



ANALISIS BEBAN KERJA DAN PENGEMBANGAN PERSAMAAN PREDIKSI KONSUMSI OKSIGEN

WORKLOAD ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF PREDICTIVE MATHEMATICAL MODEL OXGEN CONSUMPTION

Moden Purba

Program Studi Teknik Industri, Universitas Riau Kepulauan, Batam, Indonesia
modenpurba@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis beban kerja pada mahasiswa dan mengembangkan persamaan prediksi konsumsi oksigen pada mahasiswa tersebut. Pada penelitian ini, beban kerja yang dilakukan apakah masih dalam batas normal serta mengembangkan persamaan konsumsi VO₂ bagi masing-masing jenis pekerjaan tersebut dengan melakukan penelitian menggunakan sepeda ergonometer dan pengangkatan beban secara manual. Data diperoleh dari pengambilan data denyut jantung, serta data kesehatan mahasiswa pekerja, diolah dan dicari persamaan prediksinya menggunakan metode statistik. Uji multikolinearitas antar variabel independen dan metode stepwise. Hasil penelitian menunjukkan dari 240 mahasiswa, 80% mahasiswi bekerja di elektronika sedangkan sisanya di bidang lain dan tidak bekerja. Selain itu juga pada pengukuran submaksimal menggunakan sepeda ergocycle menunjukkan pada menit ke-8 terjadi penurunan denyut jantung dan begitu juga pada pengangkatan benda secara manual terjadi penurunan heart rate pada menit ke-10 dan diklasifikasikan dalam pekerjaan ekstrim. Selain itu juga ada hubungan antara VO₂ maksimum dengan heart rate sehingga didapat persamaan VO₂ Max = 11.531 – 0.056 x heart rate dan VO₂ max = 23.910 – 0.141 x heart rate.

Kata kunci: Beban Kerja; Pengembangan Persamaan; Prediksi; Konsumsi Oksigen

Abstract

This study aims to analyze the workload on students and develop prediction equations for oxygen consumption in these students. manual lifting. The data was obtained from taking heart rate data, as well as data on the health of working students, processed and looking for predictive equations using statistical methods. Multicollinearity test between independent variables and stepwise method. The results showed that out of 240 students, 80% of the female students worked in electronics while the rest worked in other fields and did not work. In addition, the submaximal measurement using an ergocycle showed that in the 8th minute there was a decrease in heart rate and similarly in lifting objects, there was a decrease in heart rate in the 10th minute and it was classified as extreme work. In addition, there is also a relationship between maximum VO₂ and heart rate so that the equation VO₂ Max = 11.531 – 0.056 x heart rate and VO₂ max = 23.910 – 0.141 x heart rate is obtained.

Keywords: Workload; Equality Development; predictions; Oxygen Consumption

PENDAHULUAN

Batam merupakan kota industri memiliki ratusan industri besar yang biasanya menjalankan usahanya di dalam kawasan-kawasan industri yang banyak berdiri di Batam. Kawasan-kawasan terbagi dalam beberapa kelompok yang menghasilkan produk sejenis seperti kawasan industri elektronik. Industri shipyard, industri pipa/supporting part. industri rigging



untuk pengeboran minyak. Masing-masing jenis industri besar ini memiliki beban kerja yang berbeda-beda. Untuk industri dengan jenis usaha elektronik sebagian besar karyawan adalah wanita. dan jenis usaha lainnya sebagian besar adalah pria.

Permasalahan muncul apabila beban pekerjaan dan kapasitas manusia 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. Cara 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 (VO₂).

Menurut Sukawati (2020) nilai VO₂ merupakan gambaran aktivitas dari kemampuan paru-paru mengambil oksigen. kemampuan jantung memompa darah. kemampuan hemoglobin mendistribusikan oksigen. Kemampuan otot mendapatkan suplai oksigen dan kemampuan mitokondria serta enzim tubuh untuk menghasilkan energi sehingga pengukuran konsumsi oksigen ini dapat menggambarkan organ-organ tersebut dalam satu integritas.

Hasibuan (2015) mengatakan bahwa secara lebih sederhana maksud dari produktivitas adalah perbandingan secara ilmu hitung antara jumlah yang dihasilkan dan jumlah setiap sumber yang dipergunakan selama produksi berlangsung. Sumber tersebut dapat berupa tanah, bahan baku pabrik, mesin dan tenaga kerja. Faktor sumber daya manusia ini merupakan elemen yang harus diperhatikan oleh perusahaan terutama apabila mengingat bahwa era perdagangan bebas akan segera dimulai dimana iklim kompetisi yang dihadapi akan sangat berbeda.

Ergonomi dan Fisiologi Kerja

Untuk memudahkan pemahaman mengenai ergonomi. maka ruang lingkupnya terdiri atas beberapa bagian:

- a. Ergonomi Fisik: berkaitan dengan anatomi tubuh manusia, antropometri, karakteristik fisiologi dan biomekanika yang berhubungan dengan aktifitas fisik
- b. Ergonomi kognitif: berkaitan dengan mental manusia seperti persepsi, ingatan, reaksi sebagai hasil akibat dari interaksi manusia terhadap elemen didalamnya
- c. Ergonomi organisasi berkaitan dengan optimasi sistem. struktur organisasi dan proses



- d. Ergonomi lingkungan yang berkaitan dengan pencahayaan, temperatur, kebisingan. dan getaran.

Beberapa metode didalam lingkungan kerja dipakai untuk menilai keergonomisan suatu lingkungan kerja antara lain:

- a. Diagnosis dengan melakukan wawancara. Inspeksi terhadap kondisi lingkungan kerja
- b. *Treatment* dilakukan dengan membuat perlakuan-perlakuan khusus dan melihat reaksi dari perlakuan yang dibuat
- c. *Follow up* dengan melakukan evaluasi yang subyektif atau obyektif mengenai kenyamanan dan atau ketidaknyaman yang ditimbulkan seperti nyeri. kepala pusing, dan lain-lain.

Fisiologi kerja merupakan salah satu ilmu yang mempelajari bagaimana kinerja atau fungsi tubuh dan komponen-komponennya. Menurut Astrant dkk (2013) tujuan dari fisiologi kerja adalah mempelajari kinerja seseorang dalam menyelesaikan pekerjaan tanpa mengalami kelelahan pada akhir hari kerja dan masih ada tenaga yang cukup agar pekerja dapat menikmati waktu luang akhir pekannya.

Kapasitas Kerja Fisik

Pada saat melakukan kerja fisiknya. terdapat proses kontraksi otot yang didukung oleh proses metabolisme oksidasi didalam sel otot. Beban kerja otot tersebut dinyatakan dengan banyaknya konsumsi oksigen dalam liter per menit. Dalam satu liter yang dikonsumsi sama dengan 5 kkal (20J) Salah satu indikator dalam mengevaluasi kapasitas kerja fisik adalah kapasitas aerobik maksimal atau maximal physical work capacity. Konsumsi maksimum oksigen (VO₂ max) menggambarkan kemampuan seseorang dalam memperoleh oksigen. MPWC dapat diketahui dengan adanya kapasitas maksimu jantung dan paru-paru dalam mengirimkan oksigen ke otot-otot yang bekerja.

Pengukuran beban kerja dan konsumsi oksigen

Pengukuran energi yang dibutuhkan saat bekerja pada umumnya dapat dilakukan dengan pengukuran tidak langsung dengan menghitung jumlah oksigen yang digunakan per satuan waktu. Evaluasi nilai absolute kebutuhan energi setiap individu dengan mengklasifikasikan pekerjaan menurut jenisnya.



Menurut Soleman (2009) ketika suatu pekerjaan dilakukan maka konsumsi oksigen merupakan tolak ukur pengukuran produksi metabolisme energi. Metode evaluasi konsumsi oksigen merupakan metode yang dapat diandalkan dalam proses metabolisme. Menurut Kroemer dkk (2007) rata-rata nilai energi sama dengan 5 kkal/liter oksigen. Selain itu juga dengan menggunakan nilai dari normogram Astrand Ryhming dapat juga diprediksi penggunaan VO₂.

Uji Statistik

Terdapat beberapa pengujian statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu: Asumsi linieritas, Asumsi kenormalan, Uji independensi Error, Uji multikolinearitas antar variabel independent, Interpretasi hasil.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Analisis Perancangan Kerja dan Ergonomi Teknik Industri Universitas Riau Kepulauan dengan objek penelitian ini adalah mahasiswa Teknik Industri yang mayoritas bekerja di industri elektronik dan galangan kapal. Objek penelitian ini adalah mahasiswi (wanita) yang bekerja di elektronik dan galangan kapal.

Adapun variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah:

a. Variabel Dependen meliputi:

1. Beban kerja yang dilakukan oleh pekerja
2. Konsumsi VO₂ max yang terkandung dalam tubuh pekerja

b. Variabel Independen meliputi: Umur, Jenis pekerjaan pekerja, Berat badan, Riwayat kesehatan dan Lamanya waktu kerja

HASIL DAN PEMBAHASAN

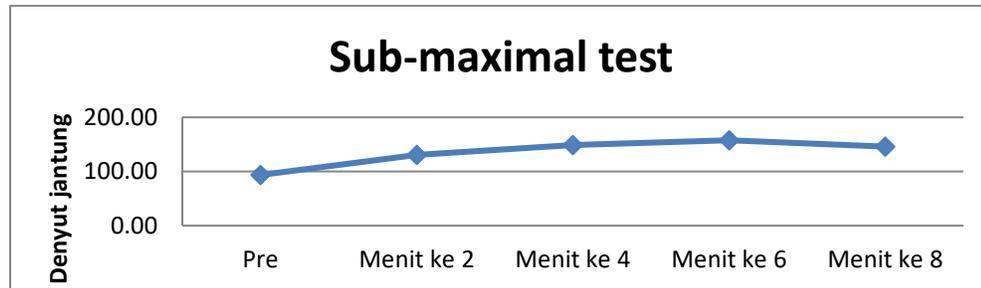
Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah mahasiswi Teknik Industri Universitas Riau Kepulauan (UNRIKA). Populasi tersebut diambil dari 4 angkatan yaitu angkatan 2013, 2014 dan 2015 dan 2016 Jumlah dari seluruh mahasiswa (pria dan wanita) 4 angkatan tersebut ialah 240 orang.

Aktivitas Konsumsi Oksigen

a. Submaximal test dengan mengayuh sepeda ergocycle

Pada aktivitas ini mahasiswi diminta untuk mengayuh sepeda dengan dan tanpa beban dengan durasi waktu 2 menit, 4 menit, 6 menit, dan 8 menit sehingga didapatkan denyut jantung per menit.

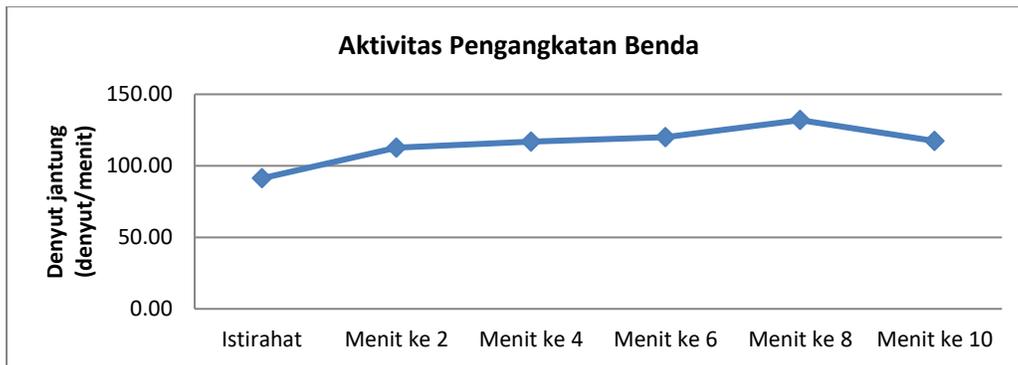


Gambar 3 Denyut nadi setiap dua menit pada kegiatan mengayuh sepeda

Pada kegiatan mengayuh sepeda ini, denyut nadi setelah dua menit mengalami peningkatan sampai pada menit ke-6. Namun pada menit ke-8 kemampuan jantung untuk beraktivitas berkurang sehingga denyut nadi berkurang. Prediksi VO₂ menggunakan teori Normogram Astrand-Ryhming dimana dari kegiatan ini rata-rata konsumsi VO₂ maksimum adalah 2.68 L/min dan berdasarkan tabel beban kerja maka diklasifikasikan sebagai pekerjaan ekstrim berat.

b. Aktivitas Pengangkatan beban manual (*manual material handling*)

Kegiatan ini dilakukan dengan mengangkat beban seberat 5 kg dari meja dan meletakkan kembali ke meja yang lain dengan jarak 3m serta dilakukan selama 10 menit. Pada pengangkatan benda secara manual menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai denyut jantung pada menit ke 10.



Gambar 7 Denyut nadi setiap dua menit pada kegiatan mengangkat benda

Dengan menggunakan gambar Normogram Astrand-Ryhming maka diprediksi menggunakan VO₂ max nya pada menit ke sepuluh rata-rata adalah 5.24 L/min artinya diklasifikasikan sebagai pekerjaan yang ekstrim.

Pengujian Statistik

1. Uji Kenormalan

a. Submaximal test dengan mengayuh sepeda ergocycle

Dari hasil pengujian statistik untuk uji kenormalan data menunjukkan bahwa data tinggi badan, berat badan, *heart rate* dan VO₂ max terdistribusi normal ($p > 0.05$) dimana tinggi badan = 0.774, berat badan = 0.615, *heart rate* = 0.498, dan VO₂ max = 0.743. Rata-rata nilai konsumsi VO₂ max untuk mahasiswa pekerja industri elektronik = 2.68 ± 0.498 liter/menit.

b. Aktivitas Pengangkatan beban manual (*manual material handling*)

Dari hasil pengujian statistik untuk uji kenormalan data menunjukkan bahwa *heart rate* dan VO₂ max terdistribusi normal ($p > 0.05$) dimana tinggi badan = 0.338, berat badan = 0.844, *heart rate* = 0.715, dan VO₂ max = 0.643. Rata-rata nilai konsumsi VO₂ max untuk mahasiswa pekerja industri elektronik pada proses *manual material handling* = 5.3 ± 0.378 liter/menit.

2. Asumsi Linearitas

Output SPSS untuk submaximal test dan aktivitas *manual material handling* menunjukkan bahwa hanya variabel *heart rate* yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap nilai dari



VO2 Max, sehingga hanya variabel *heart rate* saja yang nantinya akan masuk ke dalam model prediksi VO2 Max.

Tabel 1 Asumsi Linearitas

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HR	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: VO2

3. Independensi *error*

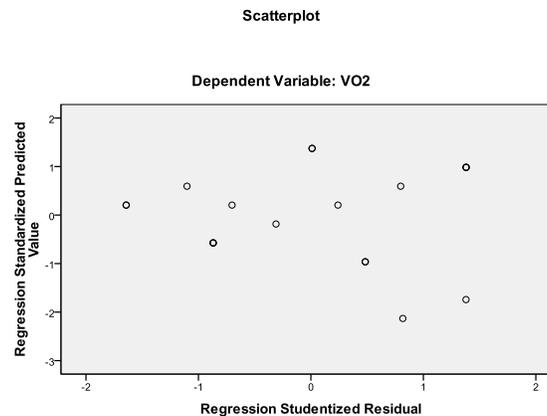
Pengujian asumsi independensi *error* dapat dilakukan dengan menghitung nilai Durbin-Watson (d). Nilai Dw diperoleh berdasarkan jumlah sampel (n) yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu 12 sampel dan jumlah variabel independen berpengaruh (k) yaitu 1 buah (*heart rate*). Berdasarkan nilai d yang didapat dari tabel Durbin-Watson dengan nilai $\alpha = 0,05$, $n=19$, $k=1$ yaitu $dL=1.18$ dan $dU=1.401$. Ketentuan Durbin-Watson statistic adalah:

- Tidak terdapat autokorelasi jika $dU < d < 4-dU$ sehingga batasnya adalah $1.401 < d < 2.599$
- Terdapat autokorelasi jika $dU < 1.18$ atau $dL > 1.401$

Dari hasil perhitungan SPSS menunjukkan bahwa untuk submaximal test d hitung Durbin Watson sebesar 1.864 dan aktivitas *manual material handling* sebesar 2.554, sehingga untuk kedua aktivitas tersebut tidak terjadi autokorelasi sehingga asumsi tidak adanya autokorelasi terpenuhi.

4. Pengujian *Homoscedasticity*

Pengujian ini dilakukan dengan membuat plot antara residu terhadap nilai prediksi variabel dependen VO2 max. Hasil SPSS menunjukkan bahwa *error* yang terjadi menyebar pada aktivitas *submaximal test* dan *manual material handling*. Selain itu tidak ada pola yang cenderung meningkat atau menurun, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat variansi *error* yang signifikan sehingga asumsi *homoscedasticity* terpenuhi (Adi dan Santraga, 2012).



Gambar 8 Plot Normalitas residual Regresi Linier

5. Pengujian Multikolinieritas Antar Variabel Independen

Pengujian Multikolinieritas bertujuan untuk menguji model regresi apakah ada ditemukan korelasi antara variabel independen. Model regresi dinyatakan tidak ada multikolinieritas jika VIF (Variance Inflation Factor) tidak melebihi 10 dan nilai toleransi > 0.10. Nilai VIF yang rendah akan menunjukkan kolinieritas yang rendah antar variabel independen. Hasil perhitungan menunjukkan VIF < 10(1.0) dan toleransi > 0.10 (1.0) untuk aktivitas *submaximal test* dan *manual material handling*.

Tabel 2 Coefficients Model Regresi

Model	Submaximal test	Collinearity Statistics		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF	Tolerance	VIF
1	(Constant)	1.000	1.000	1.000	1.000
	HR	1.000	1.000	1.000	1.000

6. Intepretasi Hasil

Berdasarkan hasil perhitungan asumsi linearitas menggunakan metode *stepwise* maka terdapat satu variabel yaitu *heart rate* dengan nilai *adjusted R²* sebesar 0.818 untuk aktivitas *submaximal test* dan 0.917 untuk *manual material handling*. Pada tabel 4 juga ditunjukkan nilai SSE (Standard Error of the Estimate) dimana semakin kecil nilai SSE maka akan semakin tepat pemodelan regresi linier dalam memprediksi nilai variabel dependen (Ghozali, 2015).



Tabel 4 Model Summary

Model Summary ^b					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	Jenis kegiatan
.910 ^a	.828	.818	.21231	1.864	Submaximal test
.960 ^a	.921	.917	.10927	2.554	manual material handling

Model regresi linier nantinya mempunyai nilai $R^2 = 91\%$ (Submaximal test) dan 96% (*manual material handling*). Berdasarkan tabel 5 dapat dibuat persamaan regresi sebagai berikut:

- a. $VO_2 \text{ Max} = 11.531 - 0.056 \text{ heart rate (submaximal test)}$
- b. $VO_2 \text{ max} = 23.910 - 0.141 \text{ heart rate (manual material handling)}$

dengan: $VO_2 \text{ Max} = \text{Konsumsi Oksigen Maksimum (liter/menit)}$

Tabel 5 Hasil Persamaan Regresi Untuk Submaximal Test dan Manual Material Handling

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.	Kegiatan
		B	Std. Error	Beta	t		
1	(Constant)	11.531	.978		11.793	.000	Submaximal Test
	HR	-.056	.006	-.910	-9.059	.000	
2	(Constant)	23.910	1.319		18.125	.000	Manual Material Handling
	HR	-.141	.010	-.960	-14.110	.000	

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Pada penelitian ini 80% mahasiswi bekerja di elektronika sedangkan sisanya di bidang lain dengan rata-rata mahasiswi yang bekerja memiliki 0-3 tahun pengalaman bekerja.
- 2) *Submaximal test* selama 8 menit dan *manual material handling* termasuk kegiatan kerja pekerjaan ekstrim berat.
- 3) Terdapat korelasi antara konsumsi VO_2 maksimum dengan *heart rate*



sehingga menghasilkan persamaan $VO_2 \text{ Max} = 11.531 - 0.056 \text{ heart rate (submaximal test)}$ dan $VO_2 \text{ max} = 23.910 - 0.141 \text{ heart rate (manual material handling)}$

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh peneliti adalah sebagai berikut: 1) Pada perusahaan industri elektronika diharapkan dapat mempertimbangkan kemampuan fisik pekerjaan jika pekerja diberikan pekerjaan dengan beban kerja diatas batas kemampuan fisik dan diberikan waktu istirahat agar kondisi tubuh dapat kembali normal. 2) Penelitian dapat dilanjutkan dengan mengaplikasikan persamaan prediksi tersebut di perusahaan industri elektronika untuk melihat tingkat eror antara actual konsumsi VO_2 dan persamaan prediksi $VO_2 \text{ max}$.

REFERENSI

- Hasibuan, Malayu S.P. 2015. *Manajemen Sumber Daya Manusia*, Edisi Revisi. Bumi Aksara, Jakarta.
- Irdiastadi H. Yassierli. 2014. *Ergonomi Suatu Pengantar*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Purnawan AW. Sangtraga HA. 2012. *Pengembangan Persamaan VO_2 dan Evaluasi HR Max (Studi Awal Pada Pekerja Pria)*.J@TI Undip. Vol.VII .No.1. Januari 2012
- Soleman A. 2009. *Kapasitas Aerobik Maksimum dan Persamaan Prediksi Konsumsi Oksigen Pada Perempuan Pekerja Industri*.Tesis ITB 2009
- Sukawati SY. 2010 *Nilai $VO_2\text{max}$ Mahasiswa Kobe Jepang Lebih Tinggi daripada Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret Surakarta*.Skripsi. UNS
- Yuliani.E.N.2010. *Studi Penentuan kapasitas aerobik dan Persamaan ongkos metabolic pekerja industri*. Tesis Magister.