

STUDI KALIBRASI DATA PENGUKURAN BEBAN KERJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STEP TEST* DAN *ERGOMETER*

The Study on Work Load Calibration by Using Step Test and Ergometer

Roni Kastaman¹ dan Sam Herodian²

ABSTRACT

The study on Work Load Calibration by using Step Test and Ergometer test was carried out in order to find the best way to calibrate the data measurement and to predict human work load by using heart rate data. This study was conducted on four male subjects, but the data analysis has just been done to three subjects due one of the subject was insufficient performance. The sport tester PE3000 heart rate monitor is used for measuring the heart rate data which will be useful for predicting the work load on each activity. The linear regression method is also used to predict the work load based on the heart rate data, so that the best alternative scenario data input will be able to determined by comparing the correlation coefficient or coefficient of determination.

Kata Kunci : *Step Test*, Pengukuran Tenaga, Beban Kerja

PENDAHULUAN

Pengukuran beban kerja pada manusia merupakan salah satu hal penting dalam kaitannya dengan upaya peningkatan kualitas kerja dan lingkungan kerja manusia itu sendiri.

Penelitian yang berkaitan dengan pengukuran beban kerja dan pengukuran daya manusia telah banyak dilakukan, beberapa diantaranya dengan menggunakan metode yang didasarkan atas konsumsi oksigen selama bekerja, pengukuran denyut jantung, pengukuran energi metabolisme dan metode lainnya.

Pada dasarnya ada dua hal pokok yang dapat mempengaruhi kemampuan kerja fisik manusia dalam setiap aktivitasnya, yaitu : **Faktor Personal** dan **Faktor Lingkungan** (Bridger, 1995). Yang termasuk dalam faktor personal antara lain : umur, berat badan, jenis kelamin, konsumsi alkohol, konsumsi tembakau atau rokok, gaya hidup, olahraga dan latihan, status nutrisi dan motivasi. Sedangkan yang termasuk kedalam faktor lingkungan antara lain : polusi udara, kualitas udara ruangan, ventilasi, ketinggian tempat, kebisingan dan

¹ Mahasiswa Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Program Studi Keteknikan Pertanian

² Staf Pengajar Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Jurusan Teknik Pertanian.

faktor temperatur udara yang ekstrim (panas atau dingin).

Salah satu metode pengukuran beban kerja yang banyak digunakan di Indonesia adalah melalui pengukuran denyut jantung dengan metode *step test* dan *ergometer test*. Metode ini relatif lebih mudah dan lebih murah untuk dilaksanakan bila dibandingkan dengan metode yang lainnya, mengingat peralatan untuk pengukuran beban kerja ini masih mahal. Walaupun dalam pelaksanaan pengukurannya mudah dan murah, namun metode ini memerlukan sistem kalibrasi data yang akurat. Hal ini disebabkan oleh karena beberapa faktor, antara lain :

1. Denyut jantung berbeda-beda menurut waktu dan individunya.
2. Denyut jantung tidak saja dipengaruhi oleh kerja fisik akan tetapi juga beban mental (Sam Herodian, 1997).

Pengukuran denyut jantung dalam studi ini dimaksudkan untuk mengukur kemampuan operator (sub-yek pengamatan) dalam melakukan suatu pekerjaan tertentu. Metode *Step test* dimaksudkan untuk mengukur karakteristik denyut jantung individual dari operator tersebut, sedangkan *Ergometer test* dimaksudkan untuk mengkalibrasi beban kerja yang dikeluarkan operator berdasarkan perkiraan denyut jantung yang diukur untuk tiap tingkatan beban kerja. Dengan melihat karakteristik denyut jantung individual yang diukur dengan metode *Step test*, penyimpangan data yang mungkin terjadi pada pengukuran denyut jantung dengan *Ergometer test* diketahui. Berdasarkan hal tersebut perlu kiranya diketahui suatu pola hubungan antara denyut jantung manu-

sia dalam setiap aktivitas kerjanya dengan daya yang dikeluarkannya melalui penyesuaian-penyesuaian dalam cara pengukuran maupun kalibrasi data hasil pengukurannya.

Dalam studi ini diamati pola hubungan antara denyut jantung dengan daya yang diperlukan atas beban kerja yang dilakukan oleh setiap operator, untuk jenis pekerjaan yang berbeda-beda dan waktu yang berbeda pula. Kemudian pola hubungan yang ada tersebut digunakan untuk memprediksi besarnya daya yang diperlukan untuk setiap jenis kegiatan.

BAHAN DAN METODE

Peralatan dan Instrument

Peralatan dan Instrument yang digunakan dalam studi ini antara lain :

1. Heart rate monitor (Polar-electro PE3000)
2. *Ergometer* (Tonic dengan pencatat waktu, daya dan konversi kalori)
3. Stopwatch dan lembar pengamatan
4. Bangku untuk *step test* dengan dimensi : panjang x lebar x tinggi = 57 cm x 35 cm x 31 cm
5. Digital metronome (Seiko SQ55)
6. Jerigen air 10 liter
7. Serutan kayu (alat sugu untuk kayu) dan gergaji kayu
8. Beban yang bervariasi antara 5 - 10 kg (buku, batu, pasir)
9. Linggis, cangkul dan sekop

Kedaaan Umum

1. Temperatur ruangan (suhu kamar) berkisar antara 24 - 34 °C.
2. Pengamatan dilakukan 2 kali dalam 1 hari, yaitu pagi hari antara jam 9.00 hingga jam 10.00 dan

siang hari antara jam 13.30 hingga jam 14.30.

Subyek

Untuk subyek penelitian diambil 4 orang operator laki-laki, seperti pada Tabel 1.

Metode

Prosedur pengamatan dalam studi ini adalah sebagai berikut :

1. Subyek melakukan serangkaian pengujian (test) awal yang sama, yaitu : *Step Test* dan *Ergometer test*, dengan skedul kegiatan seperti pada Tabel 2.
2. Waktu pengamatan setiap pengujian (test) adalah 3 menit dengan diselingi waktu istirahat selama 3 menit.
3. Data hasil pengamatan denyut jantung pada *step test* dan *ergometer test* tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk memprediksi daya yang dikeluarkan oleh setiap subyek pengamatan

dalam aktivitas yang dilakukan pada hari pengamatan selanjutnya

4. Kegiatan yang dilakukan oleh masing-masing subyek adalah seperti yang disajikan pada Tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengamatan dan Grafik Denyut Jantung

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya telah diketahui bahwa denyut jantung subyek akan mengalami peningkatan, sejalan dengan meningkatnya beban kerja, baik pada *step test* maupun pada *ergometer test* (Hayashi and Moriizumi, 1997 ; Sam Herodian, 1997). Dengan demikian informasi ini dapat digunakan sebagai tolok ukur kelayakan data yang diberikan oleh subyek yang melakukan aktivitas.

Tabel 1. Data Fisik Subyek Penelitian

DATA	SUBYEK 1	SUBYEK 2	SUBYEK 3	SUBYEK 4
Umur (tahun)	25	26	34	27
Tinggi badan (cm)	170	165	169	160
Berat badan (kg)	59	56	64	44

Tabel 2a. Skedul Kegiatan Step Test

WAKTU (menit ke)	AKTIVITAS	KETERANGAN
0 - 3	Istirahat I	Duduk di kursi
3 - 6	<i>Step Test</i> I	20 Siklus per menit
6 - 9	Istirahat II	Duduk di kursi
9 - 12	<i>Step Test</i> II	25 Siklus per menit
12 - 15	Istirahat III	Duduk di kursi
15 - 18	<i>Step Test</i> III	30 Siklus per menit
18 -21	Istirahat IV	Duduk di kursi

Keterangan : Kegiatan pengukuran denyut jantung pada *Ergometer test* dilakukan setelah waktu istirahat kegiatan *Step test* selesai.

Tabel 2b. Skedul Kegiatan *Ergometer Test*

WAKTU (menit ke)	AKTIVITAS	KETERANGAN
21 - 24	<i>Ergometer</i>	25 Watt, 50 rpm
24 - 27	Istirahat V	Duduk di kursi
27 - 30	<i>Ergometer</i>	50 Watt, 50 rpm
30 - 33	Istirahat VI	Duduk di kursi
33 - 36	<i>Ergometer</i>	75 Watt, 50 rpm
36 - 39	Istirahat VII	Duduk di kursi
39 - 42	<i>Ergometer</i>	100 Watt, 50 rpm
42 - 45	Istirahat VIII	Duduk di kursi
45 - 48	<i>Ergometer</i>	125 Watt, 50 rpm
48 - 51	Istirahat IX	Duduk di kursi

Tabel 3. Aktivitas yang Dilakukan Masing-masing Subyek

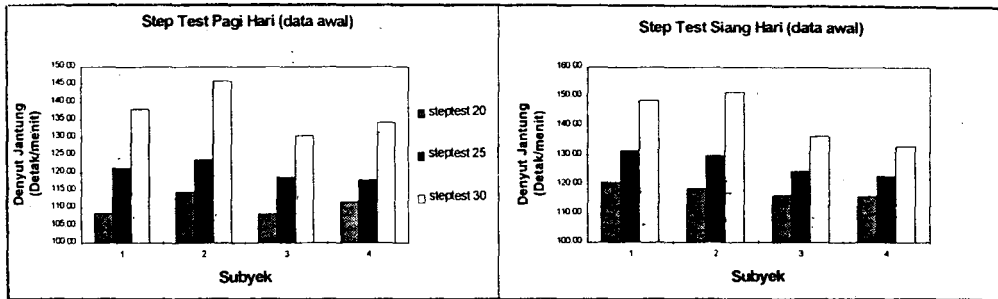
AKTIVITAS SUBYEK 1	AKTIVITAS SUBYEK 3	AKTIVITAS SUBYEK 4
Menggergaji kayu	Menyerut kayu	Menggali lubang dengan linggis
	Menyapu lantai	Mencangkul tanah
	Menggergaji kayu	Menyekop tanah
	Memindahkan 5 kg beban 5 m	

Untuk pengukuran denyut jantung dengan metode *Step Test*, berdasarkan Gambar 1. terlihat bahwa denyut jantung semua subyek yang diamati menunjukkan kecenderungan meningkat, sesuai dengan level *step test* yang dilakukan. Namun bila dilihat dari hasil pengukuran dengan metode *ergometer test*, ternyata untuk subyek 2 menunjukkan penyimpangan pada pengukuran yang dilakukan pagi hari (Gambar 2). Sehingga dengan kondisi ini maka data pengamatan dan pengujian selanjutnya untuk subyek 2 tidak dilakukan dalam kalibrasi data pengukuran denyut jantung untuk berbagai aktivitas yang dilakukan dalam studi ini.

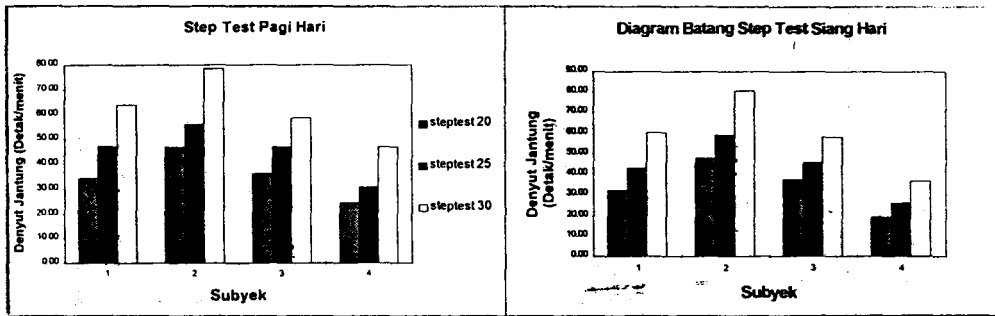
Hasil pengukuran denyut jantung pada tingkat beban daya yang berbeda-beda (yang makin meningkat sesuai

dengan *ergometer test* yang dilakukan) untuk subyek 1, subyek 3 dan subyek 4 menunjukkan kecenderungan meningkat, baik pada data awal, maupun pada data awal yang sudah dikurangi data denyut jantung waktu istirahat awal.

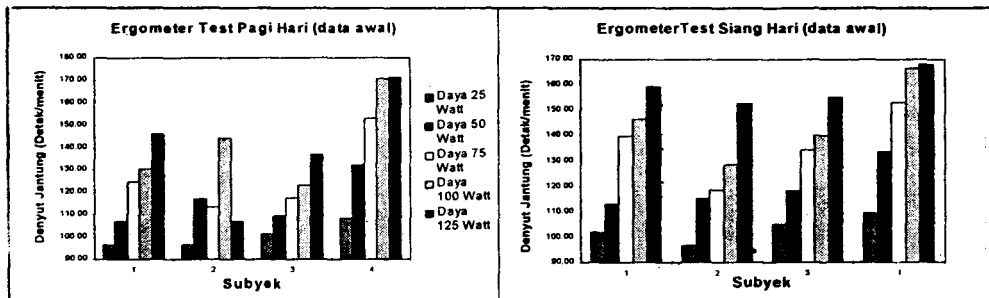
Secara umum pola denyut jantung subyek yang diamati adalah mengikuti pola grafik yang disajikan pada Gambar 3. dan Gambar 4. Titik-titik puncak yang terdapat pada setiap kurva denyut jantung (Gambar 3 dan Gambar 4) menyatakan denyut jantung maksimum yang tercatat pada setiap akhir pengamatan dari pengukuran denyut jantung, yang kemudian dilanjutkan dengan waktu istirahat. Sehingga kurva denyut jantung akan menurun pada kondisi subyek sedang istirahat.



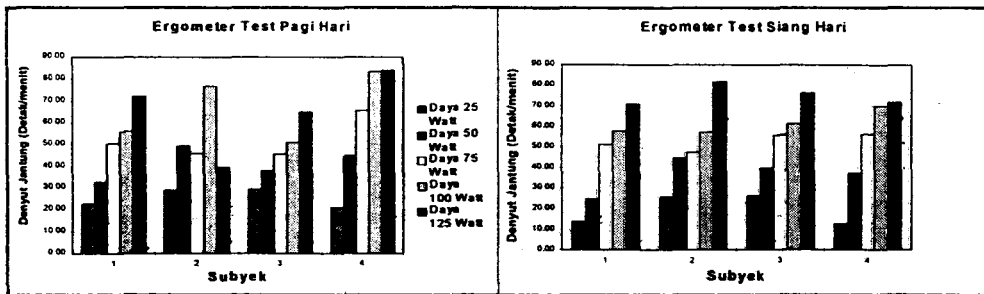
Gambar 1a. Data Awal Hasil Pengamatan *Step Test* Pagi Hari dan Siang Hari



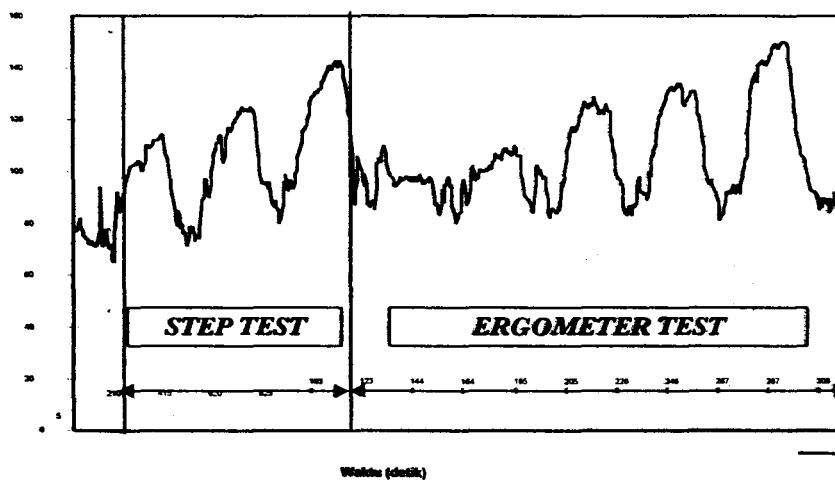
Gambar 1b. Data Awal Dikurangi Data Denyut Jantung Saat Istirahat Awal Hasil Pengamatan *Step Test* Pagi Hari dan Siang Hari



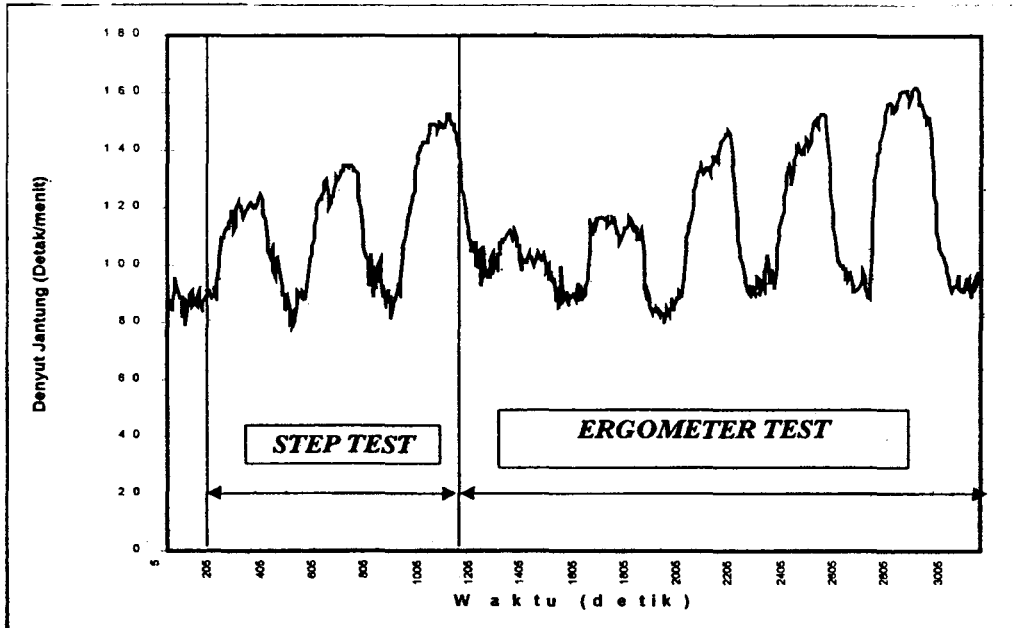
Gambar 2a. Data Awal Hasil Pengamatan *Ergometer Test* Pagi Hari dan Siang Hari



Gambar 2b. Data Awal Dikurangi Denyut Istirahat Awal Hasil Pengamatan Ergometer Test Pagi dan Siang Hari



Gambar 3. Pola Denyut Jantung Saat Step Test dan Ergometer Test untuk Subyek 1, pada Pagi Hari



Gambar 4. Pola Denyut Jantung Saat *Step Test* dan *Ergometer Test* untuk Subyek 1, pada Siang Hari

Analisis Regresi Untuk Pola Hubungan Daya Dengan Denyut Jantung

Untuk menetapkan pola hubungan antara daya dengan denyut jantung setiap subyek saat melakukan aktivitasnya terlebih dahulu ditetapkan skenario penyajian data untuk model regresi yang akan dibuat.

Skenario tersebut antara lain :

1. Level uji untuk *ergometer test* ke 1 dimulai dari 25 Watt, data denyut jantung sesuai dengan pengamatan
2. Level uji untuk *ergometer test* ke 1 dimulai dari 25 Watt, data denyut jantung dikurangi terlebih dahulu dengan data denyut jantung saat istirahat awal
3. Level uji untuk *ergometer test* ke 1 dimulai dari 0 Watt dengan data

denyut jantung diasumsikan sama dengan data denyut jantung saat istirahat awal

Model regresi yang menyatakan hubungan antara daya dengan denyut jantung ini sangat penting dalam kaitannya dengan pendugaan nilai daya yang dikeluarkan setiap subyek dalam tiap aktivitas yang dilakukannya untuk waktu pengamatan yang berbeda. Contoh hasil perhitungan persamaan regresi tersebut disajikan pada Tabel 4.

Penentuan Faktor Koreksi Data/ Kalibrasi Data Pengamatan

Untuk mendapatkan gambaran umum daya yang dikeluarkan oleh setiap subyek dalam tiap kegiatan yang dilakukannya berdasarkan data denyut jantung yang diperoleh, terlebih dahulu harus dilakukan kalibrasi data sehingga

mendekati nilai yang sebenarnya. Kalibrasi dilakukan dengan menetapkan faktor koreksi data yang diperoleh dengan cara membandingkan data *step test* 25 siklus per menit saat awal (d_1) pengujian dengan data *step test* 25 siklus per menit yang diambil pada waktu pengamatan di hari berikutnya

(d_2). Bila d_2 lebih kecil dari d_1 , maka faktor koreksi data adalah $= d_1/d_2$. Demikian sebaliknya bila d_2 lebih besar dari d_1 , maka faktor koreksinya adalah $= d_2/d_1$.

Selanjutnya Kalibrasi data dari data pengamatan adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Persamaan Regresi Hasil Perhitungan Dari Berbagai Penyajian Data

Subyek	Untuk Data Denyut Jantung Awal Tanpa Perubahan (pagi hari)		Untuk Data Denyut Jantung Awal Dikurangi Istirahat (pagi hari)		Untuk Data Daya Mulai Dari Nol & Denyut Jantung = Saat Istirahat (pagi hari)	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
1	Y=0.489X+84.344	0.983	Y=0.489X+10.124	0.983	Y=0.547X+79.042	0.978
3	Y=0.338X+92.378	0.978	Y=0.338X+20.438	0.978	Y=0.576X+85.974	0.963
4	Y=0.658X+97.711	0.932	Y=0.658X+10.381	0.932	Y=0.718X+92.275	0.958

Keterangan : Y= denyut jantung dan X = daya output

Tabel 5. Hasil Hitung Faktor Koreksi Data Denyut Jantung untuk Kalibrasi

Denyut Jantung Saat <i>Step Test</i> 25 Siklus/menit untuk Faktor Koreksi Data (dalam detak/menit)						
Subyek Pengamatan	Awal Pengukuran		Uji Aktivitas		Faktor Koreksi	
	Pagi	Siang	Pagi	Siang	Pagi	Siang
Subyek 1	121.39	131.56	121.39	131.56	1.00	1.00
Subyek 3	118.72	124.39	112.06	118.44	1.06	1.05
Subyek 4	118.11	122.67	110.94	116.00	1.06	1.06

Tabel 6. Data Pengamatan dan Data Hasil Kalibrasi Pengukuran Denyut Jantung

Subyek	Aktivitas	Denyut Jantung Pengamatan (detak/menit)		Denyut Jantung Hasil Kalibrasi (detak/menit)	
		Pagi	Siang	Pagi	Siang
Subyek 1	Menggergaji kayu	95.67	103.88	95.67	103.88
Subyek 3	Menyerut kayu	115.06	103.40	121.96	108.57
	Menyapu lantai	99.53	102.40	105.50	107.52
Subyek 4	Menggergaji kayu	99.76	99.71	105.75	104.70
	Memindahkan beban	95.15	115.00	100.86	120.75
	Menggali tanah dengan linggis	118.33	132.44	125.43	140.39
	Mencangkul tanah	126.67	144.33	134.27	152.99
	Menyekop tanah	119.00	131.44	126.14	139.33

Catatan : Untuk subyek 1, pengukuran beban kerja dilakukan langsung setelah pengukuran awal *Step Test* dan *Ergometer Test*, sehingga waktu istirahat yang dihitung sama.

Tabel 7. Perhitungan Perkiraan Daya Menurut Model Persamaan Regresi Berdasarkan Data Denyut Jantung Yang Dikalibrasi

a. Data Denyut Jantung Pagi Hari (detak/menit)

Subyek	Aktivitas	Data Pagi Hari	Perkiraan Daya Menurut Model 1	Perkiraan Daya Menurut Model 2*)	Perkiraan Daya Menurut Model 3
1	Menggergaji kayu	96.57	24.96	24.96	31.87
3	Menyerut kayu	115.06	66.71	66.35	50.16
	Menyapu lantai	99.53	21.03	20.68	23.38
	Menggergaji kayu	99.76	21.71	21.35	23.78
	Memindahkan beban	95.15	8.15	7.79	15.83
4	Menggali dengan linggis	118.33	31.24	54.55	36.18
	Mencangkul tanah	126.67	43.88	51.45	47.78
	Menyekop tanah	119.00	32.26	39.83	37.11

b. Data Denyut Jantung Siang Hari (detak/menit)

Subyek	Aktivitas	Data Siang Hari	Perkiraan Daya Menurut Model 1	Perkiraan Daya Menurut Model 2*)	Perkiraan Daya Menurut Model 3
1	Menggergaji kayu	103.88	27.10	25.03	26.56
3	Menyerut kayu	103.40	18.92	15.76	48.27
	Menyapu lantai	102.40	16.88	13.71	46.04
	Menggergaji kayu	99.71	11.39	8.22	40.07
	Memindahkan beban	115.00	42.59	39.43	74.04
4	Menggali dengan linggis	132.44	52.08	78.02	53.44
	Mencangkul tanah	144.33	71.90	97.83	72.32
	Menyekop tanah	131.44	50.42	76.35	51.86

*) Nilai data hasil kalibrasi dikurangi data denyut jantung saat awal istirahat

Perkiraan Daya Menurut Persamaan Regresi Tiap Skenario

Dengan menggunakan persamaan regresi yang dapat dibuat menurut masing-masing skenario, diperoleh hasil perkiraan daya menurut denyut jantung yang diukur untuk masing-masing subyek. Hasilnya adalah seperti yang disajikan pada Tabel 7.

Dari hasil perhitungan di atas, apabila dilihat dari hasil akhir perkiraan dayanya saja, maka agak sulit untuk menentukan model persamaan regresi menurut skenario mana yang akan dipilih. Akan tetapi bila dilihat dari Koefisien korelasi R ataupun koefisien determinasinya, yaitu R^2 , maka dari ketiga model yang dibuat agaknya model skenario yang ke 3 relatif lebih baik untuk digunakan. Model skenario ke 3 tersebut yaitu :

Data awal untuk daya = 0 Watt dengan denyut jantung saat tersebut = denyut jantung saat awal istirahat (istirahat saat belum memulai aktivitas). Disamping itu dengan model skenario ke 3 ini kemungkinan munculnya hasil pengukuran yang bernilai negatif dapat dihindari.

Ada lima pekerjaan yang dapat dikelompokkan menurut denyut jantung yang diukur (Bidger, 1995), yaitu :

1. Kerja Ringan, untuk denyut jantung lebih kecil dari 90 detak per menit
2. Kerja Sedang, untuk denyut jantung antara 90 - 110 detak per menit
3. Kerja Berat, untuk denyut jantung antara 110 - 130 detak per menit
4. Kerja Berat Sekali, untuk denyut jantung antara 130 - 150 detak per menit
5. Kerja Sangat Berat Sekali, untuk denyut jantung antara 150 - 170 detak per menit

Sedangkan American Industrial Hygiene Association mengelompokkan pekerjaan ke dalam tujuh tingkatan kerja (Mc Cormick E.J. et.al. 1987), yaitu:

Tabel 8. Tingkatan Kerja Menurut Denyut Jantung

Tingkat kerja	Denyut Jantung per menit
Istirahat	60 - 70
Sangat ringan	65 - 75
Ringan	75 - 100
Sedang	100 - 125
Berat	125 - 150
Sangat Berat	150 - 180
Luar Biasa	>180

Dengan mengacu pada pengelompokan menurut American Industrial Hygiene Association tersebut di atas, maka aktivitas yang telah dilakukan oleh subyek yang diamati secara umum (Tabel 7) adalah merupakan pekerjaan yang berkisar antara kerja ringan hingga kerja berat, oleh karena denyut jantungnya berada diantara 95.15 detak/menit hingga 144.33 detak/menit.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis data dan pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk memperkirakan besarnya daya yang diperlukan untuk melakukan suatu aktivitas dengan menggunakan data penduga denyut jantung sebaiknya digunakan model skenario "Data awal untuk penentuan persamaan regresi di mulai dari 0 Watt dengan data denyut jantung saat itu diasumsikan sama dengan denyut jantung saat awal istirahat". Hal ini didasarkan atas nilai koefisien korelasi atau koefisien determinasinya yang umumnya lebih tinggi.

Kalibrasi data pengamatan untuk waktu pengamatan yang berbeda mutlak dilakukan mengingat perbedaan denyut jantung yang kentara dari waktu ke waktu dan dari jenis pekerjaan yang berbeda, akan besar pengaruhnya terhadap hasil perkiraan daya berdasarkan denyut jantung tersebut. Untuk lebih meyakinkan secara statistik sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan dari beberapa skenario yang dibuat dengan jenis pekerjaan yang sama namun untuk subyek yang berbeda-beda, sehingga akan terlihat jelas nilai signifikansi pendekatan yang digunakan.

Berdasarkan hasil pengukuran denyut jantung untuk berbagai aktivitas pekerjaan yang dilakukan oleh beberapa subyek, pekerjaan yang dapat dikategorikan sebagai pekerjaan ringan adalah memindahkan beban dengan berat rata-rata 5 kg. Sedangkan jenis pekerjaan yang dapat dikategorikan sebagai pekerjaan berat adalah mencangkul tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, R.M., 1980. Motion and Time Study. Design and Measurement of Work. Seventh Editions. John Wiley & Sons. Singapore.
- Bridger, R.S., 1995. *Introduction to Ergonomics*. Mc Graw Hill. International Editions. Singapore.
- Dadang D. Hidayat, R.H. Mac Millan, O.M. Evans, 1993. Measurement of Heart Rate During a Simulated Agricultural Activity - Spraying With Knapsack. Spray Unit. *Jurnal teknik Pertanian*. Volume 3 No.1 Desember 1993.
- Hayashi N., Shoji Moriizumi, Haochun Jin, 1997. The Step Stress Test As a New Type Of Ergonometer Using Both Oxygen Consumption and Heart Rate. *Paper of proceeding on the XXVII International Congress on Work Sciences*. Hungary.
- Mc Cormick E.J., Mark S. Sanders. 1987. *Human Factors in Engineering and Design*. Mc Graw Hill. New York. USA.
- Sam Herodian, 1997. Workload Calibration by Using Step Test Method. *Paper of Proceeding on the XXVII International Congress on Work Sciences*. Hungary.
- Sam Herodian, 1995. Study of Farm Work Technology of Rice Production in Indonesia and Japan. A Work Load Analysis Approach. The United Graduate school Tokyo University of Agriculture and technology.