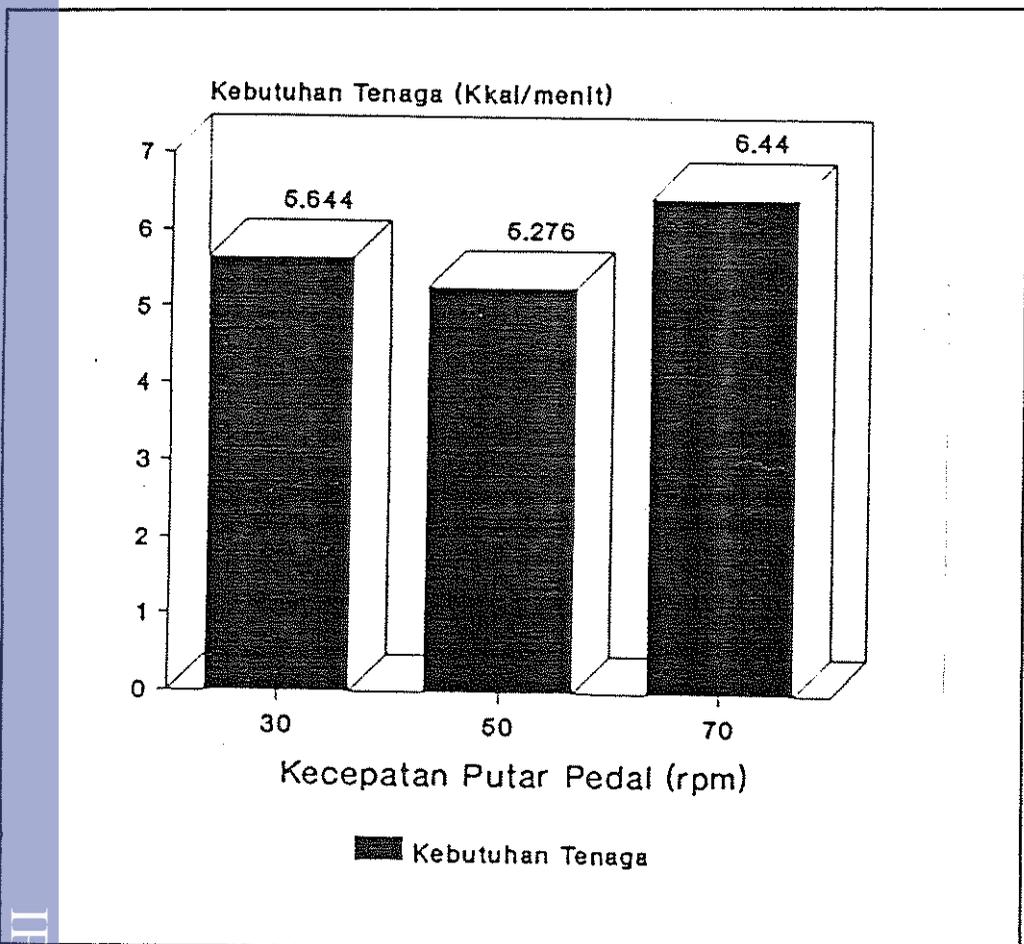
Gambar 14. Grafik pengaruh pembebanan fisik terhadap kebutuhan tenaga mekanis

4. Pengaruh Kecepatan putar Pedal

Dari hasil analisa sidik ragam (Tabel 8 dan 10), terbukti bahwa kebutuhan tenaga dan efisiensi sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar pedal (rpm) dengan perbedaan yang sangat nyata. Berdasarkan hasil percobaan pada selang rpm 30 - 50, terjadi penurunan kebutuhan tenaga sebesar 6.52 persen dan pada selang rpm 50 - 70, terjadi kenaikan kebutuhan tenaga sebesar 20.62 persen (Gambar 15). Berbeda halnya dengan pengaruh kecepatan putar terhadap efisiensi.

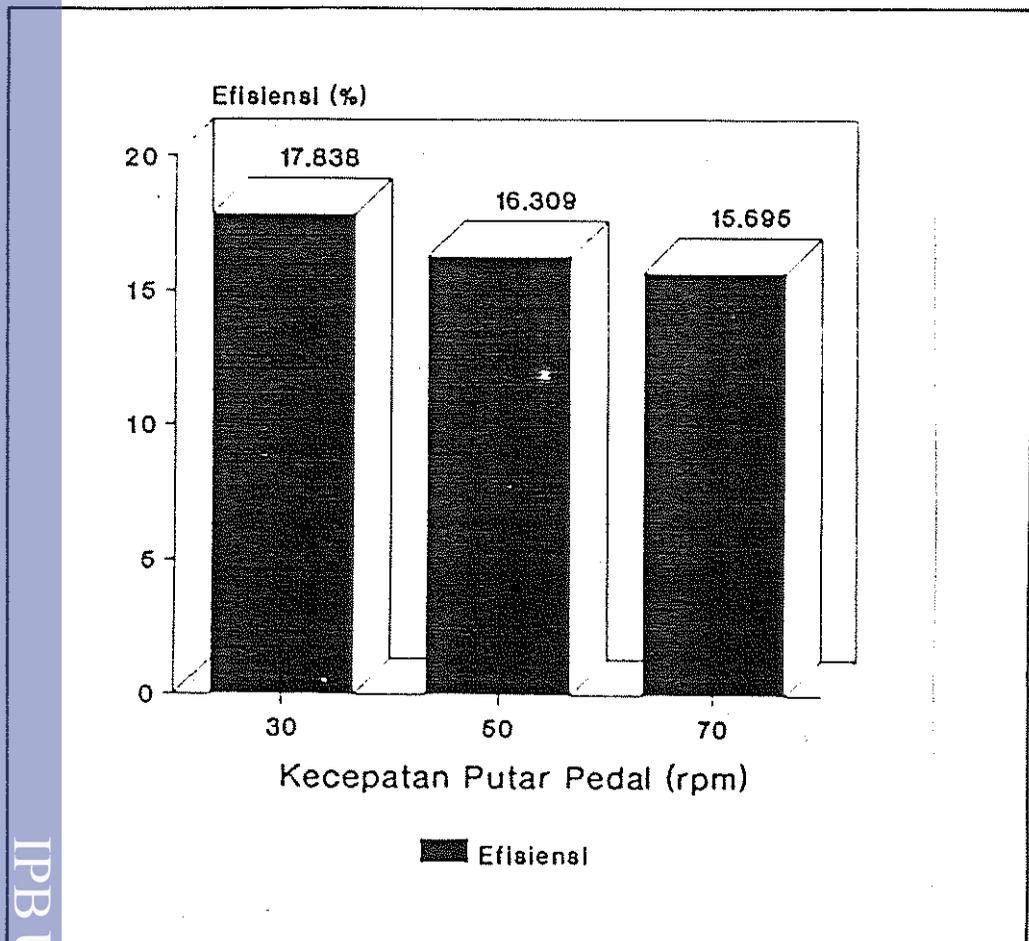
Pada selang rpm 30 - 50 terjadi penurunan efisiensi, yaitu sebesar 8.57 persen, dan pada selang rpm 50 - 70 terjadi penurunan efisiensi sebesar 3.44 persen (Gambar 16).

Menurut Kusen (1983), berdasarkan pada pendekatan teoritis kecepatan putar pedal tercapai pada rpm 33, selanjutnya atas dasar hal ini disimpulkan juga bahwa kemungkinan besar kecepatan rpm 33 merupakan puncak efisiensi optimal.



Gambar 15. Grafik pengaruh kecepatan putaran pedal terhadap kebutuhan tenaga.

Berdasarkan Fox dan Mathews (1981), efisiensi tenaga untuk berjalan menaiki tangga tercapai pada kecepatan 50 - 60 langkah per menit. Untuk mengayuh sepeda, pada setiap putaran pedal setara dengan 2 langkah berjalan kaki. Dengan kata lain, 50 - 60 langkah berjalan kaki setara dengan mengayuh sepeda 25 - 30 rpm (Kusen, 1983). Beberapa ahli menyarankan bahwa mengayuh pedal sepeda pada kecepatan 50 - 60 rpm adalah cukup baik (Andersen *et al*, 1971), bahkan sampai 150 rpm masih dianggap cukup efektif (Ghosh, 1977).



Gambar 16. Grafik pengaruh kecepatan putaran pedal terhadap efisiensi mekanis

Pengaruh Suhu Lingkungan Kerja

Keadaan lingkungan kerja yang diamati meliputi suhu lingkungan, tekanan udara dan kelembaban udara. Pengamatan yang dilakukan selama kerja adalah pengamatan pada waktu operator melakukan kerja pada kisaran suhu lingkungan kerja yang berbeda, yaitu 22 - 25 °C, 26 - 29 °C dan 30 - 33 °C.

Pada tempat kerja dengan suhu lingkungan kerja 30 - 33°C dengan kelembaban nisbi 53.2 persen, besarnya tenaga rata-rata yang dibutuhkan oleh operator untuk melakukan kerja mengayuh sepeda adalah 6.2373 Kkal/menit, untuk kisaran suhu 26 - 29 °C dengan kelembaban udara 68.6 persen adalah 5.8003 Kkal /menit dan untuk kisaran suhu lingkungan kerja 22 - 25 °C dengan kelembaban nisbi 78.3 persen adalah 5.3228 Kkal/menit.

Menurut Suma'mur (1980), ada beberapa faktor fisik yang dapat menurunkan kapasitas kerja seseorang antara lain adalah cuaca kerja. Cuaca kerja merupakan kombinasi dari suhu udara, kelembaban udara, kecepatan aliran udara dan suhu radiasi. Kombinasi dari keempat faktor tersebut apabila dihubungkan dengan produksi panas oleh tubuh manusia disebut sebagai tekanan panas yang akan mempengaruhi pengeluaran tenaga tubuh.

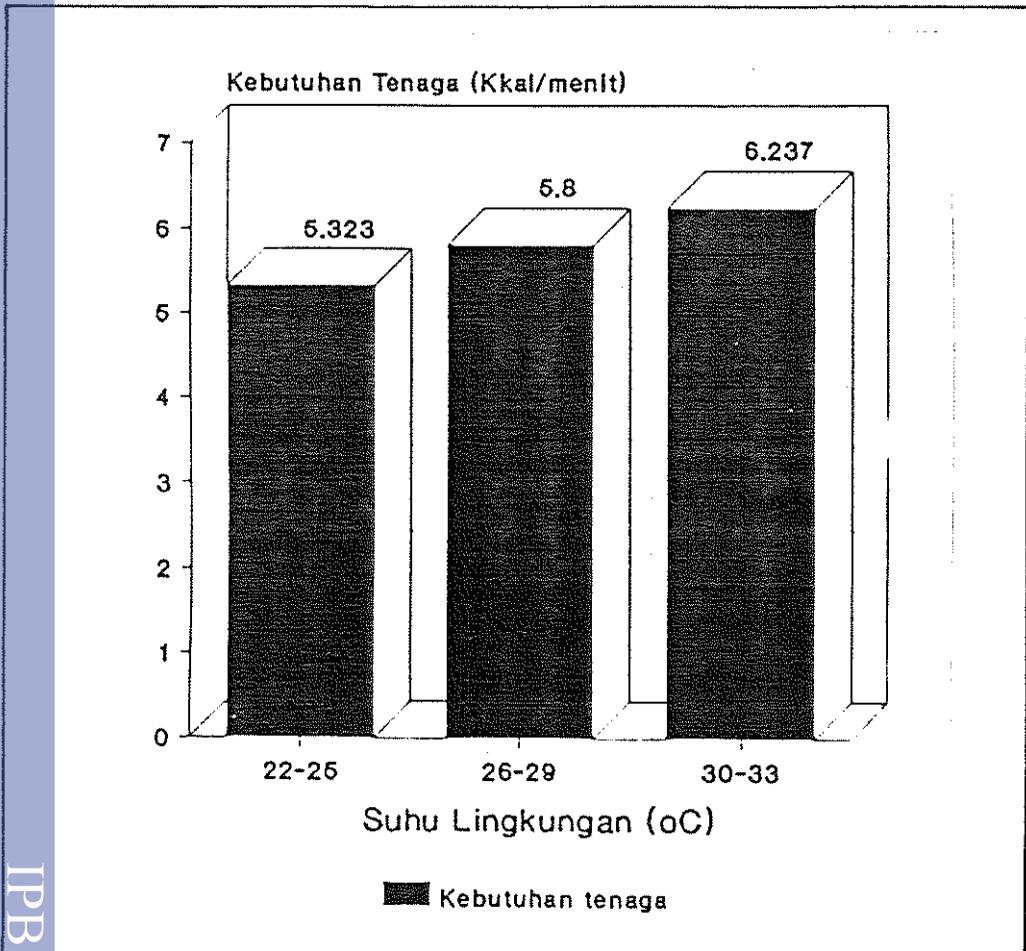
Dari analisa sidik ragam (Tabel 8 dan 10), suhu lingkungan kerja memberikan pengaruh sangat berbeda nyata terhadap efisiensi mekanis dan kebutuhan tenaga. Pada hakekatnya kondisi produktivitas kerja yang optimal tercapai bila terdapat kesesuaian antara pekerja (operator) dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya (Gambar 6). Dalam batas tertentu manusia dituntut untuk beradaptasi dengan lingkungan kerjanya.

Dari Gambar 17, terlihat bahwa semakin tinggi suhu lingkungan kerja akan diperoleh kebutuhan tenaga yang semakin besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mc. Cormick (1977), bahwa suhu udara sekitar tempat kerja sangat berpengaruh terhadap jumlah panas yang hilang. Tubuh manusia melepaskan sebagian dari panas badan kesekitarnya apabila suhu lingkungan lebih rendah dari pada suhu badan, besarnya panas yang dilepaskan atau diterima oleh tubuh tergantung dari besarnya perbedaan antara suhu badan dan suhu disekitarnya.

Pada suhu lingkungan yang lebih tinggi manusia akan banyak melepaskan panas untuk mengatasi suhu tubuhnya agar sesuai dengan suhu lingkungan. Panas yang hilang ini digunakan untuk mendinginkan kulit dan darah selama terjadi penyesuaian terhadap lingkungan kerja. Alasan inilah yang menyebabkan kebutuhan tenaga pada kisaran suhu lingkungan kerja

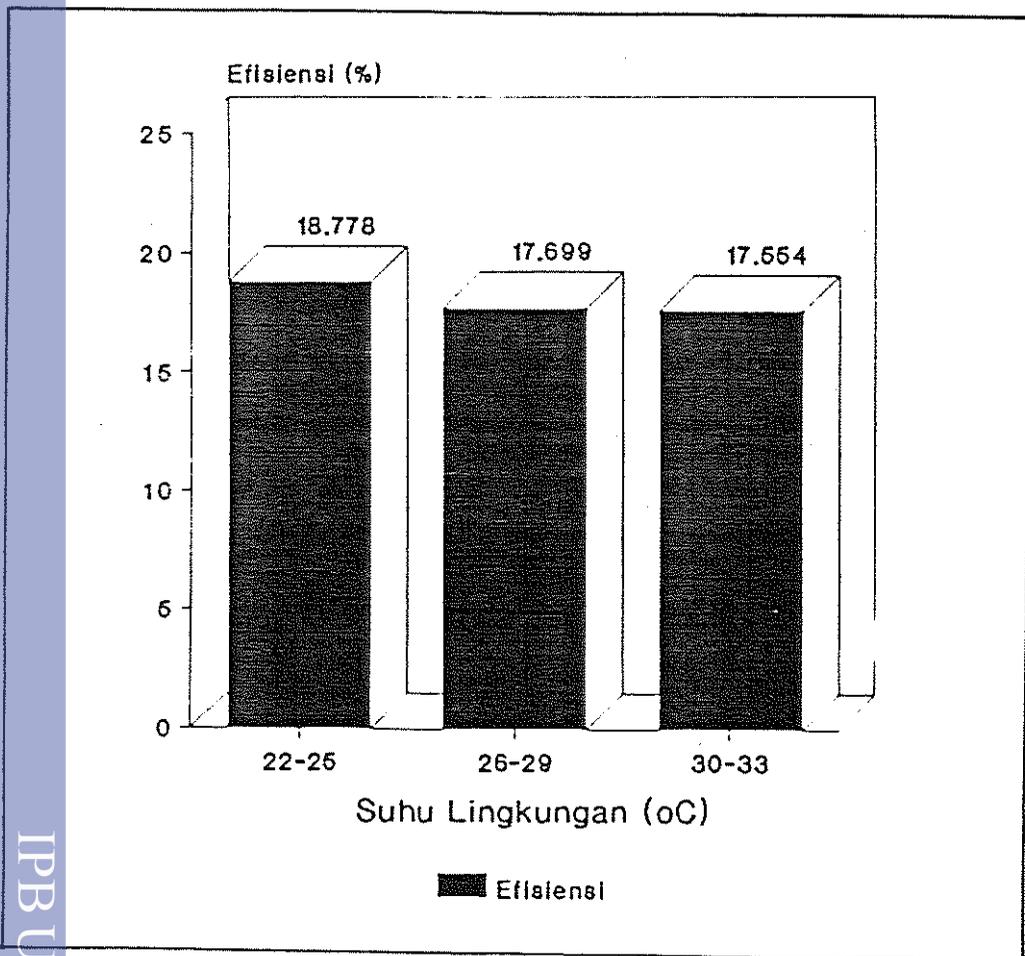
30°C - 33°C lebih tinggi dibanding dua faktor suhu lainnya yang lebih rendah.

Dari Gambar 18. efisiensi tertinggi dicapai pada kisaran suhu lingkungan kerja 22°C - 25°C, yaitu 18.87 persen. Dan terdapat kecenderungan semakin tinggi suhu lingkungan kerja maka efisiensi semakin menurun. Menurut Gagge *et al* (1941), keadaan optimum untuk melakukan kerja atau istirahat adalah keadaan dimana suhu lingkungan 25°C dan kelembaban udara sekitar 50 persen.



Gambar 17. Grafik pengaruh suhu lingkungan kerja terhadap kebutuhan tenaga mekanis

Keadaan lingkungan kerja dengan suhu yang tinggi dan disertai dengan kelembaban nisbi yang tinggi pula akan mengurangi kemampuan kerja fisik (Selkurt, 1971). Pada keadaan ini biasanya pekerja merasa haus dan lelah karena banyak keringat yang dikeluarkan. Disamping itu keadaan ini akan meningkatkan ketegangan fisiologis. Sedangkan pada suhu yang rendah biasanya pekerja akan merasa kedinginan dan dapat menimbulkan rasa kaku pada bagian-bagian anggota tubuh seperti pada jari-jari tangan.



Gambar 18. Grafik pengaruh suhu lingkungan kerja terhadap efisiensi mekanis tubuh

Suhu lingkungan dan kelembaban nisbi bersama-sama mempengaruhi laju berkeringat pada seseorang yang sedang bekerja. Untuk berkeringat tubuh memerlukan tenaga yang akan diubah menjadi panas sehingga tubuh dapat menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan tempat operator melakukan kerja. Menurut Siellen (1966) dalam Mc, Cormick (1977), manusia membutuhkan panas sebanyak 580 Kkal untuk berkeringat sebanyak 1 liter pada keadaan suhu kulit yang normal.

6. Pengaturan Waktu Istirahat dan Penentuan Tingkat Beban Kerja

Dari hasil perhitungan mengenai kebutuhan tenaga selama operator melakukan kerja mengayuh sepeda, dapat ditentukan lamanya operator untuk beristirahat. Lama total waktu istirahat bagi operator yang bekerja selama 4 menit dapat dilihat pada Tabel 12.

Kelelahan merupakan keadaan yang mengakibatkan pengurangan kapasitas kerja dan ketahanan tubuh. Kelelahan dapat diatasi dengan melakukan istirahat, istirahat sebagai usaha pemulihan dapat dilakukan dengan berhenti bekerja sewaktu-waktu atau dengan tidur. Menurut Effendy dan Jasmainy (1983), kelelahan merupakan suatu pengertian pada saat melakukan aktivitas kerja fisik terjadi pembebanan terhadap peredaran darah, pernafasan dan fungsi-fungsi otot yang dapat mengakibatkan penurunan produktivitas dan kekuatan otot tubuh.

Tingkat beban kerja dalam kerja mengayuh ergometer tipe sepeda pada penelitian ini mempunyai tingkat beban kerja yang berbeda. Penentuan tingkat beban kerja ini berdasarkan pada besarnya oksigen yang dikonsumsi selama melakukan kerja. Dari hasil perhitungan jumlah oksigen yang dikonsumsi dengan menggunakan metoda Laju Metabolisme Relatif (cara Jepang Di dalam Kobayashi, 1989), diperoleh bahwa kerja mengayuh sepeda termasuk dalam kerja berat sampai sangat berat, sedangkan penggolongan tingkat beban kerja yang berdasarkan pada penggunaan rumus Weir (durnin dan Passmore di dalam Kusen, 1983) termasuk dalam tingkat kerja ringan sampai berat.

Berdasarkan pada pendapat yang dikemukakan oleh Djumadias dan Sunawang (1970), bahwa patokan orang Indonesia untuk pengeluaran energi tubuh adalah sebesar 220 kkal/ 8 jam atau 4.56 kkal/menit atau 312 watt, dan digolongkan dalam tingkat kerja berat. Pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa nilai tersebut berada pada selang $4 < L.M.R < 5$, dan nilai pada selang ini menunjukkan tingkat kerja berat, sedangkan pada Tabel 1. nilai tersebut masuk dalam tingkat kerja ringan.

Sesuai dengan pendapat di atas maka dapat diambil kesimpulan bahwa perhitungan untuk menentukan tingkat beban kerja yang berdasar pada jumlah

oksigen yang dikonsumsi dengan menggunakan metoda L.M.R (cara Jepang) akan lebih teliti jika dibandingkan dengan menggunakan rumus Weir, hal ini disebabkan karena data hasil perhitungan yang diperoleh dari rumus Weir tidak akan memberikan suatu nilai tingkat beban kerja yang sebenarnya karena rumus Weir hanya berlaku untuk operator yang mempunyai dimensi tubuh yang sesuai dengan dimensi tubuh orang Eropa.

Data lain yang dapat menunjang dalam menentukan tingkat beban kerja adalah perubahan denyut jantung selama melakukan kerja, dengan bantuan Tabel 1. dapat diperoleh bahwa kerja yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan tingkat beban kerja dari sedang sampai berat. Tetapi penentuan tingkat beban kerja yang berdasarkan pada perubahan denyut jantung selama melakukan kerja akan memberikan suatu nilai tingkat kerja yang tidak teliti, disebabkan karena denyut jantung terlalu peka terhadap perubahan kerja yang dilakukan. Dan menurut Zander (1972) yaitu, bahwa laju denyut jantung yang tinggi tidak selalu diikuti konsumsi oksigen yang tinggi, hal ini biasanya terjadi karena adanya kelelahan pada otot.



Tabel 12. Klasifikasi tingkat kerja dan lamanya istirahat

No	Perlakuan	L.M.R	Klasifikasi beban kerja	Denyut Jantung (per menit)	Klasifikasi beban kerja	Lama Istirahat (Menit)	Boyle-Charles (kkal/menit)	Klasifikasi beban kerja
1	(a1b1c1)	5.99	Sangat Berat	133	Berat	3	6.550	Sedang
2	(a1b2c1)	4.72	Berat	111	Sedang	1	5.667	Sedang
3	(a1b3c1)	6.32	Sangat Berat	132	Berat	3	7.233	Sedang
4	(a2b1c1)	5.16	Sangat Berat	133	Berat	1	5.534	Sedang
5	(a2b2c1)	4.89	Berat	108	Sedang	1	5.478	Sedang
6	(a2b3c1)	5.82	Sangat Berat	131	Berat	2	6.632	Sedang
7	(a3b1c1)	5.38	Sangat Berat	128	Berat	2	6.358	Sedang
8	(a3b2c1)	5.28	Sangat Berat	128	Berat	2	6.195	Sedang
9	(a3b3c1)	7.53	Sangat Berat	137	Berat	4	7.885	berat
10	(a1b1c2)	-	-	121	Sedang	1	5.590	Sedang
11	(a1b2c2)	-	-	125	Berat	1	5.314	Sedang
12	(a1b3c2)	6.28	Sangat Berat	132	Berat	3	7.148	Sedang

1. Ditaring mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 2. Ditaring mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

(Lanjutan Tabel 12).

No	Perlakuan L.M.R	Klasifikasi beban kerja	Denyut Jantung (per menit)	Klasifikasi beban kerja	Lama Istirahat (Menit)	Boyle-Charles (kkal/menit)	Klasifikasi beban kerja	
13	(a2b1c2)	4.39	Berat	105	Sedang	1	5.068	Sedang
14	(a2b2c2)	3.94	Sedang	98	Ringan	1	4.929	Sedang
15	(a2b3c2)	5.67	Sangat Berat	130	Berat	2	6.104	Sedang
16	(a3b1c2)	4.94	Berat	112	Sedang	1	5.616	Sedang
17	(a3b2c2)	-	-	138	Berat	1	5.568	Sedang
18	(a3b3c2)	-	-	137	Berat	4	7.312	Sedang
19	(a1b1c3)	4.72	Berat	114	Sedang	1	5.030	Sedang
20	(a1b2c3)	4.17	Berat	99	Ringan	-	5.087	Sedang
21	(a1b3c3)	4.94	Berat	120	Sedang	1	5.718	Sedang
22	(a2b1c3)	4.72	Berat	108	Sedang	1	5.204	Sedang
23	(a2b2c3)	4.56	Berat	115	Sedang	1	5.090	Sedang
24	(a2b3c3)	5.16	Sangat Berat	131	Berat	1	5.727	Sedang
25	(a3b2c3)	5.33	Sangat Berat	134	Berat	1	5.835	Sedang
26	(a3b2c3)	4.62	Berat	117	Sedang	1	5.343	Sedang
27	(a3b3c3)	4.94	Berat	120	Sedang	1	5.676	Berat



V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Dari hasil statistik menunjukkan bahwa pembebanan fisik pada taraf 50, 70, dan 90 watt, kecepatan putar pedal pada taraf 30, 50, dan 70 rpm serta suhu lingkungan kerja pada taraf 22^oC - 25^oC, 26^oC - 29^oC dan 30^oC - 33^oC berbeda sangat nyata terhadap kebutuhan tenaga dan efisiensi mekanis yang dihasilkan.
2. Dari hasil percobaan efisiensi tertinggi dicapai pada kecepatan putar pedal 30 rpm yaitu 17.8 persen.
3. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi tertinggi tercapai pada pembebanan 90 watt yaitu sebesar 21.5 persen.
4. Dari analisa klasifikasi tingkat beban kerja, mengayuh ergometer tipe sepeda pada penelitian ini termasuk dalam tingkat beban kerja berat sampai sangat berat.
5. Rata-rata lama waktu istirahat yang diperlukan untuk kerja mengayuh sepeda yang membutuhkan tenaga rata-rata sebesar 5.79 kkal/menit dengan lama kerja 4 menit adalah 2 menit.

@Hak Cipta milik IPB University



Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan beberapa hal yang perlu dipertimbangkan,

yaitu :

1. Untuk mencapai efisiensi tenaga yang optimum hendaknya kecepatan putar pedal berkisar antara selang 30 - 50 rpm, sedangkan untuk pembebanan tidak melebihi kisaran 50 - 70 watt walaupun efisiensi maksimal tercapai pada pembebanan 120 watt.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui data energi basal untuk ukuran tubuh rata-rata orang Indonesia. Penelitian sebaiknya dilakukan di ruangan khusus yang memiliki perlengkapan pengatur suhu dan kelembaban lingkungan kerja.



DAFTAR PUSTAKA

- Akmadi. 1981. Mempelajari Kecepatan Putar Pedal dan Pembebanan Fisik Terhadap Pengerahan tenaga Manusia pada Dua Kelompok Kebiasaan Kerja. Fatemeta-IPB, Bogor.
- Andesen. K. L., et al. 1971. Fundamentals of Exercise Testing, WHO, Geneva.
- Astrand, R dan K. Rodhal. 1971. Textbook of Work Physiology. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- Damon A., 1966. The Human Body in Equipment Design. Cambridge, USA.
- Djumadias, A.N. dan Sunawang. 1970. The Recommended Dietary Allowances for Use in Indonesia. Gizi Indonesia II no. I
- Daywin, dkk. 1975. Alat dan Mesin budu Daya Pertanian. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta, IPB, Bogor.
- Effendy, H dan Jasmainy J. 1983. Fisiologis Pernafasan dan Pathofisiolognya. Penerbit Alumni, Bandung.
- Effendy, E. 1983. Studi Perbandingan Kebutuhan Energi Dua Tipe Cangkul pada Tanah Ladang Datar Dan Miring. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta, IPB, Bogor.
- Fox, Edward L. dan Donal K. M., 1981, The Physiological Basic of Physical Education and Athletics, Sounders College, Philadelphia.
- Ganong, W.F. 1982. Fisiologi Kedokteran Bagian I. Edisi 9. CV EGC Penerbit Buku Kedokteran, Jakarta.
- Guyton, A. C. 1981. Fisiologo Kedokteran Bagian I. Edisi 5. CV EGC Penerbit Buku Kedokteran, Jakarta.
- Herodian, S. dkk. 1991. Penuntun Praktikum Ergonomi. Fateta-IPB, Bogor.
- Hopfen, H.J. 1969. Farm Implement for Arid and Tropical Region. FAO, New York
- Karvovich, P. V. dan W. E. Sinning. 1971. Physiologi of Muscular Activity. W. B. Sounders Co. Philadhelpia.
- Krendel, E. S. 1958. Man and Animal Generator Power. di dalam Standard Handbook for Mechanical Engineers. McGraw-Hill Book Co., New York.

- Kurniadi, D. 1990. Mempelajari Pengaruh Berat Cangkul yang Berbeda Terhadap Pengeluaran Energi Tubuh, Kapasitas dan Efisiensi Kerja Pencangkulan. Skripsi Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta, IPB, Bogor.
- Kusen. 1983. Studi Transportasi Tenaga Manusia ke Tenaga Mekanis Melalui Sistem Transmisi Sepeda. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta, IPB, Bogor.
- KYO. Kobayashi. 1989. Ergonomics in Farm Work National Agriculture Research Centre Tokyo.
- Manuaba. 1978. Integrasi Ilmu Faal Kerja-Ergonomi Dalam Kebijakan Pembangunan. Makalah Khusus. Fakultas Kedokteran, UDANA, Den Pasar. Bali.
- . 1981. Ergonomi di Indonesia. Fakultas Kedokteran, UGM, Yogyakarta.
- McCormick, E. J. 1987. Human Factor in Engineering and Design. McGraw-Hill Chong Moh, Ltd., Singapore.
- Murrel, K.F.H. 1965. Ergonomics. Chapman and Hall, London.
- Niken. 1987. Mempelajari Efisiensi Transformasi Tenaga Manusia ke Tenaga Mekanis melalui Lengan Untuk Memutar Engkol. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta, IPB, Bogor.
- Numajiri, K. 1987. Pengukuran Energi dalam Kehidupan Sehari-hari. Institute of Labour Science Tokyo, Japan.
- Passmore, R dan J. S. Robson. 1971. A Companion to Medical Studies. Blackwell Scientific Publication, Oxford and Edinburg.
- Rahardjani, B. 1978. Peranan Faal Kerja Dalam Ergonomik. Lembaga Nasional Hygiene Perusahaan dan Kesejahteraan Kerja.
- Sarwono, E. 1990. Menentukan Kebutuhan Tenaga dan Kebisingan pada Unjuk Kerja Traktor Tangan Kubota K-75. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta-IPB, Bogor.
- . 1979. Norma-Norma Ergonomi di Tempat Kerja. Fakultas Kedokteran, UNDIP, Semarang.
- Sastrowinoto, S. 1985. Meningkatkan Produktivitas dengan Ergonomi. P.T. Pustaka Binaman Pressindo dan IPPM, Jakarta.

Selkurt, E.E. 1971. Physiology. Little Brown and Company. Boston.

Sigit, A. A. 1981. Mempelajari Kebutuhan Energi Manusia dalam Mengolah Tanah dengan Cangkul pada Kondisi Tanah Yang Berbeda. Departemen Mekanisasi Pertanian, Fatemeta, IPB, Bogor.

Singleton, W. T. 1972. Introduction to Ergonomics. WHO, Geneva.

Soedarmo dkk, 1977. Ilmu Gizi. Jakarta.

Soeripto. 1986. Ergonomi dan Produktivitas Kerja di dalam Hygiene Perusahaan, Kesehatan dan keselamatan Kerja 21 (4) dan 22 (1) : 29 - 32.

Soedirman. 1989. Penerapan Prinsip Prinsip ergonomika dalam Peralatan kerja. di dalam Hygiene Perusahaan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja. 21 (4) dan 22 (1) : 33 - 34.

Sudjana. 1980. Disain dan Analisis Eksperimen. Tarsito, Bandung.

Suma'mur. 1982. Ergonomi untuk Produktivitas Kerja. Yayasan Swabhama Karya, Jakarta.

_____. 1988. Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja. Gunung Agung, Jakarta.

Sutarman. 1985. The Role of Ergonomics in Indonesia's National Development di dalam Special Issue on Ergonomics. Indonesian Journal of Industrial Hygiene, Occupational Health and Safety.

Zander. J., 1972. Ergonomics in Machine Design. H. Veen Man and Zonon N.V., Wagenigen. Nederland.

Zander. J., 1973. Principles of Ergonomics, Agricultural University Wagenigen.



@Hak cipta milik IPB University

LAMPIRAN

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

lampiran 1. Kebutuhan oksigen pada kondisi basal hasil penelitian di Jepang berdasarkan luas permukaan kulit

Luas Per- mukaan Kulit m ²	Laki - Laki									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(1/100)									
1.0	125	126	128	129	130	131	133	134	135	136
1.1	138	139	140	141	143	144	145	146	148	149
1.2	150	151	153	154	155	156	158	159	160	161
1.3	163	164	165	166	168	169	170	171	173	174
1.4	175	176	178	179	180	181	183	184	185	186
1.5	188	189	191	191	193	194	195	196	198	199
1.6	200	201	203	204	205	206	208	209	210	211
1.7	213	214	215	216	218	219	220	221	223	224
1.8	225	226	228	229	230	231	233	234	235	236
1.9	238	239	240	241	243	244	245	246	248	249
2.0	250	251	253	254	255	256	258	259	260	261
2.1	263	264	265	266	268	269	270	271	273	274

Luas per- mukaan kulit m ²	wanita									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(1/100)									
1.0	114	115	116	117	119	120	121	122	123	124
1.1	125	127	128	129	130	131	132	133	135	136
1.2	137	138	139	140	140	143	144	145	146	147
1.3	148	149	150	152	153	154	155	156	157	158
1.4	160	161	162	163	164	165	166	168	169	170
1.5	171	172	172	174	176	177	178	179	180	181
1.6	182	184	185	186	187	188	189	190	192	193
1.7	194	195	196	197	198	200	201	202	203	203
1.8	205	206	207	209	210	211	212	213	214	215
1.9	217	218	219	220	221	222	223	225	226	227

Sumber : Numajiri, 1987

Keterangan : Konsumsi O₂ pada tabe. dalam satuan cc O₂/menit

(Lanjutan Lampiran 1)

Perhitungan penentuan faktor koreksi (fk) dalam menggunakan hasil penelitian pada kondisi basal di Jepang.

Dari hasil penelitian di Lembaga Gizi Masyarakat Indonesia

Kebutuhan oksigen rata-rata pada kondisi basal :

- Pria = 180 cc/menit
- Wanita = 152 cc/menit

Tinggi badan rata-rata orang Indonesia menurut Suma'mur

(1988)

- Pria = 161.3 cm
- Wanita = 151.6

Berat badan diasumsikan untuk kondisi ideal :

- Pria = 51.3 kg
- Wanita = 41.6 kg

Luas permukaan kulit :

- Pria = $51.3^{0.444} \times 161.3^{0.663} \times 883$
= 14715.8 cm²
= 1.472 m²
- Wanita = 1.282 m² (perhitungan sama)

Dengan menggunakan tabel kebutuhan basal dan luas permukaan kulit yang tertera pada Lampiran 1., maka kebutuhan energi basalnya dapat ditentukan sebagai berikut :

- Pria = 183 cc/menit
- Wanita = 146 cc/menit

Faktor koreksi :

$$fk = \frac{\text{Kebutuhan O}_2 \text{ berdasarkan Tabel 1.}}{\text{Kebutuhan O}_2 \text{ hasil penelitian}}$$

- Pria = 180/183
= 0.9836
- Wanita = 152/146
= 1.041

lanjutan Lampiran 1)

Konsumsi oksigen pada kondisi basal untuk orang Indonesia berdasarkan luas permukaan kulit setelah koreksi.

Luas permukaan kulit m ²	Laki-laki (1/100)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0	123	124	126	127	128	129	131	132	133	134
1.1	136	138	138	139	141	142	143	144	146	147
1.2	148	149	151	152	153	154	155	156	157	158
1.3	160	161	162	163	165	166	167	168	170	171
1.4	172	173	175	176	177	178	180	181	182	183
1.5	185	186	188	189	190	191	192	193	196	196
1.6	197	198	200	201	202	203	205	206	207	208
1.7	209	210	211	212	214	215	215	216	217	220
1.8	221	222	224	225	226	227	229	230	231	232
1.9	234	235	236	237	239	240	241	242	244	245
2.0	246	247	249	250	251	252	254	255	256	257
2.1	259	260	261	262	264	265	266	267	268	269

luas permukaan kulit m ²	Wanita (1/100)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0	118	119	120	121	123	124	125	126	127	128
1.1	129	131	132	133	134	135	137	138	140	142
1.2	143	144	145	146	147	149	150	151	152	153
1.3	154	155	156	158	159	160	161	162	163	164
1.4	166	167	168	169	170	171	173	174	176	177
1.5	178	179	180	181	183	184	185	186	187	188
1.6	189	191	192	193	194	195	196	197	199	201
1.7	202	203	204	205	206	208	209	210	211	212
1.8	213	214	215	217	218	219	220	221	222	224
1.9	226	226	228	229	230	231	232	234	235	236

Keterangan : Konsumsi O₂ pada tabel dalam satuan ccO₂/menit

Lampiran 2. Konversi energi berdasarkan nilai RQ*

RQ	O ₂ (Kkal/l)	CO ₂ (Kkal/l)
0.707	4.686	6.694
0.71	4.690	6.606
0.72	4.702	6.531
0.73	4.714	6.458
0.74	4.727	6.388
0.75	4.739	6.319
0.76	4.751	6.253
0.77	4.764	6.187
0.78	4.736	6.123
0.79	4.789	6.062
0.80	4.801	6.001
0.81	4.813	5.942
0.82	4.825	5.884
0.83	4.838	5.829
0.84	4.850	5.774
0.85	4.862	5.721
0.86	4.875	5.669
0.87	4.887	5.617
0.88	4.900	5.568
0.89	4.911	5.519
0.90	4.924	5.471
0.91	4.936	5.424
0.92	4.948	5.378
0.93	4.961	5.333
0.94	4.973	5.290
0.95	4.985	5.247
0.96	4.998	5.205
0.97	5.010	5.165
0.98	5.022	5.124
0.99	5.035	5.085
1.00	5.047	5.047

*Sumber : Herodian, dkk. 1991

Tidak dapat diterbitkan tanpa izin dari IPB University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 3. Data hasil penelitian

NO	PERLAKUAN	SUHU PERNAFASAN (^o C)	VOLUME PERNAFASAN (m ³)	KADAR		Rh (%)	TEKANAN (cmHg)
				CO ₂	O ₂ (%)		
1	(a1b1c1)	34	0.1127	76.9	45.4	48.6	74.41
2		34	0.1208	84.2	45.2	50.7	74.39
3		34	0.1348	65.3	32.1	48.6	74.42
4	(a1b2c1)	36.8	0.1378	56.4	29.5	46.5	74.40
5		37	0.1434	59	31	46.2	74.35
6		36	0.1238	66	36.9	46.5	74.38
7	(a1b3c1)	33	0.1328	78.4	37.4	46.2	74.36
8		33	0.1589	71	34	47.3	74.35
9		33.8	0.1465	79.9	39.1	46.2	74.34
10	(a2b1c1)	32	0.11764	68.5	36.2	54.3	74.84
11		33	0.1351	63.2	30.3	54.8	74.85
12		32	0.1010	76.8	38.9	54.6	74.88
13	(a2b2c1)	33.8	0.12872	58	29	49.8	74.68
14		33	0.12756	61.3	32.5	58.8	74.71
15		32.1	0.14342	63.2	30.1	52.1	74.74
16	(a2b3c1)	37.5	0.15381	57	28.4	48.1	74.28
17		35.8	0.14831	68.9	34.8	47.9	74.26
18		36.5	0.14654	77.6	37.9	48.6	74.26

© Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengizinkan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengutipkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk elektronik tanpa izin IPB University.

(Lanjutan Lampiran 3)

NO	PERLAKUAN	SUHU	VOLUME	KADAR		Rh (%)	TEKANAN (cmHg)
		PERNAFASAN ($^{\circ}\text{C}$)	PERNAFASAN (m^3)	CO_2	O_2 (%)		
19	(a3b1c1)	34	0.13757	68.2	34.2	54.8	74.75
20		32	0.12956	73.4	34.8	58.7	74.70
21		32	0.12060	79.9	40.8	54.8	74.71
22	(a3b2c1)	32	0.13564	62	30.3	54.8	74.87
23		32	0.13086	73.5	35.8	54.6	74.80
24		32	0.11509	81.7	42.8	54.6	74.79
25	(a3b3c1)	32	0.15436	72	35.7	52.8	74.68
26		32.2	0.15231	79.5	40.3	53.2	74.79
27		31.4	0.15802	77.7	36.5	52.7	74.70
28	(a1b1c2)	26.4	0.11611	66.5	32.5	73.0	75.25
29		25.6	0.14266	63.5	29	72.4	75.22
30		28.6	0.12268	71.4	32.8	71.8	75.16
31	(a1b2c2)	28.3	0.12483	61.4	28.6	72.7	75.18
32		27	0.13363	59.1	27.5	69.1	75.21
33		28	0.11490	77.9	36.1	73.0	75.26
34	(a1b3c2)	31	0.16106	67	31.7	60.0	74.95
35		31	0.14405	71.4	34.4	60.0	75.00
36		31.2	0.15910	72.8	34.8	63.1	74.91

@Halaman milik IPB University

IPB University



(Lanjutan Lampiran 3)

NO	PERLAKUAN	SUHU	VOLUME	KADAR		Rh (%)	TEKANAN (cmHg)
		PERNAFASAN ($^{\circ}\text{C}$)	PERNAFASAN (m^3)	CO_2	O_2 (%)		
37	(a2b1c2)	28	0.10946	67.6	31.7	64.9	75.19
38		28	0.11481	69.5	32.9	64.1	75.14
39		29.4	0.12862	57.2	28.7	63.8	75.24
40	(a2b2c2)	28	0.11106	64	31	64.7	75.20
41		28	0.11388	52.5	29.3	64.6	75.19
42		29	0.12208	68.2	31.7	65.1	75.18
43	(a2b3c2)	28.1	0.10519	65.2	31.9	66.2	75.30
44		29.2	0.1482	65.8	36.4	64.8	75.27
45		28.5	0.13995	61	32.2	65.0	75.28
46	(a3b1c2)	28	0.14971	57.5	27.1	60.8	75.18
47		28.3	0.13528	68.3	31.6	60.0	75.14
48		29	0.12222	64.5	30.8	61.0	75.18
49	(a3b2c2)	29.6	0.12083	63.8	30.1	60.0	75.20
50		31.2	0.12213	71	35.4	60.0	75.15
51		27.5	0.10942	78.9	37.4	60.3	75.20
52	(a3b3c2)	28.5	0.12755	81.5	41.1	64.0	75.28
53		28.5	0.13265	75.3	35.1	64.0	75.28
54		28.7	0.14028	75.5	43.1	64.0	75.28

Metode cupu milik IPB University

IPB University

1. Dianggap mengangkut sebagian atau seluruh karyanya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau biharian suatu masalah
 2. Dianggap mengutamakan dan mempertahankan sebagian atau seluruh karyanya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

(Lanjutan Lampiran 3)

NO	PERLAKUAN	SUHU	VOLUME	KADAR		Rh (%)	TEKANAN (cmHg)
		PERNAFASAN (°C)	PERNAFASAN (m ³)	CO ₂	O ₂ (%)		
55	(a1b1c3)	23.6	0.1502	66.4	27.8	76.6	662.8
55		23.7	0.1387	66.7	28.6	76.6	662.8
55		23.6	0.1465	69.8	28.4	76.7	662.8
58	(a1b2c3)	24.8	0.1623	70.4	24.3	75.9	663.5
59		25.1	0.1634	67.8	21.8	75.6	663.7
60		24.9	0.1636	66.4	23.3	75.7	663.6
61	(a1b3c3)	22.6	0.1632	70.0	25.2	78.3	662.4
62		22.8	0.1631	72.4	25.9	78.1	662.5
63		22.8	0.1627	76.2	27.4	78.1	662.5
64	(a2b1c3)	24.3	0.1311	68.8	29.6	76.5	663.3
65		24.3	0.1387	65.4	29.2	76.5	663.3
66		24.1	0.1402	69.9	30.6	76.6	663.2
67	(a2b2c3)	23.1	0.1299	68.4	30.1	77.2	662.7
68		23.2	0.1356	67.4	28.4	77.1	662.8
69		23.2	0.1384	66.8	29.8	77.1	662.8

@Hak Cipta milik IPB dan terdapat di

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

(Lanjutan Lampiran 3)

NO	PERLAKUAN	SUHU	VOLUME	KADAR		Rh (%)	TEKANAN (cmHg)
		PERNAFASAN (°C)	PERNAFASAN (m ³)	CO ₂	O ₂ (%)		
70	(a2b3c3)	22.5	0.1632	68.4	25.9	78.0	662.3
71		22.5	0.1626	67.8	27.8	78.0	662.3
72		22.6	0.1633	66.9	26.4	77.8	662.3
73	(a3b1c3)	23.0	0.1541	67.3	29.6	77.2	662.7
74		23.1	0.1499	70.3	29.8	77.2	662.7
75		23.1	0.1476	71.9	31.0	77.2	662.7
76	(a3b2c3)	25.1	0.1511	70.3	28.2	74.8	663.8
77		24.9	0.1496	68.4	27.1	74.9	663.6
78		24.9	0.1539	65.0	26.2	74.9	663.6
79	(a3b3c3)	24.0	0.1625	67.4	28.0	75.7	663.1
80		23.7	0.1619	67.8	26.2	76.0	662.9
81		23.9	0.1624	64.5	26.4	76.0	663.0

Lampiran 4. Contoh Perhitungan Kebutuhan Tenaga dan Efisiensi mekanis

1. Perhitungan kadar O_2 dan CO_2

@Hak cipta milik IPB University

$$\%CO_2 = \frac{0.057 * \text{hasil pembacaan}}{(1 - 0.0045 * (t - 20))}$$

$$\%O_2 = \frac{(-0.108 * \text{hasil pembacaan}) + 20.93}{(1 - 0.00052 * (t - 20))} * \{1 - \%CO_2\}$$

= suhu pernafasan ($^{\circ}C$)

$$\%N_2 \text{ sample} = 100\% - (\%O_2 + \%CO_2)$$

$$\%N_2 \text{ bebas} = 100\% - (20.93\% + 0.03\%) = 79.034\%$$

$$\%O_2 \text{ bebas koreksi} = 20.93\% - \%N_2 \text{ sample} / 79.034\%$$

$$\%O_2 \text{ konsumsi} = \%O_2 \text{ bebas koreksi} - \%O_2$$

$$\%CO_2 \text{ dihasilkan} = \%CO_2 - 0.03\%$$

2. Perhitungan Faktor Reduksi pada Keadaan Standar

$$f = \frac{273 * (P - p_{H_2O})}{(273 + t)101.3}$$

f = Faktor reduksi pada tekanan standar

P = Tekanan udara hasil pengukuran (kPa)

p_{H_2O} = Tekanan parsial dari uap jenuh (kPa) (tabel 14)

(Lanjutan Lampiran 4)

Tabel 14. Tekanan uap air jenuh (kPa) antara suhu 10°C - 37°C dengan selang 1°C

Suhu (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1.23	1.31	1.40	1.50	1.60	1.70	1.84	1.94	2.06	2.20
20	2.34	2.49	2.64	2.81	2.98	3.17	3.36	3.56	3.78	4.00
30	4.24	4.49	4.75	5.03	5.32	5.62	5.94	6.27	-	-

Perhitungan Volume Udara pernafasan dalam Keadaan STPD

$$V_{ex} \text{ STPD} = V_{ex} \text{ ATPS} * f$$

$$V_{ex} \text{ STPD} = \text{Volume pernafasan pada kondisi standar (liter)}$$

$$V_{ex} \text{ ATPS} = \text{Volume pernafasan hasil pengukuran (liter)}$$

4. Perhitungan Aliran Udara

$$V_{ex} = \frac{V_{ex} \text{ STPD}}{T}$$

$$V_{ex} = \text{Aliran udara pernafasan (liter/jam)}$$

$$T = \text{Lama pengukuran (jam)}$$

5. Perhitungan konsumsi oksigen

$$\dot{V}O_2 = V_{ex} * \%O_2 \text{ konsumsi}$$

$$\dot{V}O_2 = \text{Volume oksigen yang dikonsumsi (liter/jam)}$$

(Lanjutan Lampiran 4)

6. Perhitungan Energi yang Dibutuhkan

$$RQ = \frac{\%CO_2}{\%O_2}$$

7. Perhitungan Kebutuhan Energi

$$E = VO_2 * \text{Hasil pembacaan dari Tabel 2. (Kkal/liter)}$$

$$E = \text{Energi yang dibutuhkan untuk melakukan kerja (Kkal/jam)}$$

8. Perhitungan efisiensi

$$\pi = \frac{T_{out}}{T_{in}} * 100\%$$

T_{in} = Besarnya tenaga total tubuh atau laju metabolisme pengayuh ergometer tipe sepeda selama melakukan kerja pada setiap kombinasi perlakuan

T_{out} = Beban yang diberikan pada perlakuan (50, 70, dan 90 watt)



Lampiran 5. Contoh perhitungan kebutuhan tenaga dan efisiensi mekanis

Kadar CO₂ hasil pembacaan 84.2

kadar O₂ hasil pembacaan 45.2

t = 34 °C

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengujiannya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengujiannya tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.057 * 84.2}{(1 - 0.0045 * (34 - 20))} \\
 &= 5.122092 \\
 &= \frac{(-0.108 * 45.2 + 20.93)}{(1 - 0.00052 * (34 - 20))} * (1 - 0.05122092) \\
 &= 15.3380475
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{konsumsi} &= 20.93\% - (100\% - 5.122092 - 15.3380475) / 79.034 - 15.3381 \\
 &= 5.724317
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{dihasilkan} &= 5.122093 - 0.03 \\
 &= 5.092092
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RQ &= \frac{\%CO_2}{\%O_2} \\
 &= \frac{5.092092}{5.724317} = 0.889554
 \end{aligned}$$

Dari Lampiran 2. didapat kebutuhan energi per liter penggunaan oksigen adalah 4.911 Kkal/liter

Lama pengukuran T = 4 menit = 1/15 jam

Dari pengukuran didapat $V_{ex} ATPS = 0.1588 \text{ m}^3 = 158.8 \text{ liter}$

$$P = 74.35 \text{ cm Hg} = 99.17344 \text{ kPa}$$

(Lanjutan Lampiran 5)

Dari Tabel 13 pada Lampiran 2 didapat nilai $t = 34^{\circ}\text{C}$

$$273 + (34 - 0) \times \frac{1.17344 - 5.32}{101.3} = 273 + 34 \times 0.01158 = 273 + 0.39352 = 307.39352$$

$$V_{\text{ex}} = 158.8 \times 0.823882 = 130.8325 \text{ liter}$$

$$V_{\text{ex}} = 130.8325 / (1/15) = 1962.4875 \text{ liter/jam}$$

$$V_{\text{O}_2} = 5.724317 / 100 \times 1962.4875 = 112.339 \text{ liter/jam}$$

$$P = 112.339 \times 4.911 = 551.69683 \text{ Kkal/jam}$$

$$P = 551.69683 / 8.6 = 64.1508 \text{ Watt}$$

$$P = 64.1508 \times 1.015 = 65.1131 \text{ Watt}$$

$$P = 65.1131 \times 1.015 = 66.0908 \text{ Watt}$$

Beban yang dikayuh 50 Watt, maka efisiensinya adalah

$$\eta = \frac{50}{66.0908} \times 100\% = 75.65\%$$

$$\eta = \frac{50}{66.0908} \times 100\% = 75.65\%$$

$$\eta = \frac{50}{66.0908} \times 100\% = 75.65\%$$

Lampiran 6.; Hasil perhitungan nilai kebutuhan tenaga pada suhu lingkungan kerja (30 - 33)°C

NO	PERLAKUAN		OPERATOR	KONSUMSI TENAGA		
	Kombinasi	Beban (Watt)		RPM	(kcal/mnt)	(Watt)
1	(a1b1c1)	50	30	A	6.465484	451.4386
2				B	6.994644	488.1618
3				C	5.654568	394.6368
4				rata-rata	6.371565	444.7457
5	(a1b2c1)	50	50	A	5.123963	357.6055
6				B	5.594371	390.4356
7				C	5.730249	399.9187
8				rata-rata	5.482861	283.6533
9	(a1b3c1)	70	70	A	6.577064	459.0185
10				B	7.138437	489.1972
11				C	7.489430	522.6870
12				rata-rata	7.068310	493.3009
13	(a2b1c1)	70	30	A	5.601158	390.9093
14				B	5.451752	380.4821
15				C	5.208216	363.4856
16				rata-rata	5.420375	378.2923
17	(a2b2c1)	50	50	A	4.879929	340.5741
18				B	5.397541	376.6987
19				C	5.788110	403.9568
20				rata-rata	5.355193	373.7432
21	(a2b3c1)	70	70	A	5.465363	381.4320
22				B	6.608273	461.1966
23				C	7.121367	497.0059
24				rata-rata	6.398423	446.5448
25	(a3b1c1)	90	30	A	6.150648	429.2586
26				B	6.041242	421.6231
27				C	6.485920	452.6575
28				rata-rata	6.225937	434.5131
29	(a3b2c1)	50	50	A	5.490817	383.2085
30				B	6.690690	466.9674
31				C	6.260397	436.9181
32				rata-rata	6.073795	423.8950
33	(a3b3c1)	70	70	A	8.215362	556.7161
34				B	7.224031	504.1708
35				C	7.777427	542.7928
36				rata-rata	7.738940	540.1068

(Lanjutan Lampiran 6).
Suhu lingkungan (26 - 29)°C

NO	PERLAKUAN			OPERATOR	KONSUMSI	TENAGA
	Kombinasi	Beban (Watt)	RPM		(kkal/mnt)	(Watt)
1	(alb1c2)	50	30	A	5.285655	368.8901
2				B	5.893016	411.2783
3				C	5.596899	390.7376
				rata-rata	5.591857	390.3020
4	(alb2c2)	50	50	A	4.969165	346.8020
5				B	5.166666	360.5857
6				C	5.783641	403.6449
				rata-rata	5.306491	370.3442
7	(alb3c2)	70	70	A	6.901932	481.6913
8				B	6.669752	465.4873
9				C	7.476165	521.7675
				rata-rata	7.015950	489.6487
10	(a2b1c2)	70	30	A	4.826065	336.8149
11				B	5.235843	365.4136
12				C	5.029088	350.9980
				rata-rata	5.030332	351.0755
13	(a2b2c2)	50	50	A	4.761714	332.3238
14				B	4.490877	313.4218
15				C	5.360628	374.1225
				rata-rata	4.871073	339.9560
16	(a2b3c2)	70	70	A	4.632143	323.3809
17				B	7.349462	512.9248
18				C	6.107618	426.2555
				rata-rata	6.029741	420.8537
19	(a3b1c2)	90	30	A	5.640329	393.6430
20				B	6.060772	422.9861
21				C	5.183774	361.7797
				rata-rata	5.628292	392.8029
22	(a3b2c2)	50	50	A	5.102361	356.0978
23				B	5.931488	413.9633
24				C	5.583021	396.6225
				rata-rata	5.538957	388.8945
25	(a3b3c2)	70	70	A	7.142366	498.4714
26				B	6.828481	476.5651
27				C	7.599516	530.3763
				rata-rata	7.190121	501.8043

Lampiran 7. Perhitungan nilai efisiensi tenaga mekanis tubuh Suhu lingkungan kerja (30 - 33)°C

NO	PERLAKUAN			OPERATOR	EFISIENSI (%)
	Kombinasi	Beban (Watt)	RPM		
1	(alb1c1)	50	30	A	11.0757
				B	10.2425
				C	12.6700
				rata-rata	11.3294
4	(alb2c1)	50	50	A	13.9820
				B	12.8062
				C	12.5025
				rata-rata	13.0969
5	(alb3c1)	70	70	A	10.8928
				B	10.0362
				C	9.5660
				rata-rata	10.1650
11	(a2b1c1)	70	30	A	17.9070
				B	18.3977
				C	19.2580
				rata-rata	18.5209
13	(a2b2c1)	70	50	A	20.5535
				B	18.5825
				C	17.2386
				rata-rata	18.7915
14	(a2b3c1)	70	70	A	18.3519
				B	14.0843
				C	12.4693
				rata-rata	14.9685
19	(a3b1c1)	90	30	A	20.9664
				B	21.3461
				C	19.8826
				rata-rata	20.7317
22	(a3b2c1)	90	50	A	23.4859
				B	20.5988
				C	19.9310
				rata-rata	21.3386
25	(a3b3c1)	90	70	A	15.6970
				B	17.8511
				C	16.5809
				rata-rata	16.7097

(Lanjutan Lampiran 7)
Suhu lingkungan (26 - 29)°C

NO	PERLAKUAN			OPERATOR	EFISIENSI (%)
	Kombinasi	Beban (Watt)	RPM		
1	(a1b1c2)	50	30	A	13.5542
2				B	12.1572
3				C	12.7963
				rata-rata	12.8359
4	(a1b2c2)	50	50	A	14.4174
5				B	13.8663
6				C	12.2871
				rata-rata	13.5236
7	(a1b3c2)	70	70	A	10.3801
8				B	10.7414
9				C	9.5828
				rata-rata	10.2348
10	(a2b1c2)	70	30	A	20.7829
11				B	19.1564
12				C	19.9431
				rata-rata	19.9608
13	(a2b2c2)	50	50	A	21.0638
14				B	22.3341
15				C	18.7104
				rata-rata	20.7028
16	(a2b3c2)	70	70	A	21.6530
17				B	13.6472
18				C	16.4221
				rata-rata	17.2408
19	(a3b1c2)	90	30	A	22.8634
20				B	21.2773
21				C	24.8870
				rata-rata	23.0092
22	(a3b2c2)	50	50	A	25.2740
23				B	21.7411
24				C	22.6916
				rata-rata	23.8128
25	(a3b3c2)	70	70	A	18.0552
26				B	18.8851
27				C	16.9691
				rata-rata	17.9698

(Lanjutan Lampiran 7)
Suhu lingkungan kerja (22 - 25)°C

PERLAKUAN

NO	PERLAKUAN		OPERATOR	EFISIENSI (%)	
	Kombinasi	Beban (Watt)			RPM
1	(a1b1c3)	50	30	A	13.2595
2				B	13.8949
3				C	13.4314
				rata-rata	13.5286
4	(a1b2c3)		50	A	14.8699
5				B	16.7183
6				C	15.3439
				rata-rata	15.6440
7	(a1b3c3)		70	A	13.8617
8				B	13.5627
9				C	12.8754
				rata-rata	13.4333
10	(a2b1c3)	70	30	A	19.9658
11				B	18.9088
12				C	17.9579
				rata-rata	18.9442
13	(a2b2c3)		50	A	20.1141
14				B	20.4300
15				C	19.0614
				rata-rata	19.8685
16	(a2b3c3)		70	A	18.5594
17				B	17.0814
18				C	18.1062
				rata-rata	17.9157
19	(a3b1c3)	90	30	A	21.4911
20				B	22.2183
21				C	21.5968
				rata-rata	21.7687
22	(a3b2c3)		50	A	23.9450
23				B	25.1836
24				C	25.1593
				rata-rata	24.7626
25	(a3b3c3)		70	A	22.0162
26				B	23.9567
27				C	23.4495
				rata-rata	23.1408

Lampiran 8. klasifikasi beban kerja dan waktu istirahat berdasarkan R.M.R

No	Perlakuan	Operator	M e t a b o l i s m e			R.M.R	Klasifikasi beban kerja	Lama Istirahat (menit)
			Basal (l/menit)	Kerja (l/menit)	Istirahat (l/menit)			
1	(alb1c1)	A	0.177	1.340612	0.158790	-	-	4.757091
2		B	0.178	1.424281	0.250322	6.595275	Sangat berat	2.160432
3		C	0.192	1.128656	0.207788	4.796188	Berat	1.385302
4	(alb2c1)	A	0.177	1.032849	0.180481	4.815638	-	1.457380
5		B	0.178	1.127670	0.285957	4.728725	Berat	1.327971
6		C	0.192	1.175436	0.278030	4.673990	Berat	0.879965
7	(alb3c1)	A	0.177	1.301630	0.221498	6.102441	Sangat berat	3.132704
8		B	0.178	1.417763	0.259648	6.506204	Sangat berat	2.798511
9		C	0.192	1.491306	0.261924	6.403031	Sangat berat	2.263870
10	(a2b1c1)	A	0.177	1.303163	0.221498	6.111102	Sangat berat	0.960206
11		B	0.178	1.127670	0.285957	4.728725	Berat	1.192144
12		C	0.192	1.175436	0.278030	4.639900	Berat	1.334436
13	(a2b2c1)	A	0.177	1.140533	0.138061	-	-	1.140515
14		B	0.178	1.082771	0.271713	4.556506	berat	0.647551
15		C	0.192	1.049832	0.198446	4.434302	berat	1.512485
16	(a2b3c1)	A	0.177	0.951601	0.144692	-	-	0.506964
17		B	0.178	1.322185	0.258897	5.973528	Sangat berat	3.660698
18		C	0.192	1.593765	0.298822	5.792646	Sangat berat	2.293593

@Hak cipta milik IPPB University

IPPB University

(Lanjutan Lampiran 8)

No	Perlakuan	Operator	M e t a b o l i s m e			R.M.R	Klasifikasi beban kerja	Lama Istirahat (menit)
			Basal (l/menit)	Kerja (l/menit)	Istirahat (l/menit)			
19	(a3b1c1)	A	0.177	1.233831	0.195397	5.866859	Sangat berat	1.857760
20		B	0.178	1.198490	0.320989	4.929781	Sangat berat	2.177066
21		C	0.192	1.310817	0.278971	5.374198	Sangat berat	1.753563
22	(a3b2c1)	A	0.177	1.098603	0.101953	-	-	0.631775
23		B	0.178	1.249580	0.219857	5.784961	Sangat berat	2.162067
24		C	0.192	1.314007	0.155006	-	-	2.372343
25	(a3b3c1)	A	0.177	1.655989	0.193462	8.262864	Sangat berat	5.117704
26		B	0.178	1.449154	0.136421	-	-	2.648213
27		C	0.192	1.541000	0.206500	6.950521	Sangat berat	3.407073
28	(a1b1c2)	A	0.177	1.063940	0.135624	-	-	1.033957
29		B	0.178	1.173440	0.099118	-	-	1.612396
30		C	0.192	1.109132	0.161839	-	-	1.332093
31	(a1b2c2)	A	0.177	0.989479	0.135859	-	-	0.920634
32		B	0.178	1.031271	0.165363	-	-	1.508229
33		C	0.192	1.148687	0.213725	4.869594	Berat	0.732538
34	(a1b3c2)	A	0.177	1.370791	0.242707	6.373356	Sangat berat	3.120157
35		B	0.178	1.331288	0.333987	5.602815	Sangat berat	2.573268
36		C	0.192	1.488683	0.234185	5.338440	Sangat berat	2.352144

(Lanjutan Lampiran 8)

No	Perlakuan	Operator	M e t a b o l i s m e				Klasifikasi beban kerja	Lama Istirahat (menit)
			Basal (l/menit)	Kerja (l/menit)	Istirahat (l/menit)	R.M.R		
37	(a2b1c2)	A	0.177	0.963286	0.208971	4.261667	Berat	0.986517
38		B	0.178	1.047588	0.230458	4.290618	Berat	0.596252
39		C	0.192	1.016428	0.225122	4.121385	Berat	0.789797
40	(a2b2c2)	A	0.177	0.957513	0.223902	4.144695	Berat	0.534965
41		B	0.178	0.933072	0.340976	3.326382	Berat	0.277025
42		C	0.192	1.064673	0.252878	4.228099	Berat	1.105360
43	(a2b3c2)	A	0.177	0.933712	0.191542	4.193051	Berat	0.411564
44		B	0.178	1.519112	0.263567	7.053624	Sangat berat	1.816779
45		C	0.192	1.252845	0.167917	-	-	2.999487
46	(a3b1c2)	A	0.177	1.128517	0.271810	4.840153	Berat	1.371741
47		B	0.178	1.203728	0.292682	5.118236	Berat	1.142120
48		C	0.192	1.037170	0.110433	-	-	1.772163
49	(a3b2c2)	A	0.177	1.016002	0.162591	-	-	1.412400
50		B	0.178	1.192738	0.196042	5.599416	Sangat berat	0.859391
51		C	0.192	1.137059	0.125477	-	-	1.649036
52	(a3b3c2)	A	0.177	1.446995	0.141569	-	-	4.638783
53		B	0.178	1.553183	0.177187	-	-	2.802253
54		C	0.192	1.889340	0.142708	-	-	3.428651

(Lanjutan Lampiran 8).

No	Perlakuan	Operator	M e t a b o l i s m e			R.M.R	Klasifikasi beban kerja	Lama Istirahat (menit)
			Basal (l/menit)	Kerja (l/menit)	Istirahat (l/menit)			
55	(a1b1c3)	A	0.177	1.086492	0.224482	4.870113	Berat	0.859378
56		B	0.178	1.031618	0.196999	4.688871	Berat	0.682878
57		C	0.192	1.080625	0.205185	4.559583	Berat	0.809977
58	(a1b2c3)	A	0.177	1.014097	0.229868	4.430672	Berat	0.441410
59		B	0.178	0.913707	0.189327	4.069551	Berat	0.060920
60		C	0.192	0.977624	0.232657	3.880036	Sedang	0.335097
61	(a1b3c3)	A	0.177	1.073838	0.197886	4.948881	Berat	0.691703
62		B	0.178	1.100258	0.195821	5.081107	Sangat berat	0.773100
63		C	0.192	1.158991	0.227060	4.853807	Berat	0.974513
64	(a2b1c3)	A	0.177	1.005120	0.181822	4.651401	Berat	0.588280
65		B	0.178	1.050998	0.191282	4.829865	Berat	0.788849
66		C	0.192	1.112161	0.199749	4.752146	Berat	0.989482
67	(a2b2c3)	A	0.177	1.020370	0.190610	4.687910	Berat	0.561822
68		B	0.178	1.004589	0.194505	4.551034	Berat	0.506734
69		C	0.192	1.076720	0.208914	4.519823	Berat	0.758522



(Lanjutan Lampiran 8).

No	Perlakuan	Operator	M e t a b o l i s m e			R.M.R	Klasifikasi beban kerja	Lama Istirahat (menit)
			Basal (l/menit)	Kerja (l/menit)	Istirahat (l/menit)			
70	(a2b3c3)	A	0.177	1.105846	0.189795	5.175429	Sangat berat	0.860192
71		B	0.178	1.183604	0.215156	5.440719	Sangat berat	1.194188
72		C	0.192	1.127983	0.182340	-	-	0.956804
73	(a3b1c3)	A	0.177	1.191751	0.223717	5.469119	Sangat berat	1.286049
74		B	0.178	1.164307	0.190039	5.473416	Sangat berat	1.145767
75		C	0.192	1.191837	0.210245	5.112458	Sangat berat	1.265076
76	(a3b2c3)	A	0.177	1.096639	0.197339	5.080791	Sangat berat	0.846856
77		B	0.178	1.045033	0.224555	4.609427	Berat	0.657618
78		C	0.192	1.040944	0.235534	4.194844	Berat	0.661150
79	(a3b3c3)	A	0.177	1.180681	0.234310	5.346729	Sangat berat	1.183827
80		B	0.178	1.101478	0.218843	4.958624	Berat	0.844946
81		C	0.192	1.114128	0.233853	4.584766	Berat	0.928097



Lampiran 9. klasifikasi beban kerja berdasarkan denyut jantung*

No	Perlakuan Operator	Kerja (l/menit)	Denyut Jantung Kerja (per menit)	Klasifikasi Kerja
1	(a1b1c1)	A	1.340612	Berat
		B	1.422811	Berat
		C	1.128656	Berat
2	(a1b2c1)	A	1.032849	Sedang
		B	1.127670	Sedang
		C	1.175436	Sedang
3	(a1b3c1)	A	1.301630	Berat
		B	1.417763	Berat
		C	1.491306	Berat
4	(a2b1c1)	A	1.303163	Berat
		B	1.127670	Berat
		C	1.175436	Berat
5	(a2b2c1)	A	1.140533	Sedang
		B	1.082771	Sedang
		C	1.049832	Sedang
6	(a2b3c1)	A	1.099007	Berat
		B	1.322185	Berat
		C	1.411010	Berat
7	(a3b1c1)	A	1.233831	Berat
		B	1.198490	Sedang
		C	1.310817	Berat
8	(a3b2c1)	A	1.098603	Berat
		B	1.335521	Berat
		C	1.249587	Sedang
9	(a3b3c1)	A	1.655989	Berat
		B	1.449154	Berat
		C	1.541000	Berat

*Mc. Cormick (1970)

(Lanjutan Lampiran 9).

No	Perlakuan	Operator	Kerja (l/menit)	Denyut Jantung Kerja (per menit)	Klasifikasi Kerja
28	(a1b1c2)	A	1.063940	124	Sedang
29		B	1.173440	119	Sedang
30		C	1.109132	110	Sedang
31	(a1b2c2)	A	0.989479	117	Sedang
32		B	1.031271	128	Berat
33		C	1.148687	129	Berat
34	(a1b3c2)	A	1.370791	139	Berat
35		B	1.331288	135	Berat
36		C	1.488683	123	Sedang
37	(a2b1c2)	A	0.963286	91	Ringan
38		B	1.047588	110	Sedang
39		C	1.016428	113	Sedang
40	(a2b2c2)	A	0.957513	89	Ringan
41		B	0.933072	96	Ringan
42		C	1.064673	108	Sedang
43	(a2b3c2)	A	0.933712	128	Berat
44		B	1.519112	130	Berat
45		C	1.252845	131	berat
46	(a3b1c2)	A	1.128517	116	Sedang
47		B	1.203728	107	Sedang
48		C	1.037170	114	Sedang
49	(a3b2c2)	A	1.016002	130	Berat
50		B	1.192738	136	Berat
51		C	1.137059	148	Berat
52	(a3b3c2)	A	1.582803	138	Berat
53		B	1.553183	131	Berat
54		C	1.359713	142	Berat

(Lanjutan Lampiran 9).

No	Perlakuan	Operator	Kerja (l/menit)	Denyut Jantung Kerja (per menit)	Klasifikasi Kerja
55	(a1b1c3)	A	1.086492	110	Sedang
56		B	1.031618	113	Sedang
57		C	1.080625	119	Sedang
58	(a1b2c3)	A	1.014097	121	Sedang
59		B	0.913707	98	Ringan
60		C	0.977624	95	Ringan
61	(a1b3c3)	A	1.073838	117	Sedang
62		B	1.100258	123	Sedang
63		C	1.158991	121	Sedang
64	(a2b1c3)	A	1.005120	101	Sedang
65		B	1.050998	108	Sedang
66		C	1.112161	115	Sedang
67	(a2b2c3)	A	1.020370	120	Sedang
68		B	1.004589	113	Sedang
69		C	1.076720	116	Sedang
70	(a2b3c3)	A	1.105846	130	Berat
71		B	1.183604	133	Berat
72		C	1.127983	131	Berat
73	(a3b1c3)	A	1.191751	131	Berat
74		B	1.164307	139	Berat
75		C	1.191837	131	Berat
76	(a3b2c3)	A	1.096639	114	Sedang
77		B	1.045033	121	Sedang
78		C	1.040944	117	Sedang
79	(a3b3c3)	A	1.180681	124	Sedang
80		B	1.101478	119	Sedang
81		C	1.114128	117	Sedang

Hak Cipta, Ditinjau dari Undang-undang
1. Dilarang menyalin, sebagian atau seluruhnya
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 10. klasifikasi beban kerja sesuai rumus Boyle-Charles*

No	Perlakuan	Operator	konsumsi O ₂ (kkal/menit)	Klasifikasi kerja
1	(a1b1c1)	A	6.654	Sedang
2		B	7.196	Sedang
3		C	5.800	Sedang
4	(a1b2c1)	A	5.313	Sedang
5		B	5.802	Sedang
6		C	5.887	Sedang
7	(a1b3c1)	A	6.713	Sedang
8		B	7.300	Sedang
9		C	7.677	berat
10	(a2b1c1)	A	5.721	Sedang
11		B	5.568	Sedang
12		C	5.314	Sedang
13	(a2b2c1)	A	5.006	Sedang
14		B	5.536	Sedang
15		C	5.894	Sedang
16	(a2b3c1)	A	5.724	Sedang
17		B	6.817	Sedang
18		C	7.354	Sedang
19	(a3b1c1)	A	6.315	Sedang
20		B	6.160	Sedang
21		C	6.600	Sedang
22	(a3b2c1)	A	5.598	Sedang
23		B	6.379	Sedang
24		C	6.611	Sedang
25	(a3b3c1)	A	7.469	Sedang
26		B	8.280	Berat
27		C	7.906	Berat

*Mc. Cormick (1970)

(Lanjutan Lampiran 10).

No	Perlakuan	Operator	konsumsi O ₂ (kkal/menit)	Klasifikasi kerja
28	(a1b1c2)	A	5.303	Sedang
29		B	5.914	Sedang
30		C	5.650	Sedang
31	(a1b2c2)	A	5.014	Sedang
32		B	5.200	Sedang
33		C	5.829	Sedang
34	(a1b3c2)	A	7.037	Sedang
35		B	6.806	Sedang
36		C	7.600	Berat
37	(a2b1c2)	A	4.874	Ringan
38		B	5.288	Sedang
39		C	5.095	Sedang
40	(a2b2c2)	A	4.811	Ringan
41		B	4.558	Ringan
42		C	5.417	Sedang
43	(a2b3c2)	A	4.682	Ringan
44		B	7.331	Sedang
45		C	6.199	Sedang
46	(a3b1c2)	A	5.697	Ringan
47		B	6.005	Sedang
48		C	5.244	Sedang
49	(a3b2c2)	A	5.064	Sedang
50		B	5.909	Sedang
51		C	5.732	Sedang
52	(a3b3c2)	A	7.235	Sedang
53		B	6.525	Sedang
54		C	8.177	Berat



(Lanjutan Lampiran 10).

No	Perlakuan	Operator	konsumsi O ₂ (kkal/menit)	Klasifikasi kerja
55	(a1b1c3)	A	5.400	Sedang
56		B	5.102	Sedang
57		C	5.408	Sedang
58	(a1b2c3)	A	5.300	Sedang
59		B	4.865	Ringan
60		C	5.101	Sedang
61	(a1b3c3)	A	5.519	Sedang
62		B	5.668	Sedang
63		C	5.967	Sedang
64	(a2b1c3)	A	4.973	Ringan
65		B	5.157	Sedang
66		C	5.481	Sedang
67	(a2b2c3)	A	5.013	Sedang
68		B	4.982	Ringan
69		C	5.274	Sedang
70	(a2b3c3)	A	5.611	Sedang
71		B	5.897	Sedang
72		C	5.670	Sedang
73	(a3b1c3)	A	5.854	Sedang
74		B	5.768	Sedang
75		C	5.884	Sedang
76	(a3b2c3)	A	5.522	Sedang
77		B	5.275	Sedang
78		C	5.231	Sedang
79	(a3b3c3)	A	5.883	Sedang
80		B	5.578	Sedang
81		C	5.568	Sedang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

IPB University