

PENGEMBANGAN PERSAMAAN VO₂ MAX DAN EVALUASI HR MAX (STUDI AWAL PADA PEKERJA PRIA)

Purnawan Adi W, Adeka Sangtraga H

Program Studi Teknik Industri, Universitas Diponegoro-Semarang

Jl. Prof Sudarto, SH., Semarang

nawanadi@gmail.com

Abstrak

Kapasitas fisik maksimum seseorang direpresentasikan dengan nilai konsumsi oksigen maksimum (VO₂ Max) dan denyut nadi maksimum (HR Max) yang memberikan suatu informasi batasan kemampuan fisik maksimum seseorang dalam melakukan pekerjaan. Penelitian kali ini mempunyai tujuan untuk mencari nilai VO₂ Max pekerja pria Indonesia untuk nantinya akan dikembangkan suatu persamaan prediksi VO₂ Max yang didekati dengan hubungan linier antara denyut nadi (Heart Rate) seperti yang dilakukan Astrand (2003), tinggi badan (Chatterjee et al, 2006), berat badan (Akalan et al, 2008), usia (Magrani et al, 2009) dan mengevaluasi persamaan HR Max manakah yang dapat diaplikasikan untuk mendekati nilai denyut nadi maksimum pekerja Indonesia. Responden dalam penelitian kali ini adalah 12 pekerja industri pria yang diambil dari beberapa industri di Depok dan sekitarnya. Kriteria responden yang berpartisipasi dalam penelitian kali ini adalah: berusia 20-40 tahun, bukan perokok baik aktif maupun pasif, sehat, tidak mengkonsumsi makanan, kafein, alkohol minimal 2 jam sebelum eksperimen (Balderrama et al, 2007).Eksperimen yang dilakukan menggunakan metode maximal test dengan protokol treadmill. Adapun peralatan yang digunakan adalah seperangkat alat pengukur kondisi fisiologi Fitmate MED (COSMED srl-Italy) terdiri dari Heart Rate Transmitter, Heart Rate Receiver, V mask (Hans Rudolph Inc), dan treadmill SportArt®60. Eksperimen dilakukan menjadi dua bagian, yaitu istirahat dan tahap bekerja. Aktivitas istirahat terdiri dari tidur selama 20 menit, duduk selama 20 menit dan berdiri selama 10 menit. Eksperimen tahap kedua yaitu tahap kerja yang terdiri dari latihan selama 5 menit. Responden dipersilakan beristirahat selama 15 menit, setelah itu responden melaksanakan maximal test detik hingga responden merasa tidak sanggup lagi melanjutkan eksperimen. Hasil penelitian model prediksi VO₂ max untuk pekerja industri pria mempunyai nilai $2,78 \pm 0,5$ liter/menit dan dengan regresi linier berganda memberikan hasil persamaan sebagai berikut : $VO_2 \text{ Max} = 3,996 - 0,046 \text{ usia}$. Sedangkan untuk evaluasi persamaan HR Max memberikan hasil bahwa persamaan terpilih yang memprediksi nilai HR Max pekerja industri pria Indonesia lebih baik adalah persamaan Tanaka et al. (2001). Penelitian memberikan hasil lain yaitu mencoba untuk mengembangkan persamaan HR Max untuk pekerja industri pria Indonesia. Dengan menggunakan regresi linier berganda memberikan hasil persamaan sebagai berikut: $HR \text{ Max} = 202,71 - 0,541 \text{ usia}$. VO₂ Max dan HR Max yang dikaji dapat dijadikan sebagai referensi kriteria justifikasi kemampuan maksimum seseorang sehingga dapat dijadikan sebagai dasar perancangan sistem kerja agar beban kerja yang diterima pekerja tidak melebihi kapasitas maksimumnya. Penelitian yang mengembangkan persamaan prediksi VO₂ Max dan evaluasi persamaan HR Max di Indonesia masih terbatas, sehingga dirasa perlu untuk mengembangkan persamaan prediksi VO₂ Max dan evaluasi HR Max karena manfaatnya besar bagi dunia industri.. Dalam dunia pendidikan, penelitian kali ini dapat dijadikan sebagai studi awal yang dapat dikembangkan untuk penelitian – penelitian selanjutnya.

Kata Kunci : VO₂ max, kapasitas aerobik, kapasitas fisik maksimum, model prediksi, evaluasi HR Max

Abstract

Maximum physical capacity of a person represented by the maximum oxygen consumption (VO₂ Max) and the maximum pulse rate (HR Max) which gives a maximum of information limits a person's physical ability to do the job. The current study has the objective to find the value of VO₂ Max Indonesia for male workers will be developed a prediction equation VO₂ Max is approximated by a linear relationship between pulse rate (Heart Rate) as that of Astrand (2003), height (Chatterjee et al, 2006), weight (deceivingly et al, 2008), age (Magrani et al, 2009) and evaluate HR Max Which equation can be applied to approximate the value of the maximum pulse rate of Indonesian workers. Respondents in the study was

12 male industrial workers drawn from several industries in Depok and surrounding areas. Criteria of respondents who participated in this study were: age 20-40 years, instead of both active and passive smokers, healthy, not eating food, caffeine, alcohol at least 2 hours before the experiment (Balderrama et al, 2007). Experiments were performed using the method of maximal treadmill test protocol. The equipment used is a set of gauges Fitmate MED physiological conditions (COSMED srl, Italy) consists of Transmitter Heart Rate, Heart Rate Receiver, V mask (Hans Rudolph Inc.), and treadmill SportArt @ 60. Experiments conducted in two parts, namely a break and rest bekerja. Aktivitas stage of sleep for 20 minutes, sitting for 20 minutes and stand for 10 minutes. Experimental stage of labor second stage consists of exercises for 5 minutes. Respondents are welcome to rest for 15 minutes, after which the second respondent to carry out maximal test respondents were no longer able to continue the experiment. The results of predictive models VO₂ max for male industrial workers had a value of 2.78 ± 0.5 liters / min and a linear regression gives the following equation: $VO_2 \text{ Max} = 3.996 - 0.046 \text{ age}$. As for the evaluation of Max HR equation gives the result that the selected equation that predicts the value of HR Max Indonesia male industrial workers better is the equation Tanaka et al. (2001). Other research results that is trying to develop equations Max HR for male industrial workers of Indonesia. By using multiple linear regression gives the following equation: $HR \text{ Max} = 202.71 - 0.541 \text{ age}$. VO₂ Max and Max HR studied can be used as reference criteria for justification of one's maximum ability that can be used as the basis for the design of work systems in order to receive workers' workload does not exceed its maximum capacity. Research to develop predictive equations VO₂ Max and Max HR evaluation equation in Indonesia is still limited, so it is necessary to develop a predictive equation VO₂ Max and Max HR evaluation because of its benefits to the industry .. In education, this study can serve as a preliminary study can be developed for research - for further research

Keywords: VO₂ max, aerobic capacity, physical capacity maximum, the model predictions, evaluations Max HR

PENDAHULUAN

Industri manufaktur di Indonesia pada triwulan I 2011 mengalami kenaikan produksi sebesar 5,15 % dari triwulan I 2010 (Berita Resmi Statistik, Badan Pusat Statistik ,2 Mei 2011) . Data statistik dari Badan Pusat Statistik pada bulan Februari 2011 menyebutkan bahwa pekerja industri terdiri dari 13,71 juta orang, hal ini membuktikan bahwa sektor industri di Indonesia masih berorientasikan tenaga manusia. Kapasitas kardiorespiratori diketahui sebagai komponen penting kesehatan yang berhubungan dengan kebugaran (*fitness*) seseorang dan sebagai parameter yang relevan untuk referensi dalam perancangan kerja. Respon kardiovaskular dalam bekerja secara langsung akan mempengaruhi kebutuhan oksigen otot skeletal dimana konsumsi oksigen dan denyut nadi akan meningkat secara linier seiring peningkatan beban kerja. Dari hubungan inilah HR seringkali digunakan untuk mendeskripsikan dan mengontrol pekerjaan dengan intensitas yang spesifik (Nuala M. Byrne dan Andrew P. Hills, 2002).

Rodahl (1989) seperti dikutip dari penelitian Singh et.al (2008) mengatakan bahwa konsumsi oksigen mengekspresikan

tingkat pengeluaran energi kerja, berdasar dari perkataan ini dapat dikatakan bahwa yang terpenting dalam menentukan ketahanan seseorang adalah dengan mengukur konsumsi oksigen maksimumnya atau sering disebut kapasitas aerobik, kekuatan aerobik atau kapasitas fisik (Singh,2008).

Akalan et.al (2008), mengatakan bahwa pengukuran kapasitas aerobik (VO₂Max) membutuhkan peralatan yang mahal, dan membutuhkan adanya kemauan seseorang untuk merasakan kelelahan akibat eksperimen, pengukuran kapasitas aerobik tidak cocok jika dilakukan pada *sample* individu dengan jumlah yang besar atau ketika individu yang akan diukur mempunyai resiko kesehatan saat melakukan *maximal test*.. Alasan itulah yang mendasari perlunya pengembangan persamaan VO₂ Max bagi pekerja industri pria Indonesia dimana dalam kajian ini akan dikembangkan persamaan menggunakan analisis regresi majemuk dengan variabel prediktor usia, tinggi badan, berat badan, HR rest.

Kemampuan fisik seseorang dapat didekati dengan menggunakan nilai VO₂ Max dan nilai HR Max (denyut nadi maksimum). Persamaan HR Max yang

dikembangkan perlu untuk dievaluasi dengan melihat performansinya apakah persamaan yang sudah ada mampu digunakan untuk mendekati nilai HR Max pekerja industri pria dimana dalam penelitian kali ini adalah nilai HR Max eksperimental. Persamaan yang akan dievaluasi adalah persamaan Karvonen et al (1957), Hossack (1982), Inbar (1994) dan Tanaka (2001). Evaluasi lanjutan yang akan dilakukan adalah mengembangkan persamaan HR Max sendiri dengan menggunakan analisis regresi majemuk.

Kapasitas Aerobik

Kapasitas kerja maksimum merupakan tingkatan produksi maksimum individu selama melakukan suatu kerja fisik dan akan bervariasi sebagai fungsi durasi kerja. Kapasitas kerja maksimum sering pula digantikan dengan $VO_2 \text{ max}$ dimana dalam literatur dideskripsikan sebagai kapasitas individu dalam menggunakan oksigen. Pengukuran penyerapan oksigen maksimal seseorang merupakan penilaian kapasitas individual untuk kerja (Bridger, 1995).

Pengukuran Kapasitas $VO_2 \text{ Max}$ secara eksperimental dari kajian fisiologi seringkali digunakan tiga metode test yang sudah distandardkan. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan alat *treadmill* dimana *treadmill* akan memberikan beban pada otot bagian bawah tubuh, dan membebani pada tumpuan kaki untuk mempertahankan posisi tubuh karena berdiri dan kemiringan *treadmill* akan membuat beban sendiri bagi tubuh sehingga dapat dikatakan bahwa test menggunakan *treadmill* lebih lengkap namun kelemahannya adalah tidak terlalu membebani punggung dan lengan.

Astrand (2003) mengatakan bahwa : syarat dari pengukuran $VO_2 \text{ max}$ adalah sebagai berikut :

- a) Exercise harus melibatkan kelompok otot yang besar
- b) Tingkat kerja (*work rate*) harus dapat dihitung dan dapat direproduksi ulang
- c) Kondisi tes harus sedemikian hingga agar dapat dibandingkan dan dapat diulang
- d) Tes harus dapat ditoleransi oleh semua individu

- e) Kemampuan (skill) untuk melakukan aktivitas eksperimen harus seseragam mungkin dalam populasi yang diujikan.

Protokol treadmill yang dilakukan adalah menggunakan protokol *maximal test*. Metode maksimal mengharuskan subjek untuk mengerahkan seluruh kemampuannya untuk mencapai konsumsi oksigen maksimumnya.

Evaluasi HR Max

Evaluasi HR Max yang akan dilakukan dalam kajian kali ini adalah membandingkan nilai HR Max dari persamaan yang sudah ada dengan menggunakan variabel usia dengan nilai HR Max hasil eksperimental. Evaluasi menggunakan uji statistik *Independent T-Test*. Adapun persamaan yang akan dievaluasi pada kajian kali ini adalah :

1. Persamaan Karvonen et al. (1957)

$$HR \text{ Max} = 220 - \text{age}$$

2. Persamaan Hossack (1982)

$$HR \text{ Max} = 227 - 1,067 \text{ Age}$$

3. Persamaan Inbar (1994)

$$HR \text{ Max} = 205,8 - 0,685 \text{ Age}$$

4. Persamaan Tanaka (2001)

$$HR \text{ max} = 208 - 0,7 \text{ Age}$$

Analisis lanjutan akan dicoba untuk mengembangkan persamaan HR Max dari data yang ada menggunakan analisis regresi majemuk dengan menggunakan variabel prediktor usia.

METODOLOGI

Metodologi penelitian merupakan gambaran langkah – langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian, yang meliputi pencarian masalah, penentuan solusi (metode) dan pemecahan masalah. Agar penelitian dapat dikerjakan secara sistematis, maka perlu dibuat suatu metodologi penelitian, metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan urutan langkah – langkah dalam gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan Kuisisioner Studi Pendahuluan

Penelitian kali ini akan menggunakan desain eksperimen dimana responden yaitu

pekerja industri di Depok dan sekitarnya yang akan melakukan eksperimen dengan menggunakan protokol *maximal treadmill test*. Responden akan melakukan maksimal test, dimana metode ini akan memberikan hasil yang lebih tepat daripada metode submaksimal test (Astrand,2003) dan hasil VO_2 max yang diperoleh bukanlah hasil ekstrapolasi (Satriawan, 2009). Responden akan diukur dalam dua tahap yaitu pada saat istirahat dan pada saat bekerja. Responden akan beristirahat selama 20 menit tidur, 20 menit duduk, 10 menit berdiri dengan urutan perlakuan menggunakan *balanced latin square design* lalu diukur *resting* HR dan VO_2 nya, setelah itu responden akan melakukan pemanasan selama 5 menit setelah itu dilakukan istirahat 15 menit lalu dilakukan treadmill *maximal test* dengan kecepatan awal 2,3 km/jam dan peningkatan kecepatan sebesar 0,5 km/jam setiap 30 menit hingga responden mengalami kelelahan maksimumnya lalu diukur VO_2 dimana pada titik tersebut merupakan VO_2 max responden. Pengembangan persamaan yang akan dilakukan nantinya akan menggunakan variabel independen seperti HR rest, usia, tinggi badan, berat badan, dan HR max.

Adapun kriteria responden yang digunakan adalah sebagai berikut : berusia 20-40 tahun, bukan perokok aktif dan pasif, sehat, tidak memiliki penyakit kardiovaskular, tekanan darah normal,berolahraga secara teratur, tidak mengkonsumsi makanan serta kafein minimal 2 jam sebelum eksperimen dilakukan.

Eksperimen dilakukan di Ergonomic Center Universitas Indonesia dengan peralatan sebagai berikut :

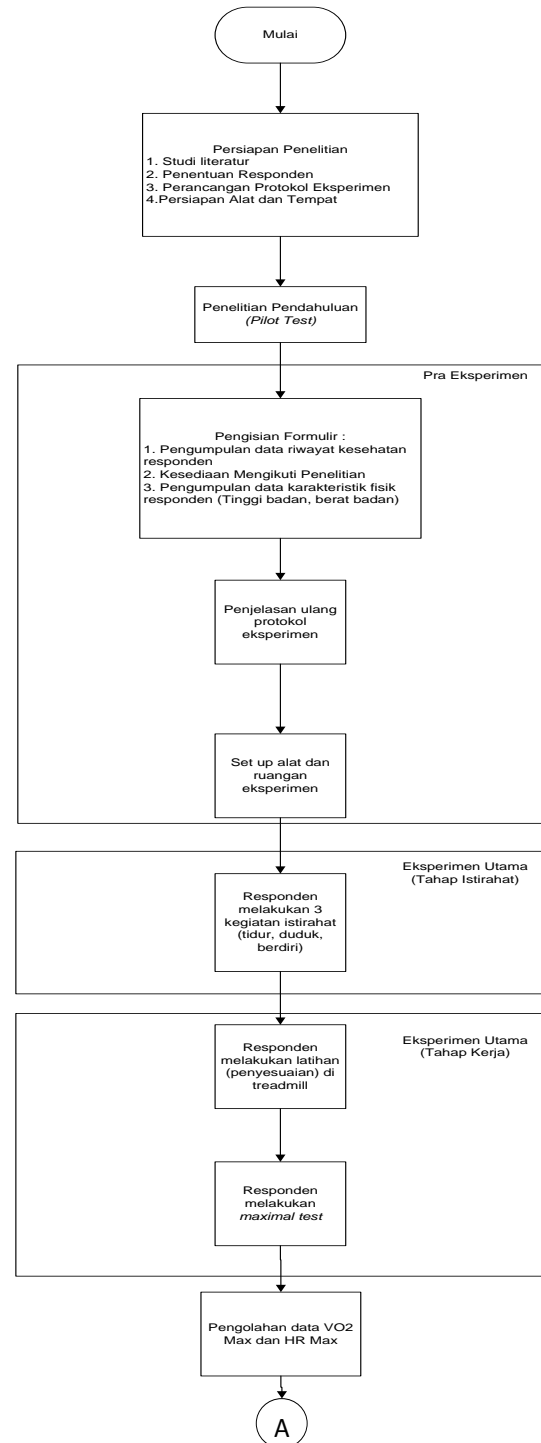
1. Alat Ukur Anthropometri : timbangan dan alat ukur tinggi badan
2. Alat untuk perlakuan istirahat : kasur dan kursi
3. Alat Ukur Perubahan Fisiologis :
 - a) Casio Digital Blood Pressure
 - b) Treadmill Sport Art@60
 - c) Fitmate MED
 - d) Heart Rate Transmitter
 - f) V-full face mask dan headcap
 - g) Sample Line dan Transducer

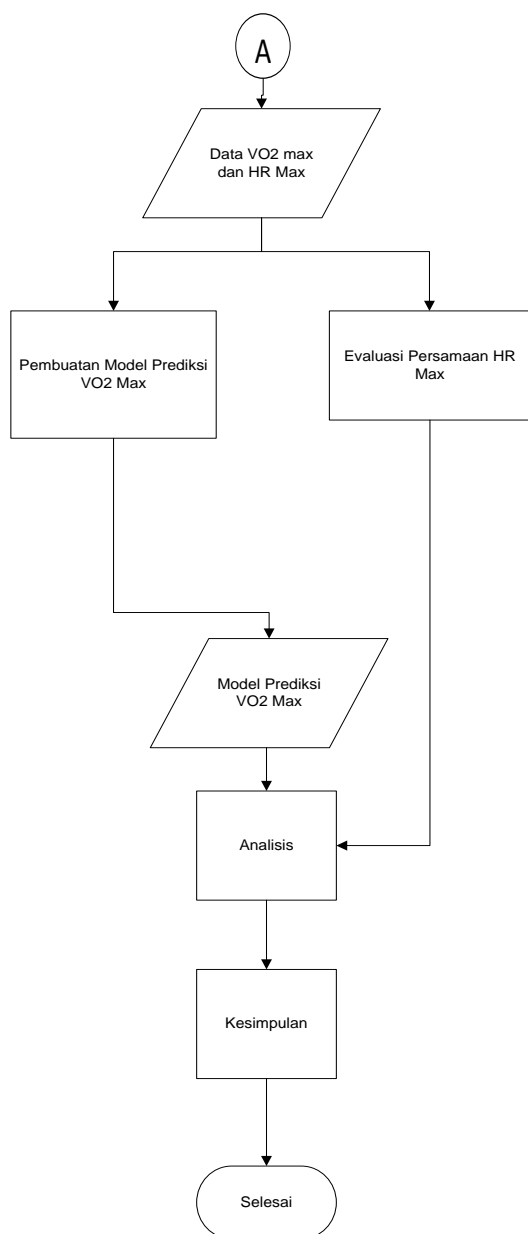
Tabel 1 Urutan perlakuan Balanced Latin Square Design

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2

Keterangan:

S=Subjek ; 1= tidur ; 2= duduk ; 3= berdiri





Gambar 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Data yang akan diolah dari hasil konsumsi oksigen dari responden. Data denyut nadi dan konsumsi oksigen dari responden akan dicari nilai puncaknya sehingga masing-masing dikatakan sebagai nilai konsumsi oksigen maksimum (VO₂ Max) dan denyut nadi maksimum (HR Max) dapat dilihat pada tabel 2.

Dari tabel 2 terlihat bahwa nilai VO₂ Max pekerja industri pria dengan rentang usia 20-40 tahun berada pada kisaran nilai **2,78 ± 0,5 liter/menit** dan nilai HR Max berada pada kisaran nilai **188,50 ± 9,92denyut/menit**. Dalam mengembangkan persamaan VO₂ Max, data yang akan digunakan sebagai nilai dari variabel prediktornya adalah usia, tinggi badan, berat badan, dan HR rest. Data HR rest responden diolah menggunakan metode *mean lowest 10* (Logan et.al,2000) dengan merata-rata 10 nilai HR rest yang terendah saat responden melakukan kegiatan istirahat (masing-masing untuk aktivitas tidur, duduk, berdiri) lalu dipilih nilai HR rest yang paling rendah diantara ketiga aktivitas tadi (pada umumnya pada saat responden tidur).

Pengembangan persamaan VO₂ Max menggunakan analisis regresi majemuk (*Multivariate Regression analysis*), dimana harus terpenuhi asumsi klasik statistik terlebih dahulu sebelum melakukan analisis regresi majemuk (Hair et al, 1998). Asumsi klasik statistik yang harus terpenuhi adalah:

1. Asumsi Linieritas

Dengan menggunakan software SPSS Versi 18 asumsi linieritas diuji dengan menggunakan metode *backward* dimana hanya variabel-variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen yang akan masuk ke dalam model regresi yang akan dikembangkan. Output SPSS dapat dilihat pada tabel 3.

Output SPSS pada tabel 3 menunjukkan bahwa hanya variabel Usia yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap nilai dari VO₂ Max, sehingga hanya variabel usia saja yang nantinya akan masuk ke dalam model prediksi VO₂ Max.

2 Asumsi Normalitas

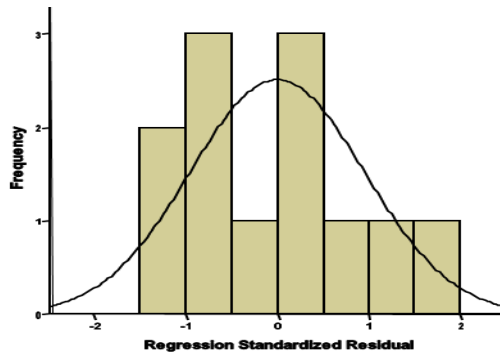
Uji asumsi Normalitas dapat dilakukan dengan membuat plot data histogram dan *normal probability plot*. Hasil dari keduanya dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 2 Data Responden

Responden	Nama	Usia (tahun)	TB (cm)	BB (kg)	Tekanan Darah	VO ₂ max (liter/meter)	HR Max (denyut/menit)	HR ist (denyut/menit)
1	R1	21	158	47,4	107/77	2,495	187	71,9
2	R2	21	168	58,5	117/63	3,203	188	69,3
3	R3	40	167	77,0	137/77	1,922	169	61,5
4	R4	25	173	60,0	111/68	2,392	189	51,5
5	R5	24	166	71,6	138/82	2,5	174	64,4
6	R6	24	171	65,4	124/74	2,947	193	55,6
7	R7	23	171	54,0	117/80	3,415	197	71,2
8	R8	35	164	64,0	129/79	2,648	190	85
9	R9	26	179	64,0	123/85	2,917	184	72,8
10	R10	20	163	63,0	137/91	3,04	194	62,7
11	R11	26	168	82,0	144/101	3,489	190	59,8
12	R12	30	162	64,0	122/84	2,368	207	76
Rata-rata		26,25	167,5	64,2	-	2,78	188,50	66,81
St Dev		6	5,58	9,4	-	0,5	9,92	9,36
Min		20	158,00	47,4	-	1,922	169,00	51,5
Maks		40	179,00	82,0	-	3,489	207,00	85

Tabel 3 Output SPSS : Variabel Entered/Removed Model Regresi

Model	Variables Entered/Removed ^b		Method
	Variables Entered	Variables Removed	
1	USIA, TINGGI BADAN, HRREST, BERAT BADAN		Enter
2		TINGGI BADAN,	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >=,100).
3		HRREST	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >=,100).
4		BERAT BADAN	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >=,100).



Gambar 2 Output SPSS : Histogram & Normal P-P plot Hasil Regresi Linier

Gambar 2 menunjukkan bahwa tidak ada penyimpangan yang signifikan terhadap plot normal. Kurva normal pada histogram dan garis hitam pada normal probability plot menunjukkan bahwa asumsi data *error* berdistribusi normal terpenuhi.

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 (usia). Berdasarkan nilai d yang didapat dari tabel Durbin-Watson dengan nilai $\alpha = 0,05$, $n=12$, $k=1$ yaitu $dL=0,9708$ dan $dU=1,3314$. Ketentuan Durbin-Watson statistic adalah :

1. Tidak terdapat autokorelasi
 $dU < d < 4-dU$ sehingga batasnya adalah $0,9708 < d < 2,6686$

Tabel 4 Output SPSS : Durbin Watson Statistic

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1. dimensi cor0	,582	,351	,286	,39746	,351	5,399	1	1	,043	1,638

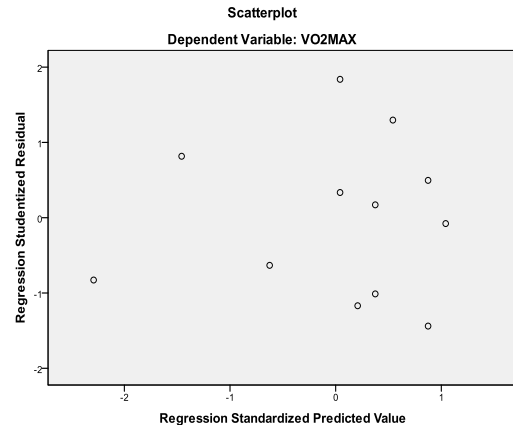
a. Predictors: (Constant), USIA

b. Dependent Variable: VO2MAX

Tabel 4 menunjukkan $d = 1,638$ dan nilai d ini berada pada ketentuan ketiga ($0,9708 < d < 2,6686$) sehingga dapat dikatakan tidak terjadi autokorelasi sehingga asumsi tidak adanya autokorelasi terpenuhi.

4. Homoscedasticity

Pengujian *Homoscedasticity* dilakukan dengan membuat plot antara residu terhadap nilai prediksi variabel dependen.



Gambar 4 Output SPSS : Plot Normalitas residual Regresi Linier

Plot data yang ditunjukkan gambar 4 menunjukkan bahwa *error* yang terjadi menyebar dan tidak ada pola yang cenderung meningkat atau menurun (Hair et.al,1998). *Error* yang terjadi tidak membesar seiring dengan bertambahnya variansi, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat variansi *error* yang signifikan sehingga asumsi *homoscedasticity* terpenuhi.

5. Tidak Adanya Multikolinieritas Antar Variabel Independen

Hair et.al (1998) menyebutkan bahwa salah satu cara pengujian adanya multikolinieritas adalah dengan cara menghitung nilai toleransi dan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). Nilai VIF yang rendah akan menunjukkan kolinieritas yang rendah antar variabel independen.

Karena variabel independen yang berpengaruh hanya satu (HR Max) maka dapat dipastikan tidak terjadi multikolinieritas yang dapat ditunjukkan dengan nilai *tolerance*=1,000 dan nilai *VIF*=1,000 (Hair et al.,1998).

Tabel 5 Output SPSS : Coefficients Model Regresi

Model	Coefficients ^a										
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta				Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1 (Constant)	-3,056	3,830			-,794	,453					
TINGGIBADAN	,027	,020	,316	1,303	,234	,274	,442	,300	,897	1,115	
BERATBADAN	,026	,016	,530	1,703	,132	-,060	,541	,392	,546	1,832	
HRREST	,025	,014	,494	1,739	,126	,006	,549	,400	,654	1,529	
USIA	-,076	,024	-,966	-	,015	-,592	-,770	-	,576	1,735	
				3,190				,734			
2 (Constant)	1,630	1,427			1,143	,286					
BERATBADAN	,028	,016	,554	1,711	,125	-,060	,518	,410	,548	1,825	
HRREST	,020	,014	,403	1,403	,198	,006	,444	,336	,696	1,436	
USIA	-,076	,025	-,965	-	,016	-,592	-,734	-	,576	1,735	
				3,035				,732			
3 (Constant)	3,300	,828			3,988	,003					
BERATBADAN	,016	,015	,320	1,096	,302	-,060	,343	,277	,743	1,342	
USIA	-,059	,023	-,754	-	,030	-,592	-,652	-	,743	1,342	
				2,379				,651			
4 (Constant)	3,996	,537			7,447	,000					
USIA	-,046	,020	-,592	-	,043	-,592	-,592	-	1,000	1,000	
				2,323				,592			

a. Dependent Variable: VO2MAX

Intepretasi Hasil

Berdasarkan uji asumsi linieritas pada tabel 3, variabel yang membunyai pengaruh signifikan hanya variabel usia saja. Regresi Linier diolah dengan softwre SPSS versi 18 dengan hasil sebagai berikut

Tabel 6. Output SPSS : Model Summary

Model	Model Summary ^b									
	R	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson	
				R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change		
1	,592 ^a	,286	,39746	,351	5,399	1	10	,043	1,638	

a. Predictors: (Constant), USIA

b. Dependent Variable: VO2MAX

Tabel 7 Output SPSS : Coefficients

Model	Coefficients ^a										
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta				Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1 (Constant)	3,996	,537			7,447	,000					
USIA	-,046	,020	-,592	-	-,592	,043	-,592	-,592	-	1,000	
					2,323			,592			

a. Dependent Variable: VO2MAX

Model regresi linier nantinya mempunyai nilai $R^2 = 35,1\%$ dan $adjusted R^2 = 28,6\%$. Berdasarkan tabel 7 dapat dibuat persamaan regresi sebagai berikut :

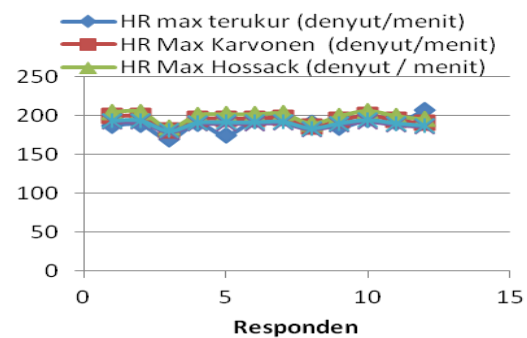
$$VO_2 \text{ Max} = 3,996 - 0,046 \text{ usia}$$

dengan :

VO2 Max= Konsumsi Oksigen Maksimum (liter/menit)

Evaluasi dilakukan dengan menggunakan uji T independen (*Independent T-Test*) dengan tingkat signifikansi (α) 5% dan tingkat kepercayaan 95%. *Independent T-Test* digunakan untuk mengetahui apakah terdapat alasan teoritis yang kuat untuk mengatakan ada tidaknya perbedaan nilai HR Max yang dihasilkan dari pengukuran langsung dan tidak langsung

Untuk evaluasi HR Max diperoleh hasil plot data sebagai berikut :



Gambar 5 Rekapitulasi Nilai Hr Max Terukur dan HR Max Prediksi

Adapun hasilnya adalah sebagai berikut:

1. Nilai HR Max terukur **tidak mempunyai alasan teoritis kuat untuk mengatakan berbeda secara signifikan dengan nilai prediksi HR Max persamaan Karvonen**. Hal ini dapat dilihat dari nilai Sig.= 0,131 (nilai Sig.> 0,05)
2. Nilai HR Max terukur **mempunyai alasan teoritis kuat untuk mengatakan berbeda secara signifikan dengan nilai prediksi HR Max persamaan Hossack**. Hal ini dapat dilihat dari nilai Sig.= 0,005 (nilai Sig.< 0,05)
3. Nilai HR Max terukur **tidak mempunyai alasan teoritis kuat untuk mengatakan berbeda secara signifikan dengan nilai prediksi HR Max persamaan Inbar**. Hal ini dapat dilihat dari nilai Sig.= 0,830 (nilai Sig.> 0,05)
4. Nilai HR Max terukur **tidak mempunyai alasan teoritis kuat untuk mengatakan berbeda secara signifikan dengan nilai HR Max prediksi persamaan HR Max Tanaka**. Hal ini dapat dilihat dari nilai Sig.=0,721 (nilai Sig.>0,05).

Analisis statistik memberikan hasil bahwa untuk memprediksi nilai HR Max pekerja industri pria populasi Indonesia dapat digunakan persamaan HR Max Karvonen et al. (1957), Inbar (1994) dan Tanaka (2001). Namun dari kriteria error (HR Max terukur- HR Max prediksi) yang baik adalah di bawah 2 denyut/menit (Roberg dan Landwehr,2002) maka dapat dikatakan bahwa persamaan Tanaka (2001) mempunyai performansi yang lebih baik karena dapat memprediksi nilai HR Max terukur 4 responden dari total 12 responden yang dikaji.

Penelitian kali ini juga akan mencoba untuk mengembangkan persamaan HR Max dengan variabel prediksi usia seperti penelitian sebelumnya (Roberg dan Landwehr,2002) dengan menggunakan analisis regresi majemuk.

Tabel 8 Output SPSS : Model Summary HR Max

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,327 ^a	,107	,018	9,83304

a. Predictors: (Constant), USIA

Tabel 9 Output SPSS : Coefficient HR Max

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	202,710	13,274		15,271	,000
	USIA	-,541	,494	-,327	-1,096	,299

a. Dependent variable: HRMAXTERUKUR

Adapun hasil persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$\text{HR Max} = 202,71 - 0,541 \text{ usia}$$

dengan :

$$\text{HR Max} = \text{Denyut nadi maksimum (denyut/menit)}$$

Analisis Perbandingan VO₂ Max terukur vs VO₂ Max hasil persamaan yang dikembangkan

Persamaan prediksi VO₂ Max yang dikembangkan perlu diuji dengan membandingkan nilai VO₂ Max yang dihasilkan dari eksperimen dan nilai VO₂ Max yang dihasilkan dari persamaan prediksi. Pengujian kedua nilai VO₂ Max ini dilakukan dengan menggunakan uji independen T-Test (*Independent T-Test*). Data nilai VO₂ Max yang akan diujidapat dilihat pada tabel 10:

Untuk mengetahui apakah persamaan dapat dipakai atau tidak (mendekati nilai sebenarnya atau tidak) maka perlu dilakukan uji rata-rata menggunakan uji independen T berpasangan (*independent T-Test*).

Hasil yang ditunjukkan dari uji independen T yang dilakukan dapat dikatakan bahwa tidak terdapat alasan teoritis yang kuat untuk mengatakan terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan

antara nilai VO₂ Max terukur dengan nilai VO₂ Max prediksi (dilihat dari nilai Sig. yang lebih dari 0,05). **Tidak terdapat alasan teoritis yang kuat untuk mengatakan adanya perbedaan** rata-rata yang signifikan membuktikan bahwa persamaan prediksi dapat digunakan untuk mendekati nilai VO₂ Max yang sebenarnya tanpa eksperimen.

Dengan mengasumsikan kriteria *Standard error estimate* (selisih antara nilai VO₂ Max terukur dengan VO₂ Max prediksi) sebesar ± 0,458 liter/menit seperti yang digunakan dalam penelitian Jones (seperti dikutip oleh Darby dan Pohlman,1999) untuk diaplikasikan ke dalam penentuan seberapa mampu persamaan prediksi VO₂ Max yang dikembangkan mendekati nilai VO₂ Max sesungguhnya sehingga error yang terjadi lebih kecil, sama dengan ataupun berada pada nilai yang dekat pada kisaran kriteria *Standard error estimate* yang digunakan (± 0,5 liter/menit) dengan VO₂ Max sesungguhnya.

Tabel 10 Nilai VO₂ Max terukur vs VO₂ prediksi

Responden	VO2 Max terukur (l/menit)	VO2 Max prediksi (l/menit)	Error (l/menit)
R1	2,495	3,03	-0,535
R2	3,203	3,03	0,173
R3	1,922	2,156	-0,234
R4	2,392	2,846	-0,454
R5	2,5	2,892	-0,392
R6	2,947	2,892	0,055
R7	3,415	2,938	0,477
R8	2,648	2,386	0,262
R9	2,917	2,8	0,117
R10	3,04	3,076	-0,036
R11	3,489	2,8	0,689
R12	2,368	2,616	-0,248
Rata-rata	2,778	2,788	-0,01
Std. Deviasi	0,47	0,28	0,38
Min	1,922	2,156	-0,54
Max	3,489	3,076	0,69

Dengan kriteria ini performansi persamaan dalam memprediksi nilai VO₂ Max yang sebenarnya akan diukur melalui jumlah responden yang nilai prediksi VO₂ Max-nya mendekati nilai VO₂ Max sebenarnya dari 12 responden total.

Dari kriteria tersebut memberikan hasil bahwa 11 responden mampu didekati dengan baik oleh persamaan prediksi nilai VO₂ Max yang dikembangkan , hal ini tampak dari nilai selisih yang berada pada kisaran ± 0,4 - ± 0,5 liter/menit. Hasil tersebut membuktikan bahwa walaupun nilai R² yang diperoleh rendah dan kurang representatif, ternyata persamaan prediksi nilai VO₂ Max yang dikembangkan mampu untuk mendekati nilai VO₂ Max yang diperoleh dengan cara pengukuran (sesungguhnya), sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat kemungkinan persamaan VO₂ Max yang dikembangkan pada penelitian kali ini dapat diaplikasikan untuk dunia nyata khususnya untuk memprediksi nilai VO₂ Max pekerja industri pria Indonesia tanpa melakukan eksperimen / *exercise*.

ANALISIS EVALUASI HR MAX

Hasil dari penelitian kali ini didapatkan bahwa nilai HR Max yang dihasilkan dari persamaan HR Max Karvonen et al. (1957) Inbar (1994) dan Tanaka (2001) tidak berbeda secara signifikan dengan nilai pengukuran HR Max terukur namun menurut nilai R² yang didapatkan persamaan Tanaka (2001) lebih mendekati HR Max yang terukur dalam penelitian kali ini. Persamaan lainnya seperti Hossack (1982) mempunyai alasan teoritis untuk mengatakan terdapat perbedaan secara signifikan dengan pengukuran HR Max secara langsung.

Penentuan persamaan mana yang lebih mendekati nilai HR Max terukur yang didapat dari penelitian dapat dilihat dari *error* yang terjadi pada masing-masing persamaan yang diperoleh dari selisih antara HR Max terukur dengan HR Max prediksi (Robergs dan Landwehr,2002). Adapun rekapitulasi *error* yang terjadi adalah seperti tampak pada tabel 11.

Berdasarkan tabel 11 dapat dilihat bahwa dari segi kuantitatif (jumlah), data yang mempunyai *error* dengan perkiraan kriteria *error* ± 2 denyut/menit yang paling bagus adalah persamaan Tanaka et al.(2001) karena persamaan Tanaka mampu memprediksi nilai HR Max dari empat responden (dari total 12 responden) dengan

nilai *error* di bawah ± 2 denyut/menit. Hasil ini memberikan pandangan bahwa persamaan Tanaka sebaiknya digunakan untuk memprediksi nilai HR Max pekerja pria Indonesia dibandingkan dengan persamaan prediksi nilai HR Max lainnya.

Untuk memeriksa apakah persamaan dapat digunakan maka perlu dilakukan analisis statistik menggunakan uji rataan yaitu *independence T-test*. Analisa kuantitatif yang dilakukan adalah dengan melihat seberapa banyak nilai HR Max dari total 12 responden yang mampu diprediksi persamaan HR Max yang dikembangkan dengan menggunakan kriteria *error* prediksi (selisih HR Max terukur dengan HR Max prediksi) ± 2 denyut/menit.

Tabel 11 Rekapitulasi *error* prediksi HR Max terukur-HR Max prediksi

Respon- den	Error HR max Karvonon (denyut/ menit)	Error HRmax Inbar (denyut/ menit)	Error HRmax Tanaka (denyut/ menit)
	R1	-12	-4,4
R2	-11	-3,4	-5,3
R3	-11	-9,4	-11
R4	-6	0,3	-1,5
R5	-22	-15,4	-17,2
R6	-3	3,6	1,8
R7	0	7	5,1
R8	5	8,2	6,5
R9	-10	-4	-5,8
R10	-6	1,9	0
R11	-4	2	0,2
R12	17	21,7	20

Hasil dari *independence T-Test* serta perhitungan *error* memperlihatkan bahwa rataan nilai HR Max hasil persamaan prediksi dengan nilai HR Max terukur tidak cukup bukti secara teoritis untuk mengatakan berbeda secara signifikan dan persamaan prediksi HR Max hanya mampu mendekati nilai HR Max tiga responden dari total 12 responden. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa persamaan prediksi yang dikembangkan mungkin dapat digunakan namun tidak akurat dan tidak representatif.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah nilai VO₂ Max pekerja

industri pria Indonesia berkisar antara **2,78 \pm 0,5 liter/menit**. Persamaan prediksi VO₂ Max yang dikembangkan untuk memprediksi nilai kapasitas aerobik maksimum pekerja industri pria adalah VO₂ Max = 3,996 - 0,046 usia. Persamaan VO₂ Max dapat digunakan untuk memprediksi nilai VO₂ Max pekerja industri pria tanpa melakukan eksperimen yang mahal dan membutuhkan banyak waktu. Dalam memprediksi nilai denyut nadi maksimum seseorang sebaiknya menggunakan persamaan Tanaka (2001) dan persamaan HR Max yang dikembangkan dalam penelitian kali ini adalah HR Max = 202,71 - 0,541 usia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Akalan, Cengiz., Robergs, Robert. A., & Kravitz, Len. (2008). Prediction of VO₂ Max from an individualized submaximal cycle ergometer protocol. *Journal of Exercise Physiologyonline*, vol.11, no.2, 1-17. doi: [ditambahkan jika tersedia].
2. Sitasi pertama : (Akalan, Cengiz., Robergs, Robert. A., & Kravitz, Len., 2008); selanjutnya : (Akalan et al.,2008).
3. Astrand, P . O. ,Rodahl, K. , Dahl, A . H., & Stromme,B . S . (2003) . *Textbook of work physiology* .USA, Human Kinetics.
4. Badan Pusat Statistik. (2011). *Pertumbuhan produksi industri manufaktur besar dan sedang triwulan I tahun 2011* (publikasi No. 29/05/Th.XIV, 2 Mei 2011). Diunduh dari BPS website : www.bps.go.id
5. Bridger, R . S. (1995) . *Introduction to ergonomics*. USA,McGraw-Hill , Inc.
6. Chatterjee, S., Chatterjee, P. & Bandyopadhyay, A. (2006). Prediction of maximal oxygen consumption from body mass, height and body surface area in young sedentary subjects.*Indian J Physiol Pharmacol*, 50(2) : 181-186. doi: [ditambahkan bila tersedia]

7. Gujarati, D.N. (2003). *Basic econometrics: fourth edition*. USA, McGraw-Hill, Inc.
8. Hair, J. F., Black, William C., Babin, Barry J., & Anderson, R.E. (2010). *Multivariate Data Analysis seventh edition*. USA, Pearson: Prentice Hall.
9. Sitasi awal: (Hair, J. F., Black, William C., Babin, Barry J., & Anderson, R.E., 2010) selanjutnya : (Hair et al.,2010).
- 10.Hertanti, Nanda Novita. (2007) . *Evaluasi persamaan penentuan pengeluaran energi bagi wanita pada aktivitas penanganan material secara manual*. Tugas Sarjana, Program studi teknik industri, Institut Teknologi ,Bandung,Indonesia.
- 11.Inbar,O., Oren,A., Scheinowitz,M., Rotstein,A., Dlin,R., Casaburi, R. (1994). Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20-to70-year-old men. *Med Sci Sport Exerc.*,26(5):538-46. doi: [ditambahkan bila tersedia].
- 12.Kroemer, H . E . K . , Kroemer, J. H., Elbert, Kroemer E.K. (2010). *Engineering Physiology : Bases of human factors engineering/ergonomics fourth edition*. USA, Springer.
- 13.Robergs, Robert A., Landwehr, Roberto. (2002). The surprising history of the “Hrmax=220-age” equation. *Official Journal of the American Society of Exercise Physiologist (ASEP)*, vol.5, no.2,1-10. doi:[ditambahkan bila tersedia].
- 14.Sitasi awal: (Robergs, Robert A., Landwehr, Roberto.,2002); selanjutnya: (Robergs et al.,2002)
- 15.Rodahl, Kaare. (2005) . *The Physiology of work*. USA, Taylor and Francis e-Library.
- 16.Tanaka, Hirofumi., Monahan Kevin D., Seals, Douglas R. (2001). Age – predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of cardiology*, 37(1):153-156. doi: [ditambahkan bila tersedia].
- 17.Sitasi: (Tanaka, Hirofumi., Monahan Kevin D., Seals, Douglas R. 2001); selanjutnya: (Tanaka et al,2001)