

## KAPASITAS AEROBIK MAKSIMUM DAN PERSAMAAN PREDIKSI KONSUMSI OKSIGEN PADA PEREMPUAN PEKERJA INDUSTRI

Hardianto Iridiastadi<sup>1</sup>, Aminah Soleman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik dan Manajemen Industri, Institut teknologi Bandung,

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Pattimura Ambon

Email: [iridiastadi@yahoo.ac.id](mailto:iridiastadi@yahoo.ac.id)<sup>1</sup>, [aminahsoleman@gmail.com](mailto:aminahsoleman@gmail.com)<sup>2</sup>

### ABSTRAK

Peningkatan produktivitas merupakan suatu kebutuhan untuk kemajuan industri di Indonesia yang merupakan industri padat pekerja. Produktivitas akan meningkat jika beban kerja tidak melebihi kapasitas kerja. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kapasitas aerobik maksimum ( $VO_2\max$ ) dan mengembangkan persamaan prediksi konsumsi oksigen padaperempuan pekerja industri dengan mencari hubungan antara variabel denyut jantung; variabel antropometri; dan variabel demografi dalam mengestimasi konsumsi oksigen yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung konsumsi energi untuk menilai beban kerja fisik. Kemudian melakukan validasi model dengan simulasi pekerjaan *manual material handling* (MMH) dan aktivitas *jogging*.

Lima belas orang perempuan pekerja industri yang berusia 20-25 tahun dijadikan responden penelitian untuk mencari nilai konsumsi oksigen maksimum dengan menggunakan protokol eksperimen *maximal test* dan untuk membuat persamaan konsumsi oksigen dengan menggunakan protokol eksperimen *submaximal test*. Selanjutnya, 10 orang berusia 20-25 tahun perempuan pekerja industri lainnya dijadikan responden melakukan eksperimen pengujian kinerja persamaan yang telah dibuat. Persamaan konsumsi oksigen dibuat dengan menggunakan metode regresi linear majemuk.

Indikasi dari hasil penelitian ini diperoleh kapasitas aerobik maksimum pada perempuan pekerja industri adalah sebesar **2,5 liter/menit (SD = 0.69)**. Model Persamaan prediksi konsumsi oksigen yang dihasilkan pada penelitian ini adalah

$$VO_2 = 0.012HR + 0.018TB - 3.377$$

Dimana  $VO_2$  = konsumsi energi (liter/menit),  $HR$  = Denyut jantung (denyut/menit),  $TB$  = Tinggi badan (cm);  $R^2 = 0.598$ ,  $adjR^2 = 0.579$

Pada Hasil uji validasi, baik dari aktivitas *jogging* maupun aktivitas MMH menunjukkan bahwa ada perbedaan antara nilai rata-rata antara variansi hasil pengukuran konsumsi secara langsung dengan hasil prediksi dengan

menggunakan persamaan baik pada aktivitas *jogging* maupun aktivitas simulasi MMH.

**Kata kunci:** *konsumsi oksigen, kapasitas aerobik maksimum, energi ekspenditur.*

### ABSTRACT

*Increasing the productivity is important for the industry advancement in indoneisa which a labor intensive industry The worker productivity will increase if the workload does not exceed the work capacity. This research main is to determine aerobic capacity and to developed prediction equation for oxygen consumption of industrial workers women by finding relationship between heart rate, anthropometric variables, and demographic variable in order to estimate energy expenditure. Validity test of the prediction equation developed then validated by doing manualmaterial handling simulation and jogging.*

*Fifteen women workers aged 20-25 years participated in this research to find maximum physical capacity using maximal test protocol and to develop prediction equation of energy consumption using submaximal test protocol. Another 10 women workers aged 20-25 years participated to validate the equation. The equation obtained using multivariate linear regression*

*The results indicate of this studi had a maximum aerobic capacity ( $VO_2\max$ ) for industrial worker women is **2,5 liter/menit (SD = 0.69)**. Prediction Equation Model of Oxygen consumption resulted from this study is*

$$VO_2 = 0.012HR + 0.018TB - 3.377$$

*Where  $VO_2$  = Oxygen consumption*

*(liter/min),  $HR$  = Heart Rate (beat/min),  $TB$  = Body Height (cm);  $R^2 = 0.598$ ,  $adjR^2 = 0.579$*

*There is statistically significant difference between direct measure and prediction equation for oxygen consumption in material handling simulation and jogging activity.*

**Keyword :** *oxygen consumption, maximum aerobic capacity, energy expenditure.*

## PENDAHULUAN

Pekerjaan yang membutuhkan fleksibilitas yang tinggi, penggunaan manusia secara fisik tidak dapat dihindarkan, karena manusia memiliki kemampuan yang tidak terbatas hanya pada satu pekerjaan saja namun dapat melakukan lebih dari satu macam pekerjaan, dengan berbagai macam aktivitas fisik misalnya *lifting, handling, carrying, pushing, pulling*, dll. Permasalahan muncul apabila beban pekerjaan (*demand*) dan kapasitas manusia (*capacity*) yang tidak seimbang, hal ini sangat beresiko besar terjadinya kelelahan kerja dan pada akhirnya akan terjadi kesalahan kerja atau kecelakaan kerja. Oleh karena itu dalam mendesain suatu pekerjaan dan peralatan kerja perlu memperhatikan *demand* dan *capacity* manusia. Astrand dan Rodahl, (2003) menjelaskan bahwa agar beban pekerjaan tidak melebihi kapasitas kerja manusia adalah dengan mengetahui berat ringannya beban kerja dan mengukur aktivitas kerjanya. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah dengan menggunakan indikator konsumsi oksigen ( $VO_2$ ).

Christensen, (1991) dan Grandjen, (1993) merekomendasikan salah satu pendekatan untuk mengetahui berat ringannya beban kerja adalah dengan menghitung denyut jantung, konsumsi oksigen, kapasitas ventilasi paru dan suhu inti tubuh. Referensi lain juga menjelaskan untuk mengukur aktivitas kerja manusia adalah mengukur berapa besar tenaga yang dibutuhkan seseorang untuk melakukan pekerjaannya (Sutalaksana, et. al., 2006). Caranya dengan melihat kriteria fisiologisnya, yaitu dengan melihat perubahan fungsi alat-alat tubuh selama bekerja, yang meliputi denyut jantung, tekanan darah, output kardiak, ventilasi pulmonary, konsumsi oksigen, produksi karbondioksida, komposisi kimia dalam darah dan urin, suhu tubuh, dan tingkat pernafasan (Brouha, 1967).

Pengukuran pengeluaran energi metabolisme (*metabolic energy expenditure*) merupakan suatu pendekatan untuk mengukur kapasitas kerja fisik manusia karena besaran energi yang dikeluarkan diakibatkan oleh adanya kontraksi otot yang merupakan fungsi dari penggunaan oksigen. Menurut McCormick, (1993), Kroemer, et. al, (1994), Astrand dan Rodahl, (2003) Wickens, (2004), Firstbeat Technologies, (2007) menjelaskan bahwa konsumsi oksigen ( $VO_2$ ) merupakan variabel yang paling akurat untuk mengevaluasi intensitas aktivitas aerobik. Setelah diketahui nilai konsumsi oksigen seseorang dalam melakukan suatu pekerjaan, nilai pengeluaran energinya dapat diketahui dengan melakukan konversi. Konversi yang umum digunakan adalah pengeluaran energi sebesar 5 kkal (4,7 – 5,05 kkal) setiap liter oksigen yang dikonsumsi (Astrand dan Rodahl, 2003). Referensi lain menyebutkan bahwa setiap liter oksigen yang dikonsumsi maka rata-rata energi yang dikeluarkan adalah 4.8 kkal (Wickens et al., 2004). Cara untuk mengukur konsumsi oksigen yaitu dengan melakukan eksperimen di laboratorium, dimana responden diminta untuk melakukan pekerjaan fisik, misalnya dengan menggunakan sepeda ergometer, *treadmill*, atau *steps* (Kroemer et. al., 1997)

Panduan ergonomi diperlukan untuk mengevaluasi kebutuhan beban kerja agar tidak melebihi dari kapasitas dan kemampuan kerjanya. Hal ini dibuktikan bahwa dengan adanya peningkatan konsumsi oksigen seseorang berarti meningkat pula beban kerja fisiknya. Jika beban kerja seseorang sekitar 30%-40% dari kapasitas aerobik maksimal ( $VO_{2max}$ ) maka dia dapat mempertahankan pekerjaannya selama 8 jam kerja tanpa kelelahan yang berarti (Åstrand dan Rodahl, 1986 dalam Iridiastadi, 1997). Selain itu Sanders dan McCormick (1993), dan Wickens et al, (2004) juga menyatakan bahwa energi ekpenditur yang disarankan untuk bekerja 8 jam per hari adalah sebesar 33% dari kapasitas aerobik maksimumnya. Tetapi jika beban kerja fisiknya melebihi 50%  $VO_{2max}$  maka dia hanya dapat mempertahankan pekerjaannya hanya beberapa jam atau beberapa menit saja (Asfour et.al., 1988). Kapasitas individu dalam menggunakan oksigen (kapasitas aerobik) disebut dengan  $VO_{2max}$  (Bridger, 1995).

Beberapa literatur Astrand dan Rodahl (2003), Kroemer, et. al.,(1997), Wickens et. al., (2004), McCormick (1993) membuktikan bahwa korelasi konsumsi oksigen memiliki hubungan linier dengan denyut jantung. Selain dengan pengukuran langsung, konsumsi oksigen dapat diestimasi berdasarkan denyut jantung, maka dalam memprediksi pengeluaran energi dapat diketahui melalui banyaknya konsumsi oksigen dan denyut jantung.

Berdasarkan data BPS tentang ketenagakerjaan (2008), perkembangan perusahaan industri saat ini sebagian besar didominasi oleh perempuan, ini dibuktikan melalui laju pertumbuhan angkatan kerja perempuan pada periode 2003-2010 yaitu dari 38.6 juta orang pada

tahun 2003 menjadi 44.6 juta orang pada tahun 2010. Laju pertumbuhan tercatat sebesar 2.08% per tahun. Ini menunjukkan pola perkembangan angkatan kerja perempuan menunjukkan kecenderungan meningkat dan laju peningkatan angkatan kerja perempuan umumnya relatif besar, yang mana secara fisiologis wanita sangat rentan terjadi *fatigue*, karena secara fisik wanita membutuhkan energi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kebutuhan energi pria. Pulat, (1992) menjelaskan bahwa jumlah kebutuhan energi tergantung pada beberapa faktor, misalnya kondisi fisik tubuh, intensitas aktivitas, usia, jenis kelamin, postur dan berat badan. Wanita membutuhkan energi sebesar 2500 - 3000 kkal per hari, sedangkan energi yang dibutuhkan untuk pria sebesar 3000 - 3500 kkal per hari.

## METODOLOGI

### Perancangan Eksperimen

Tujuannya adalah agar tahapan dalam pelaksanaan eksperimen menjadi sistematis. Selain itu, perancangan eksperimen juga memberikan panduan dalam pelaksanaan eksperimen. Tahapan dalam perancangan eksperimen ini antara lain:

#### 1. Penentuan Responden

Berikut ini adalah penentuan kriteria responden yaitu, meliputi :

- Responden penelitian adalah berjenis kelamin wanita, karena penelitian tentang persamaan prediksi konsumsi oksigen pada pekerja industri pria di Indonesia telah dilakukan oleh Satriawan, (2008)
- Rentang usia 20-25 tahun (Usia produktif). Menurut data badan statistik, rata-rata usia kerja mulai dari 15 tahun keatas. Berikut ini menunjukkan jumlah pekerja industri di Indonesia pada bulan Februari 2007.
- Tidak memiliki riwayat penyakit kronik, yaitu berkaitan dengan jantung dan pernafasan dalam satu tahun terakhir. Keytel (2005) juga menggunakan responden penelitian yang terbebas dari masalah kardiovaskular dan gangguan metabolisme dalam kurun waktu minimal 3 pekan terakhir.
- Pekerja dari rantai produksi, karena pekerja dari rantai produksi banyak melakukan pekerjaan yang bersifat fisik seperti handling, lifting, pushing, dll.
- Tidak memiliki cacat fisik, inidimaksudkan agar responden dapat menjalankan semua prosedur eksperimen tanpa bantuan dan tidak mengalami gangguan apapun.
- Tidak merokok dan mengkonsumsi alkohol. Bridger, (1995) menyatakan bahwa kapasitas fisiologi kerja dipengaruhi oleh usia, berat badan, jenis kelamin, konsumsi alkohol, rokok, gaya hidup, olah raga, nutrisi, motivasi, populasi atmosfer, kualitas udara, ventilasi, ketinggian, kebisingan, serta panas dan dingin.
- Belum menikah atau melahirkan. Secara fisiologis tingkat kebugaran antara wanita yang sudah pernah melahirkan dibandingkan dengan wanita yang belum pernah melahirkan, akan berbeda tingkat kebugarannya baik dari perubahan kapasitas fisik maupun tingkat ketahanan (*endurance*).

#### 2. Pemilihan Protokol Eksperimen

Tahap pembuatan model terdiri dari tahap 1 dan tahap 2, yang masing-masing menggunakan protokol yang berbeda, yaitu sebagai berikut:

- Pada tahap 1 penelitian ini menggunakan protokol Keytel. Protokol ini bertujuan untuk menentukan kapasitas maksimum (kapasitas aerobik), yaitu Responden berlari di atas treadmill dengan kecepatan awal 6 km/jam dan dinaikan kecepatannya sebesar 0.5 km/jam setiap 30 detik.
- Pada tahap 2 menggunakan protokol Ellestad. Protokol ini digunakan untuk menentukan kapasitas submaksimal berdasarkan kapasitas maksimal pada tahap 1, yaitu Responden berlari di atas treadmill pada kecepatan 25%, 50%, 75% dari kecepatan maksimal yang telah didapat selama 15 menit. Kecepatan dinaikkan setiap stage tanpa istirahat.

Sedangkan pada tahap validasi terdiri dari tahap 3 dan tahap 4, yaitu sebagai berikut :

- Pada tahap 3 responden diminta untuk melakukan aktivitas *jogging* pada kecepatan yang ditentukan sendiri oleh responden selama 10 menit.

- Pada tahap 4 responden diminta melakukan aktivitas *Manual Material Handling* (MMH). Aktivitas MMH yang dilakukan ini diupayakan sedekat mungkin dengan aktivitas MMH yang ada di dunia industri. Untuk itu, dilakukan simulasi aktivitas MMH berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Al Munawwar, (2007) mengenai aktivitas pengangkatan kontainer plastik di Departemen *Welding Logistic PT. Toyota Motor Manufacturing* Indonesia Karawang Plant.

### 3. Persiapan peralatan

- Tempat

Kondisi lingkungan fisik selama eksperimen adalah sebagai berikut:

- Temperatur : 20°C -25°C
- Kelembaban : 70-80%
- Tekanan Udara : 925-926 mbar

- Peralatan Eksperimen

Peralatan eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Metabolic Analyzer*
2. *Treadmill*
3. Peralatan Pengukuran Antropometri
4. Peralatan MMH

## Pra Eksperimen

### 1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan (*Pilot Study*), dimaksudkan agar pelaksanaan eksperimen dapat berjalan sesuai dengan tujuan yang diinginkan, dan tetap pada langkah atau tahapan eksperimen, sehingga proses pengambilan data dapat berlangsung secara benar dan sistematis.

### 2. Perekrutan dan seleksi Responden

Perekrutan responden dilakukan dengan cara menyebarkan brosur dan melakukan observasi langsung ke perusahaan, sedangkan seleksi responden merupakan tahap screening melalui wawancara langsung, yaitu menanyakan apakah responden yang diminta telah memenuhi kriteria responden yang sudah ditentukan sebelumnya dan bagaimana motivasi mereka dalam menyelesaikan tahapan eksperimen yang akan dilakukan nanti.

### 3. Persiapan alat dan bahan

Sebelum responden melakukan eksperimen, terlebih dahulu responden diminta untuk :

- Responden mendengar penjelasan tentang langkah pelaksanaan eksperimen berdasarkan protokol yang telah dibuat.
- Responden diminta untuk mengisi lembar pengambilan data eksperimen, dan bersedia menandatangani formulir keikutsertaan dalam eksperimen.
- Responden diminta untuk mengukur tinggi dan berat badan.
- Responden diminta untuk membiasakan diri berlari diatas treadmill, dan beristirahat selama 1 jam atau setelah denyut jantung kembali normal atau jika responden sudah tidak merasakan kelelahan lagi.
- Setelah responden merasa kondisinya stabil, maka akan diukur denyut jantung awal.
- Responden diminta menggunakan *Polar HR transmitter belt* setelah diolesi *Ultrasound Transmission Gel* pada bagian dada (kontak dengan kulit), kemudian menggunakan masker yang sesuai dengan ukuran responden dan dikaitkan dengan headcup, serta menggunakan volume transducer dan sample line yang dipasang ke masker.
- Setelah *heart rate* dan RER (*Respiratory Expiratory Ratio*) terdeteksi pada monitor, responden siap untuk melakukan tahapan eksperimen, sesuai dengan protokol eksperimen yang telah ditentukan.

### 4. Prosedur Tahapan Eksperimen

#### Tahap 1

Pada penelitian tahap 1 ini, dilakukan pencarian konsumsi oksigen maksimum ( $VO_{2max}$ ) dengan menggunakan metode *maximal test*. Pada Tahap ini pencarian konsumsi oksigen maksimum ditentukan dengan menggunakan uji kolmogorv-Smirnov.

## Tahap 2

Penurunan persamaan prediksi  $VO_2$  dilakukan dengan menggunakan metode regresi linier dan melalui pemenuhan berbagai asumsi, yaitu asumsi linieritas, asumsi normalitas, uji independensi Error, uji *heteroscedasticity* dan *homocedasticity*, dan uji multikolonieritas. Kemudian menentukan variabel yang masuk didalam model dengan menggunakan metode stepwise.

## Tahap 3

Data yang didapat pada tahap ini (pengukuran secara langsung) akan dibandingkan dengan data prediksi yang didapatkan dari hasil persamaan pada tahap 2. Metode yang digunakan untuk membandingkan 2 sampel ini adalah dengan menggunakan statistik *paired sample T-Test*. Responden yang akan digunakan pada tahap 3 dan 4 ini merupakan responden yang berbeda pada tahap 2 dan 3. Setelah membandingkan 2 sampel tersebut kemudian akan diuji kekuatan *power-nya* (*uji power dan sample size*) dengan menggunakan *software minitab* versi 15.0

## Tahap 4

Kemudian data yang didapat pada tahap ini (pengukuran secara langsung) akan dibandingkan dengan data prediksi yang didapatkan dari hasil persamaan pada tahap 2. Metode yang digunakan untuk membandingkan 2 sampel ini adalah dengan menggunakan statistik *paired sample T-Test*, kemudian akan diuji kekuatan *power-nya* (*uji power dan sample size*) dengan menggunakan *software minitab* versi 15.0

## **Pengolahan Data**

Pada tahap pengolahan data ada tiga tahapan yang harus dilakukan yaitu pengolahan data yang dilakukan untuk mencari nilai kapasitas aerobik maksimum ( $VO_{2max}$ ), untuk membangun model prediksi  $VO_{2max}$  dan pengolahan data untuk uji validasi model prediksi  $VO_{2max}$ . Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software SPSS* versi 15,0.

## **HASIL**

Penentuan  $VO_{2max}$  dari lima belas responden dilakukan pada tahap 1, yang diperoleh nilai  $VO_{2max}$  sebesar **2,5 liter/menit, SD = 0,69**.NIOSH (1981) menyatakan bahwa kapasitas aerobik rata-rata wanita sehat 10,5 kkal/min, jika disetarakan dengan 2,5 l/menit untuk wanita, dimana 1 l/menit = 4,8 kkal/menit (Wickens et. al., 2004).

Hasil Perbandingan Nilai  $VO_2$  dari Persamaan Responden Wanita

HR (Dyt/mnt)	Berat (Kg)	Tinggi (Cm)	Usia (Thn)	Persamaan	$VO_2$ (l/mnt)	Energi (kkal/mnt)
				Penelitian ini (2009)	1,070	5,136
145	50	150	22	Rakhmaniar, (2007)	1,174	5,635
				Darby et. al., (1999)	2,178	10,454

Keterangan:

1 l/menit konsumsi oksigen = 4.8 kkal/menit (Wickens et. al., 2004)

1 kkal/menit = 4.184 kJ/menit

1 W = 0.01434 kkal/menit

## **Uji validasi pada Hasil Persamaan**

Berdasarkan hasil uji validasi dengan aktivitas *jogging* maupun MMH, diperoleh hasil bahwa model persamaan prediksi kapasitas aerobik memberikan hasil yang berbeda dengan pengukuran konsumsi oksigen secara langsung. Nilai signifikansi yang diberikan masing-masing adalah 0,028 dan 0,013 < 0,05, artinya dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan secara statistik diantara kedua variabel yang diuji, dengan kata lain, tolak  $H_0$ . Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran konsumsi oksigen dengan menggunakan persamaan (*metalyzer*) boleh jadi

dikatakan ada perbedaan signifikan secara statistik dengan pengukuran konsumsi oksigen secara langsung (*predict*) pada aktivitas jogging maupun aktivitas MMH. Hasil validasi ini dibuktikan dengan pengujian power, yakni masing-masing sebesar 41% dan 54% yang artinya hasil pengujian ini mempunyai probabilitas memberikan hasil yang benar dari masing-masing aktivitas kira-kira sebesar 41% dan 54%.

Perbedaan  $VO_2$ measure dan  $VO_2$ predict pada tahap3

No	$VO_2$ Measure	$VO_2$ Predict	d
1	1.856	1.696	0.160
2	1.278	1.6162	0.338
3	2.487	1.864	0.623
4	1.639	1.717	0.078
5	1.621	1.495	0.126
6	1.634	1.471	0.163
7	2.071	1.477	0.594
8	1.772	1.411	0.361
9	1.752	1.354	0.398
10	1.866	1.21	0.656
Jumlah	17.976	15.311	2.665
Rata-rata	3.268	2.784	0.485
St.dev	0.319	0.193	0.323

Perbedaan  $VO_2$ measure dan  $VO_2$ predict pada tahap4

Responden	VO2Measure	VO2Predict	d
1	0.706	1.108	-0.402
2	0.627	1.0282	-0.4012
3	1.173	1.348	-0.175
4	0.683	1.237	-0.554
5	0.701	0.847	-0.146
6	0.737	0.943	-0.206
7	0.955	0.937	0.018
8	0.722	0.583	0.139
9	0.651	0.742	-0.091
10	0.586	0.778	-0.192
<b>Total</b>	<b>7.541</b>	<b>9.55</b>	<b>-2.01</b>
Rata-rata	0.754	0.96	-0.20
St.dev	0.177	0.233	0.207

### Aplikasi di Industri

Konsumsi oksigen ( $VO_2$ ) adalah variabel yang paling akurat untuk mengevaluasi

kapasitas aerobik seseorang secara fisiologi, karena dengan mengetahui kapasitas aerobik maka akan diketahui kebutuhan energi untuk melakukan suatu pekerjaan.

Klasifikasi Beban kerja berdasarkan denyut jantung dan konsumsi oksigen untuk Pekerja Industri Wanita

Klasifikasi beban kerja	Detak jantung (dtk/menit)	Konsumsi oksigen (l/menit)	Energi Ekspenditur	
			Kkal/menit	Kkal/8 jam
Ringan	90	0,438	2,059	988
Moderat	100	0.652	3,064	1470
Berat	120	1,105	5,194	2493
Sangat berat	140	1,299	6,495	3117
Ekstrim berat	160	2,080	10,4	4992

Keterangan

1 liter oksigen = 4,7 – 5,0 kkal (Sutalaksana et. al., 2006)

Dengan memperhatikan bahwa energi ekspenditur yang disarankan untuk bekerja 8 jam per hari adalah sebesar 33% dari kapasitas aerobik maksimum (NIOSH,1981; Wickens et. al., 2004; dan McCormick, 1993), maka persamaan untuk menghitung nilai denyut jantung yang direkomendasikan untuk bekerja 8 jam per hari ( $HR \max_{8jam}$ ) tersebut adalah sebagai berikut:

Persamaan Konsumsi Oksigen:

$$VO_2 = 0.012HR + 0.018TB - 3.377$$

Dengan memasukkan bahwa nilai  $VO_2 \max_{8jam} = 33\% VO_2 \max$ , maka:

$$VO_2 \max \times 33\% = VO_2 \max_{8jam}$$

$$VO_2 \max \times 33\% = 0,012HR \max_{8jam} + 0,018TB - 3,37$$

$$2,50 \times 33\% = 0,012HR \max_{8jam} + 0,018TB - 3,37$$

$$0,825 = 0,012HR \max_{8jam} + 0,018TB - 3,37$$

$$4,222 = 0,012HR \max_{8jam} + 0,018TB \dots \dots \dots (pers.1)$$

Berdasarkan persamaan (1) di atas, jika dijadikan  $HR \max_{8jam}$  sebagai fungsi tinggi badan TB (cm), maka akan menjadi:

$$HR \max_{8jam} = \frac{4,222 + 0,018TB}{0,012}$$

Dengan mengetahui tinggi badan pekerja, maka dapat diketahui rata-rata denyut jantung maksimum. Denyut jantung maksimum secara langsung dapat menentukan kapasitas kerja maksimum atau tingkat pengeluaran energi maksimum individu (Wickens et. al., 2004). Hal ini dilakukan agar pekerja dapat beraktivitas dengan baik tanpa merasakan kelelahan. Dengan menggunakan konversi energi ekspenditur berdasarkan konsumsi oksigen, maka dapat diketahui energi ekspenditur yang dikeluarkan saat bekerja.

## KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas aerobik maksimum untuk mengetahui energi ekspenditur pada pekerja industri wanita dan membuat persamaan prediksi konsumsi oksigen berdasarkan variabel denyut jantung, variabel-variabel antropometri (tinggi badan dan berat badan); dan variabel demografi (usia). Dengan mengetahui kapasitas aerobik maksimum dan persamaan prediksi konsumsi oksigen, maka dapat diestimasi beban kerja fisiologis yang direkomendasikan. Dalam hal ini beban kerja fisiologis bagi pekerja industri wanita untuk dapat bekerja 8 jam sehari adalah sekitar 33% dari kapasitas fisiologi maksimum. Maka kapasitas aerobik maksimum ( $VO_2 \max$ ) yang dihasilkan dari dari lima belas pekerja

industri wanita, adalah sebesar **2,5±0,69 liter/menit**. Sedangkan konsumsi oksigen maksimum relatif terhadap berat badan ( $VO_2$ 'max) adalah sebesar **52,84±15,58 ml/menit/kg**.

Persamaan konsumsi oksigen yang dihasilkan dari penelitian ini menggunakan metode regresi linier majemuk, yang diperoleh hasil sebagai berikut:

$$VO_2 = 0.012HR + 0.018TB - 3.377$$

Dengan:

$VO_2$  : Konsumsi oksigen (liter/menit)

HR : Denyut Jantung (denyut /menit)

TB : Tinggi Badan (cm)

Persamaan yang telah dihasilkan kemudian dilakukan uji validasi. Aktivitas simulasi yang dilakukan adalah aktivitas *jogging* dan *manual material handling*. Hasil yang diperoleh dari kedua aktivitas ini menunjukkan bahwa ada perbedaan antara nilai rata-rata antara variansi hasil pengukuran konsumsi secara langsung dengan hasil prediksi dengan menggunakan persamaan baik pada aktivitas jogging maupun aktivitas simulasi MMH. Meskipun demikian, nilai *power* dari tahap validasi untuk masing-masing aktivitas ini cenderung besar yaitu masing-masing sebesar **41%** dan **53,8%**.

Sedangkan penerapannya di Industri adalah dengan melakukan evaluasi beban kerja fisik yang dilakukan dengan memperhatikan energi yang dibutuhkan saat bekerja dan dibandingkan dengan energi ekpenditur dari pekerja. Selain itu, dapat menghitung denyut jantung maksimum secara langsung sehingga dapat menentukan kapasitas kerja maksimum selama 8 jam atau tingkat pengeluaran energi maksimum selama 8 jam dari pekerja industri wanita, sehingga tidak menimbulkan kelelahan fisik bagi pekerja.

## REFERENSI

- Astrand, P.O. and K. Rodahl (2003), *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill BookCompany, New York.
- Bridger, R.S. 1995. *Introduction to Ergonomics (International Edition)*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Brouha, L. (1960), *Physiology in Industry*, Pergamon
- Byrne, N. M. And A. P. Hills (2002), Relationships between HR and  $VO_2$  in the Obese Med. Sci Sports Exerc. 34(9) : 1419-1427
- Darby, LynnA., and Roberta L. Pohlman (1999), Prediction of Max  $VO_2$  for woman : Adaptation of the Fox Cycle Ergometer Protocol, *Journal of Exercise Physiology online* 2(4)
- Grandjean, E. (1988), *Fitting the Task to the Man* (4<sup>th</sup>ed.), Taylor & Francis, Ltd., London
- Hair, J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham, and W.C. Balck (1998), *Multivariate Data analysis* (5<sup>th</sup>), Ptentice-Hall International Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- <http://oak.cats.ohiou.edu/rana/447Protocols.html> tentang protokol *treadmill* (tanggal akses: 25 April 2007)
- Iridiastadi, H. (1997), *Maximum Aerobic Capacity and Physiological Fatigue Limit of Combined Manual Material Handling Task*, Departement of Industrial and Manufacturing System Engineering Louisiana State University
- Kamalakkanan, B.,W. Groves, and A. Freivalds (2007), Predictive Models for Estimating Metabolic Workload based on Heart rate and Physical characteristics, *The Journal of SH&E Research* 4(1).
- Kytel, L.R., et al. (2005), Prediction of energy Expenditure from Heart Rate Monitoring during Submaximal Exercise, *Journal Of Sports Sciences* 23(3):289-297
- Kroemer, Kroemer, and Kroemer-Elbert (1994), *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency*, Prentice-Hall, Inc.
- McCormick, Ernest J. 1993. *Human Factors in Engineering and Design* (7<sup>th</sup> edition). New York: McGraw-Hill.
- Pennathur, Arunkumar, A. Lopes, and L. R. Contreras (2004), Aerobic Capacity of Young Mexican American Adults, *International Journal of Industrial Ergonomics* 35 ; 91-103.
- Pulat, mustafa B. (1992). *Fundamentals of Industrial Ergonomics*. USA: Waveland Press, Inc.

Sanders, M.S. and E.J. McCormick (1993), *Human Factors in engineering and Design* (7<sup>th</sup> ed.), McGraw-Hill Book Company, New York.

Sutalaksana, I. Z., R. Anggawisastra, J.H. Tjakraatmadja (2006), *Teknik Tata Cara Kerja*, jurusan Teknik Industri ITB, Bandung.

Wickens, C. D, et al. (2004), *An Introduction to Human Factors Engineering* (2<sup>nd</sup>ed.), Parson Prentice Hall, New Jersey.