



Analisis Pengaruh BMI, Tinggi Rak dan Berat Barang Terhadap *Energy Expenditure* Pekerja Bagian Manual Material Handling

Teguh Oktiarso¹✉, Safitri¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Ma Chung, Malang, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v8i3.42994

✉ Corresponding author:

[oktiarso@gmail.com]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> MMH; BMI; ANOVA; Kebutuhan energi; Detak Jantung</p>	<p>Aktivitas Manual Material Handling merupakan aktivitas yang memerlukan kekuatan fisik manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh BMI, tinggi rak, dan bobot barang terhadap kebutuhan energi pada aktivitas MMH. Taraf untuk BMI adalah kurus dan normal. Sedangkan bobot barang memiliki 2 taraf, yaitu 5 kg dan 10 kg. Faktor tinggi rak memiliki 2 taraf, yaitu 76 cm dan 126 cm. Responden penelitian adalah empat pekerja laki-laki usia 18-25 tahun. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa ketiga faktor memiliki pengaruh terhadap kebutuhan energi serta interaksi antara BMI dan bobot barang terhadap kebutuhan energi. Hasil uji lanjutan menggunakan uji Duncan menunjukkan bahwa responden dengan BMI kurus membutuhkan energi lebih besar daripada responden dengan BMI normal saat mengangkat beban 10 kg. Sementara itu, perbedaan kebutuhan energi antara responden BMI kurus dan normal saat mengangkat beban 5 kg tidak signifikan. Hasil perhitungan konsumsi energi menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan aktivitas MMH pada penelitian ini masih termasuk dalam kriteria beban kerja ringan.</p>
<p>Keywords: MMH; BMI; ANOVA; Energy Expenditure; Heart beat</p>	<p><i>The present study aims to determine the effect of BMI, shelf height, and weight of goods on energy requirements in manual material handling (MMH) activities. The BMI levels considered are thin and normal, while the weight of goods is classified into two levels, 5 kg and 10 kg. The shelf height is also classified into two levels, 76 cm and 126 cm. The research respondents were four male workers aged 18-25 years. The results of the ANOVA test demonstrate that the three factors have an influence on energy requirements, as well as the interaction between BMI and weight of goods on energy requirements. The results of further tests using the Duncan test show that respondents with a thin BMI required more energy than respondents with a normal</i></p>

BMI when lifting 10 kg. Conversely, the disparity in energy requirements between lean and normal BMI respondents when lifting 5 kg was not significant. The findings of the energy consumption calculation indicate that the energy required by workers to perform MMH activities in this study falls within the light workload criteria.

1. PENDAHULUAN

Kerja fisik merupakan aktivitas yang membutuhkan energi fisik otot manusia sebagai sumber tenaga. Aktivitas ini memicu pengeluaran energi (energy expenditure) yang diukur dalam satuan kalori, yang diperoleh melalui metabolisme nutrisi seperti karbohidrat, lemak, dan protein. Metabolisme tersebut bergantung pada ketersediaan oksigen yang diangkut oleh darah ke otot untuk proses pembakaran zat gizi, sehingga menghasilkan energi (Faritsy and Nugroho, 2017) Berdasarkan kategori beban kerja menurut kebutuhan energi, pekerjaan ringan membutuhkan 100–200 kilokalori per jam, pekerjaan sedang 201–350 kilokalori per jam, dan pekerjaan berat lebih dari 350 kilokalori per jam (Schrack, et al., 2014) Energi ini dikaitkan langsung dengan denyut jantung dan konsumsi oksigen, di mana semakin berat pekerjaan, semakin tinggi kebutuhan oksigen dan energi yang diperlukan. Korelasi antara denyut jantung dan pengeluaran energi menunjukkan hubungan linier yang kuat, menjadikannya indikator pembebanan kerja yang andal (Carter, et al., 2015)

Faktor ergonomi juga memengaruhi pengeluaran energi, seperti posisi tubuh saat bekerja atau kondisi lingkungan. Misalnya, posisi kerja yang tidak ergonomis dapat meningkatkan beban pada sistem kardiovaskular dan meningkatkan pengeluaran energi secara signifikan. (Madeleine, et al., 2011) Pendekatan ergonomis dapat membantu mengurangi dampak beban kerja dengan memperhatikan keseimbangan antara tuntutan kerja dan kapasitas fisik pekerja (Wilson, 2014)

Penilaian beban kerja fisik dapat dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu metode langsung dan tidak langsung. Metode langsung melibatkan pengukuran energi yang dikeluarkan tubuh melalui konsumsi oksigen selama aktivitas kerja. Pendekatan ini sangat akurat, terutama karena adanya hubungan langsung antara peningkatan beban kerja dengan kebutuhan oksigen (Isaacs, et al., 2008) Berdasarkan kategori yang disusun oleh Christensen, tingkat konsumsi oksigen dapat diklasifikasikan, misalnya pada beban kerja ringan (0,5-1,0 liter per menit) hingga sangat berat sekali (>2,5 liter per menit). Metode tidak langsung, di sisi lain, lebih sering digunakan karena kemudahannya. Salah satu pendekatan yang populer adalah pengukuran denyut jantung. Peningkatan denyut jantung menjadi indikator beban kerja karena aktivitas otot yang lebih intensif memerlukan suplai oksigen yang lebih besar melalui aliran darah (Oliveira, et al, 2017)

Berbagai macam kondisi kerja dapat menaikkan denyut jantung, diantaranya dapat berupa indeks massa tubuh, jenis aktivitas, dan lain-lain. Sebuah penelitian tentang menyebutkan bahwa ketika umur bertambah, physiological cost index akan bertambah, dan ketika body mass index bertambah, nilai physiological cost index akan bertambah, menunjukkan lebih banyak energy expenditure (Mehta, et al., 2017) Pada penelitian lain menemukan terdapat hubungan antara denyut nadi dan indeks massa tubuh.(Kucukkomurler and Istik, 2016)

Aktivitas manual material handling (MMH) melibatkan perpindahan barang secara manual dan sering kali menjadi salah satu penyebab utama gangguan musculoskeletal dan kelelahan fisik pada pekerja. Faktor-faktor seperti indeks massa tubuh (BMI), tinggi rak, dan bobot barang diyakini memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat kebutuhan energi selama melakukan aktivitas MMH (Zhang, et al., 2018) Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kebutuhan energi saat melakukan pekerjaan fisik berkorelasi erat dengan parameter fisiologis seperti denyut jantung, yang merupakan indikator yang dapat diandalkan untuk menilai beban kerja fisik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh BMI, tinggi rak, dan bobot barang terhadap kebutuhan energi pada aktivitas MMH. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang memungkinkan identifikasi dan pengukuran dampak setiap faktor terhadap kebutuhan energi (Corbeil, et al., 2019)

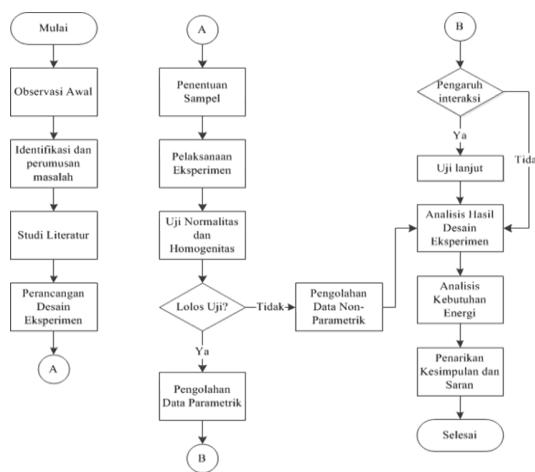
Eksperimen akan dilakukan dengan memvariasikan tinggi rak (misalnya rendah, sedang, tinggi) dan bobot barang (misalnya ringan, sedang, berat). Responden akan diminta untuk melakukan aktivitas MMH sesuai dengan kombinasi variabel tersebut. Responden penelitian akan dipilih dan diklasifikasikan berdasarkan nilai BMI mereka, yang dihitung menggunakan rumus standar BMI. Denyut jantung responden akan diukur selama aktivitas menggunakan perangkat pemantauan denyut jantung untuk mendapatkan data fisiologis real-time. Data denyut jantung tersebut kemudian akan dikonversi menjadi kebutuhan energi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang bagaimana BMI, tinggi rak, dan bobot barang memengaruhi kebutuhan energi pekerja selama aktivitas MMH. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk merekomendasikan pengaturan kerja yang lebih ergonomis, seperti optimisasi tinggi rak dan pembatasan bobot barang, serta untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi pekerja. Penelitian ini juga akan berkontribusi pada pengembangan standar ergonomi yang dapat mengurangi risiko cedera dan meningkatkan produktivitas pekerja

2. METODE

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan pemilihan subjek penelitian yang memenuhi kriteria tertentu, yaitu usia produktif dan kondisi fisik yang sehat, serta penghitungan indeks massa tubuh (BMI) untuk menentukan klasifikasi status gizi responden. Tahap berikutnya adalah merancang desain eksperimen dengan memvariasikan tinggi rak dan bobot barang. Responden kemudian melakukan aktivitas manual material handling (MMH) sesuai kombinasi variabel tersebut. Selama proses, denyut jantung responden akan diukur menggunakan smartwatch untuk mendapatkan data fisiologis real-time. Data ini digunakan untuk menghitung kebutuhan energi melalui persamaan hubungan denyut jantung dengan konsumsi oksigen (Corbeil, et al., 2019)

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yang dimulai dari tahap observasi. Berikut merupakan diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian toko X yang berlokasi di Kota Malang. Toko X merupakan toko grosir dan retail yang menjual barang konsumsi, bahan kue, dan perlengkapan alat masak kue. Toko ini terdiri dari 2 lantai dan penelitian dilakukan di lantai 2 yang merupakan gudang penyimpanan barang. Penelitian akan diawali dengan melakukan observasi di toko untuk melihat masalah yang terkait dengan jumlah energi yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan aktivitas manual material handling. Identifikasi masalah akan dilakukan berdasarkan hasil observasi. Masalah akan dirumuskan berdasarkan hasil identifikasi dan tujuan penelitian akan didasarkan pada perumusan masalah.

Perancangan desain eksperimen kemudian dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari BMI, tinggi rak, dan bobot barang terhadap kebutuhan energi. Penentuan sampel ditentukan untuk memperoleh data yang mencukupi dan mencapai tingkat akurasi yang diinginkan. Sampel yang akan diambil adalah pria berusia 18-25 tahun. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik *Disproportionate Stratified Random Sampling*. Penentuan jumlah sampel akan menggunakan uji Federer untuk mengetahui jumlah perulangan yang akan diambil.

Setelah mendapatkan jumlah sampel, eksperimen dilakukan pada pria berusia 18-25 tahun. Terdapat tiga faktor pada penelitian ini, yaitu BMI, tinggi rak, dan bobot barang. Eksperimen dilakukan dengan mengukur denyut jantung responden menggunakan alat pengukur denyut jantung. Uji normalitas dan homogenitas kemudian dilakukan untuk mengetahui normal atau tidaknya distribusi data. Pengolahan data parametrik dilakukan jika data terdistribusi normal dan homogen. Pengolahan data dilakukan menggunakan uji ANOVA, dan selanjutnya dilakukan uji hipotesis. Melalui pengolahan data ini akan diketahui ada atau tidaknya interaksi untuk kemudian dilakukan analisis hasil. Jika terdapat minimal satu hipotesis yang menyatakan adanya pengaruh interaksi dalam

percobaan tersebut, uji lanjut menggunakan uji Duncan akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh-pengaruh sederhana dalam pengaruh interaksi tersebut.

Respons yang diharapkan dari responden pada penelitian ini adalah respons yang dapat merepresentasikan kebutuhan energi responden terhadap suatu perlakuan. Respons yang digunakan dalam penelitian ini adalah angka detak jantung yang didapatkan dari aktivitas mengangkat dan menurunkan barang selama maksimal 5 menit dengan frekuensi angkatan 4 kali per menit. Responden penelitian ini adalah pekerja laki-laki di Toko X dengan rentang usia 18-25 tahun. Responden akan diukur detak jantungnya per menit menggunakan Mi Band 4 pada saat melakukan aktivitas mengangkat dan menurunkan barang ke atas rak dengan ketinggian yang berbeda.

Pekerja biasa mengangkat dalam posisi *stoop lift*. Rentang usia pekerja di toko ini adalah 18-47 tahun. Berdasarkan data diatas, berikut merupakan tabel dari faktor dan taraf yang digunakan:

Tabel 1. Faktor dan Taraf yang digunakan dalam penelitian

Faktor	Taraf	Keterangan
BMI	Kurus	<18,4
	Normal	18,5-25,0
Tinggi rak	76 cm	
	126 cm	
Bobot barang	5 kg	
	10 kg	

Berdasarkan faktor dan taraf yang telah ditentukan, didapatkan desain faktor yaitu 2x2x2. Responden dari penelitian ini adalah 4 orang pekerja laki-laki, sehingga rancangan dasar yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan Percobaan Faktorial Tiga Faktor RAL. Banyaknya sampel ditentukan menggunakan rumus Federer. Berikut merupakan perhitungan sampel menggunakan rumus Federer:

$$(t-1)(r-1) \geq 15 \quad (1)$$

Berdasarkan perhitungan dengan rumus Federer, dilakukan 4 kali perulangan untuk setiap perlakuan. Sehingga, besar sampel yang akan diambil pada 8 kombinasi perlakuan adalah 32 sampel. Terdapat 4 orang responden, sehingga setiap responden akan memperoleh 8 perlakuan untuk mencapai 32 sampel.

Aktivitas yang akan disimulasikan adalah aktivitas mengangkat dan menurunkan barang dengan bobot barang 5 kg dan 10 kg. Barang yang digunakan adalah karton selai Lepatta Tropicana CF yang memiliki isi 2 pak dan berat masing-masing 5 kg. Karton selai isi 1 pak (5 kg) akan digunakan untuk sebagai taraf 5 kg, sedangkan karton selai isi 2 pak (10 kg) akan digunakan sebagai taraf 10 kg. Frekuensi pengangkatan adalah 4 kali/menit, didasarkan pada hasil observasi pada salah satu jenis barang yaitu 2000 karton Teh Pucuk yang membutuhkan waktu 4 jam untuk diangkat ke gudang. Proses pengangkatan melibatkan 2 hingga 3 orang sehingga setiap orang dapat mengangkat sekitar 4 karton/menit. Posisi *stoop lift* akan diterapkan pada percobaan ini karena para pekerja terbiasa mengangkat pada posisi *stoop lift*.

Penelitian menggunakan percobaan faktorial 2x2x2 sehingga terdapat delapan kombinasi perlakuan dimana dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. A = kombinasi perlakuan BMI kurus, bobot barang 5 kg, dan tinggi rak 76 cm.
2. B = kombinasi perlakuan BMI kurus, bobot barang 10 kg, dan tinggi rak 76 cm.
3. C = kombinasi perlakuan BMI kurus, bobot barang 5 kg, dan tinggi rak 126 cm.
4. D = kombinasi perlakuan BMI kurus, bobot barang 10 kg, dan tinggi rak 126 cm.
5. E = kombinasi perlakuan BMI normal, bobot barang 5 kg, dan tinggi rak 76 cm.
6. F = kombinasi perlakuan BMI normal, bobot barang 10 kg, dan tinggi rak 76 cm.
7. G = kombinasi perlakuan BMI normal, bobot barang 5 kg, dan tinggi rak 126 cm.
8. H = kombinasi perlakuan BMI normal, bobot barang 10 kg, dan tinggi rak 126 cm.

Masing-masing perlakuan akan dikenakan perulangan sebanyak 4 kali sehingga jumlah percobaan yang dilakukan adalah 32 percobaan. Setiap responden akan mendapatkan 8 perlakuan. Perlakuan yang akan diperoleh responden dilakukan menggunakan angka acak melalui formula =RANDBETWEEN pada Microsoft Excel. Pengacakannya akan dilakukan terpisah untuk BMI kurus dan BMI normal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengukur detak jantung dari 4 pekerja laki-laki di toko Inti Aroma yang berada dalam rentang usia 18-25 tahun. Percobaan akan dilakukan di lantai 2 Toko X. Setiap responden akan melakukan aktivitas MMH yaitu mengangkat dan menurunkan barang dengan berat 5 kg dan 10 kg selama maksimal 5 menit dengan frekuensi angkat 4 kali/menit. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 25 April 2024 hingga 9 Mei 2024. Berikut merupakan data BMI keempat responden:

Tabel 2. Data BMI responden

Nama	Nilai	BMI	Keterangan
Zuhri	18	Kurus	Rentang Kurus
Mirza	18,3	Kurus	< 18,4
Aldian	20,2	Normal	Rentang Normal
Muksam	24,9	Normal	= 18,5-25,0

Berikut data hasil pengambilan detak jantung untuk keempat responden sesuai dengan perlakuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Tabel 3. Detak jantung responden saat beraktivitas

Perlakuan	Nama	Usia	BMI	Rata-Rata Detak Jantung
C	Zuhri	19	Kurus	88
C	Zuhri	19	Kurus	90
D	Zuhri	19	Kurus	106,2
D	Zuhri	19	Kurus	105,75
C	Zuhri	19	Kurus	87
B	Zuhri	19	Kurus	97,8
A	Zuhri	19	Kurus	82
B	Zuhri	19	Kurus	103,2
A	Mirza	20	Kurus	84,75
D	Mirza	20	Kurus	109,6
A	Mirza	20	Kurus	80,75
B	Mirza	20	Kurus	98,6
C	Mirza	20	Kurus	89,2
D	Mirza	20	Kurus	108
A	Mirza	20	Kurus	82,75
B	Mirza	20	Kurus	100
H	Aldian	21	Normal	93,6
E	Aldian	21	Normal	78,5
F	Aldian	21	Normal	93,5
E	Aldian	21	Normal	79,75
F	Aldian	21	Normal	90
H	Aldian	21	Normal	98,6
G	Aldian	21	Normal	88,6
H	Aldian	21	Normal	90,6
F	Muksam	21	Normal	84
G	Muksam	21	Normal	84,75
F	Muksam	21	Normal	85,75
H	Muksam	21	Normal	88,4
E	Muksam	21	Normal	76
G	Muksam	21	Normal	82,75
E	Muksam	21	Normal	78,75
G	Muksam	21	Normal	83,2

Untuk mengetahui homogenitas data detak jantung responden pada setiap perlakuan, uji homogenitas dilakukan menggunakan uji Bartlett. Berikut merupakan hasil uji homogenitas menggunakan bantuan program Minitab 16:

Test for Equal Variances: Response versus BMI; Bobot Barang; Tinggi Rak							
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations							
Bobot	BMI	Barang	Tinggi Rak	N	Lower	StDev	Upper
Kurus	10 Kg	126 cm	4	0,82233	1,76653	13,3887	
Kurus	10 Kg	76 cm	4	1,10813	2,38048	18,0419	
Kurus	5 Kg	126 cm	4	0,61463	1,32035	10,0071	
Kurus	5 Kg	76 cm	4	0,77996	1,67550	12,6988	
Normal	10 Kg	126 cm	4	2,05527	4,41513	33,4628	
Normal	10 Kg	76 cm	4	1,99176	4,27870	32,4288	
Normal	5 Kg	126 cm	4	1,23754	2,65848	20,1489	
Normal	5 Kg	76 cm	4	0,74214	1,59426	12,0831	
Bartlett's Test (Normal Distribution)							
Test statistic = 7,98; p-value = 0,334							

Gambar 2. Hasil Uji Homogenitas Bartlett dengan Minitab 16

Percobaan faktorial tiga faktor dilakukan dalam penelitian ini dengan 8 kombinasi perlakuan. Setiap faktor memiliki taraf yang tetap sehingga penelitian ini dikategorikan sebagai percobaan faktorial RAL model tetap. Berikut merupakan model linier dari percobaan RAL model tetap:

$$y_{ijkt} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)ij + (\tau\gamma)ik + (\beta\gamma)jk + (\tau\beta\gamma)ijk + \epsilon_{ijkl} \quad (2)$$

Dimana :

- γ_{ijkt} = Kebutuhan energi dari kelompok ke-l, yang memperoleh taraf ke-i dari faktor A (BMI) dan taraf ke- j dari faktor B (bobot barang), dan taraf ke-k dari faktor C (tinggi rak).
 μ = Nilai rata-rata kebutuhan energi dari semua percobaan.
 τ_i = Pengaruh dari taraf ke-i faktor A (BMI).
 β_j = Pengaruh dari taraf ke-j faktor B (bobot barang).
 γ_k = Pengaruh dari taraf ke-k faktor C (tinggi rak).
 $(\tau\beta)ij$ = Pengaruh interaksi taraf ke-i faktor A (BMI) dan taraf ke-j faktor B (bobot barang).
 $(\tau\gamma)ik$ = Pengaruh interaksi taraf ke-i faktor A (BMI) dan taraf ke-k faktor C (tinggi rak).
 $(\beta\gamma)jk$ = Pengaruh interaksi taraf ke-j faktor B (bobot barang) dan taraf ke-k faktor C (tinggi rak).
 $(\tau\beta\gamma)ijk$ = Pengaruh interaksi taraf ke-i faktor A (BMI), taraf ke-j faktor B (bobot barang), dan taraf ke-k faktor C (tinggi rak).
 ϵ_{ijkl} = Pengaruh galat (error) dari satuan percobaan ke-l dari kombinasi perlakuan ijk (taraf ke-i faktor A (BMI), taraf ke-j faktor B (bobot barang), dan taraf ke-k faktor C (tinggi rak)).

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA yang dilakukan menggunakan program Minitab 16, tampak bahwa interaksi antar perlakuan dengan faktor BMI, tinggi rak serta bobot barang mempengaruhi kebutuhan energi responden. Data tersebut dapat dilihat pada hasil berikut ini :

General Linear Model: Response versus BMI; Bobot Barang; Tinggi Rak							
Factor							
Type							
Levels							
BMI	fixed	2	Kurus; Normal				
Bobot Barang	fixed	2	10 Kg; 5 Kg				
Tinggi Rak	fixed	2	126 cm; 76 cm				
Analysis of Variance for Response, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
BMI	1	585,25	585,25	585,25	77,07	0,000	
Bobot Barang	1	1469,50	1469,50	1469,50	193,52	0,000	
Tinggi Rak	1	301,04	301,04	301,04	39,65	0,000	
BMI*Bobot Barang	1	164,48	164,48	164,48	21,66	0,000	
BMI*Tinggi Rak	1	2,91	2,91	2,91	0,38	0,542	
Bobot Barang*Tinggi Rak	1	0,17	0,17	0,17	0,02	0,881	
BMI*Bobot Barang*Tinggi Rak	1	6,44	6,44	6,44	0,05	0,366	
Error	24	182,24	182,24	7,59			
Total	31	2712,03					
S = 2,75562 R-Sq = 93,28% R-Sq(adj) = 91,32%							
Unusual Observations for Response							
Obs	Response	Fit	SE Fit	Residual	St Resid		
19	93,500	88,312	1,378	5,188	2,17 R		
24	98,600	92,800	1,378	5,800	2,43 R		
R denotes an observation with a large standardized residual.							

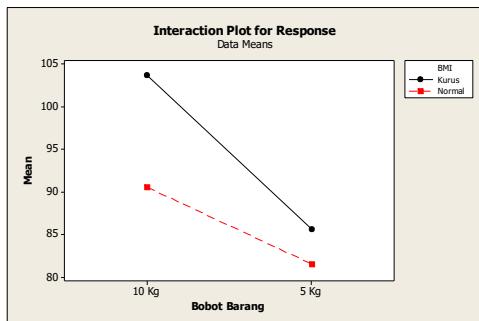
Gambar 3. Uji ANOVA Kebutuhan Energi Berdasarkan Angka Detak Jantung Responden

Berdasarkan dari hasil pengujian ANOVA untuk data kebutuhan energi terhadap semua faktor, maka hasil pengujian hipotesis dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. $H_0: \tau_i = 0$, berarti faktor BMI tidak memengaruhi respons terhadap kebutuhan energi.

- H1: minimal ada satu $\tau_i \neq 0$, berarti faktor BMI memengaruhi respons terhadap kebutuhan energi. Berdasarkan hasil ANOVA, didapatkan nilai F hitung sebesar 77,07 sehingga F hitung > F tabel. P-value didapatkan sebesar 0,000 sehingga P-value < nilai α , yaitu 0,05. Dengan demikian, sumber keragaman faktor A menolak H0 yang berarti ada pengaruh faktor BMI terhadap kebutuhan energi.
2. H0: $\beta_j = 0$, berarti faktor bobot barang tidak memengaruhi respons terhadap kebutuhan energi. H1: minimal ada satu $\beta_j \neq 0$, berarti faktor bobot barang memengaruhi respons terhadap kebutuhan energi. Berdasarkan hasil ANOVA, didapatkan nilai F hitung sebesar 193,52 sehingga F hitung > F tabel. P-value didapatkan sebesar 0,000 sehingga P-value < nilai α , yaitu 0,05. Dengan demikian, sumber keragaman faktor B menolak H0 yang berarti ada pengaruh faktor bobot barang terhadap kebutuhan energi.
3. H0: $\gamma_k = 0$, berarti faktor tinggi rak tidak memengaruhi respons terhadap kebutuhan energi. H1: minimal ada satu $\gamma_k \neq 0$, berarti faktor tinggi rak memengaruhi respons terhadap kebutuhan energi. Berdasarkan hasil ANOVA, didapatkan nilai F hitung sebesar 39,65 sehingga F hitung > F tabel. P-value didapatkan sebesar 0,000 sehingga P-value < nilai α , yaitu 0,05. Dengan demikian, sumber keragaman faktor C menolak H0 yang berarti ada pengaruh faktor tinggi rak terhadap kebutuhan energi.
4. H0: $(\tau\beta)ij = 0$, berarti tidak ada pengaruh interaksi antara BMI dan bobot barang terhadap kebutuhan energi. H1: minimal ada satu $(\tau\beta)ij \neq 0$, berarti ada pengaruh interaksi antara BMI dan bobot barang terhadap kebutuhan energi. Berdasarkan hasil ANOVA, didapatkan nilai F hitung sebesar 21,66 sehingga F hitung > F tabel. P-value didapatkan sebesar 0,000 sehingga P-value < nilai α , yaitu 0,05. Dengan demikian, sumber keragaman interaksi faktor AB menolak H0 yang berarti ada pengaruh interaksi antara BMI dan bobot barang terhadap kebutuhan energi.
5. H0: $(\tau\gamma)ik = 0$, berarti tidak ada pengaruh interaksi antara BMI dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi. H1: minimal ada satu $(\tau\gamma)ik \neq 0$, berarti ada pengaruh interaksi antara BMI dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi. Berdasarkan hasil ANOVA, didapatkan nilai F hitung sebesar 0,38 sehingga F hitung < F tabel. P-value didapatkan sebesar 0,542 sehingga P-value > nilai α , yaitu 0,05. Dengan demikian, sumber keragaman interaksi faktor AC menerima H0 yang berarti tidak ada pengaruh interaksi antara BMI dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi.
6. H0: $(\beta\gamma)jk = 0$, berarti tidak ada pengaruh interaksi antara bobot barang dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi. H1: minimal ada satu $(\beta\gamma)jk \neq 0$, berarti ada pengaruh interaksi antara bobot barang dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi. Berdasarkan hasil ANOVA, didapatkan nilai F hitung sebesar 0,02 sehingga F hitung < F tabel. P-value didapatkan sebesar 0,881 sehingga P-value > nilai α , yaitu 0,05. Dengan demikian, sumber keragaman interaksi faktor BC menerima H0 yang berarti tidak ada pengaruh interaksi antara bobot barang dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi.
7. H0: $(\tau\beta\gamma)ijk = 0$, berarti tidak ada pengaruh interaksi antara BMI, bobot barang, dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi. H1: minimal ada satu $(\tau\beta\gamma)ijk \neq 0$, berarti ada pengaruh interaksi antara BMI, bobot barang, dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi. Berdasarkan hasil ANOVA, didapatkan nilai F hitung sebesar 0,85 sehingga F hitung < F tabel. P-value didapatkan sebesar 0,366 sehingga P-value > nilai α , yaitu 0,05. Dengan demikian, sumber keragaman interaksi faktor ABC menerima H0 yang berarti tidak ada pengaruh interaksi antara BMI, bobot barang, dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi.

Mengacu hasil uji hipotesis dari penghitungan ANOVA tersebut, faktor yang berpengaruh pada kebutuhan energi pekerja saat bekerja adalah BMI dan bobot barang. Interaksi antara BMI dan beban barang yang mempengaruhi kebutuhan energi pekerja dapat dijelaskan pada gambar berikut ini.

**Gambar 4. Interaksi Antara Faktor BMI dan Bobot Barang terhadap Respons Kebutuhan Energi**

Perhitungan kebutuhan energi berdasarkan denyut jantung dilakukan menggunakan persamaan Astuti (1985, dalam Marasabessy, 2012) dengan rumus sebagai berikut:

$$Y = 1,80411 - 0,0229038X + 4,71733 \times 10^{-4}X^2 \quad (3)$$

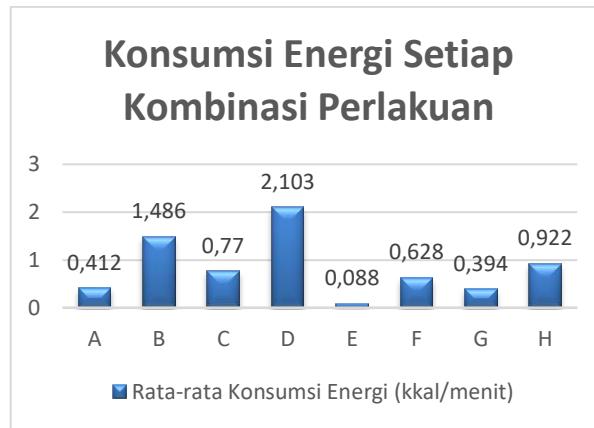
Penentuan konsumsi energi adalah dilakukan penghitungan energy expenditure pada denyut jantung normal dapat diketahui hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Perhitungan Konsumsi Energi

Perlakuan	Denyut jantung	Konsumsi Energi (kkal/menit)
C	88	3,442
C	90	3,564
D	106,2	4,692
D	105,75	4,657
C	87	3,382
B	97,8	4,076
A	82	3,098
B	103,2	4,465
A	84,75	3,251
D	109,6	4,960
A	80,75	3,031
B	98,6	4,132
C	89,2	3,515
D	108	4,833
A	82,75	3,139
B	100	4,231
H	93,6	3,793
E	78,5	2,913
F	93,5	3,787
E	79,75	2,978
F	90	3,564
H	98,6	4,132
G	88,6	3,478
H	90,6	3,601
F	84	3,209
G	84,75	3,251
F	85,75	3,309
H	88,4	3,466
E	76	2,788
G	82,75	3,139
E	78,75	2,926
G	83,2	3,164

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, didapatkan nilai rata-rata konsumsi energi untuk responden dengan BMI kurus adalah sebesar 1,193 kkal/menit dan responden dengan BMI normal adalah sebesar 0,508 kkal/menit. Hal

ini menunjukkan bahwa responden dengan BMI kurus membutuhkan energi yang lebih besar daripada responden dengan BMI normal untuk melakukan aktivitas MMH dalam percobaan ini. Berikut merupakan perbandingan rata-rata konsumsi energi untuk setiap kombinasi perlakuan:



Gambar 5. Perbandingan Rata-rata Konsumsi Energi Setiap Kombinasi Perlakuan

Hasil penghitungan di atas, dapat dilihat bahwa perlakuan D membutuhkan konsumsi energi paling besar yaitu sebesar 2,103 kkal/menit. Hasil ini sesuai dengan hasil dari uji lanjutan sebelumnya yang menunjukkan bahwa responden dengan BMI kurus membutuhkan energi lebih besar daripada responden BMI normal saat mengangkat beban 10 kg. Sedangkan, perlakuan E membutuhkan perlakuan konsumsi energi paling kecil yaitu sebesar 0,088 kkal/menit. Hasil ini sesuai dengan hasil dari uji lanjutan sebelumnya yang menunjukkan bahwa responden dengan BMI normal lebih baik mengangkat beban 5 kg daripada 10 kg. Berdasarkan hasil perhitungan ini, dapat disimpulkan bahwa energi yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan aktivitas MMH pada penelitian ini masih termasuk dalam kriteria beban kerja ringan.(Çakit, 2017) Hal ini karena nilai rata-rata konsumsi energi saat bekerja kurang dari 2,5 kkal/menit dan nilai rata-rata denyut jantung kurang dari 100 bpm.

Karyawan toko baik yang masuk kategori BMI kurus maupun normal bertugas mengangkat barang-barang ini sehari-harinya. Sehingga, dampak yang ditimbulkan jika karyawan melakukan aktivitas ini dalam waktu yang lama adalah lebih banyaknya energi yang dikeluarkan oleh karyawan dengan BMI kurus daripada BMI normal.(Dang, et al., 2019) Karyawan dengan BMI kurus dapat juga membutuhkan lebih banyak waktu dalam melakukan pekerjaannya. Hal ini dapat memengaruhi pola kerja karyawan. Maka, karyawan dengan BMI kurus disarankan untuk lebih memerhatikan asupan nutrisi makanan, menambah kalori sehat, dan menambah berat otot agar asupan energi yang masuk dapat sesuai dengan jumlah energi yang dikeluarkan untuk melakukan aktivitas MMH di toko.(Headrick, et al., 2013)

4. KESIMPULAN

Faktor perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah BMI, tinggi rak, dan bobot barang. Taraf untuk faktor BMI adalah kurus dan normal. Faktor bobot barang memiliki 2 taraf, yaitu 5 kg dan 10 kg. Faktor tinggi rak memiliki 2 taraf, yaitu 76 cm dan 126 cm.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa ketiga faktor memiliki pengaruh terhadap kebutuhan energi. Hasil uji ANOVA juga menunjukkan adanya pengaruh interaksi antara faktor BMI dan faktor bobot barang terhadap kebutuhan energi. Sementara itu, hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh interaksi antara faktor BMI dan faktor tinggi rak, faktor bobot barang dan faktor tinggi rak, serta faktor BMI, bobot barang, dan tinggi rak terhadap kebutuhan energi. Uji lanjutan kemudian dilakukan untuk menguji pengaruh-pengaruh sederhana dari pengaruh interaksi faktor A dan B.

Perhitungan kebutuhan energi berdasarkan denyut jantung kemudian dilakukan menggunakan persamaan Astuti. Nilai rata-rata konsumsi energi responden saat bekerja adalah < 2,5 kkal/menit dan nilai rata-rata denyut jantung kurang dari 100 bpm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa energi yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan aktivitas MMH pada penelitian ini masih termasuk dalam kriteria beban kerja ringan.

5. REFERENCES

- Çakıt, E. (2017). Estimation of Energy Expenditure Based on Divided Manual Material Handling Task: Waste Collection Example. *CBU J. of Sci*, 13(1), 51–54. <https://doi.org/10.18466/cbujos.302640>
- Carter, S. E., Jones, M., & Gladwell, V. F. (2015). Energy expenditure and heart rate response to breaking up sedentary time with three different physical activity interventions. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 25(5), 503–509. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2015.02.006>
- Corbeil, P., Plamondon, A., Handrigan, G., Vallée-Marcotte, J., Laurendeau, S., Ten Have, J., & Manzerolle, N. (2019). Biomechanical analysis of manual material handling movement in healthy weight and obese workers. *Applied Ergonomics*, 74, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.018>
- Dang, A., Maitra, P., & Menon, N. (2019). Labor market engagement and the body mass index of working adults: Evidence from India. *Economics and Human Biology*, 33, 58–77. <https://doi.org/10.1016/j.ehb.2019.01.006>
- Faritsy, A. Z. Al, & Nugroho, Y. A. (2017). Pengukuran Lingkungan Kerja Fisik dan Operator untuk Menentukan Waktu Istirahat Kerja. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 16(2), 108. <https://doi.org/10.23917/jiti.v16i2.3379>
- Headrick, L. B., Rowe, C. C., Kendall, A. R., Zitt, M. A., Bolton, D. L., & Langkamp-Henken, B. (2013). Adults in all body mass index categories underestimate daily energy requirements. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 45(5), 460–465. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2012.12.005>
- Isaacs, K., Glen, G., McCurdy, T., & Smith, L. (2008). Modeling energy expenditure and oxygen consumption in human exposure models: Accounting for fatigue and EPOC. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18(3), 289–298. <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500594>
- Kucukkomurler, S., & Istik, O. (2016). Energy intake, energy dispersion and body mass index interaction in adolescents. *Journal of Human Sciences*, 13(2), 2793. <https://doi.org/10.14687/jhs.v13i2.3849>
- Madeleine, P., Samani, A., de, M., & Kersting, U. (2011). Biomechanical Assessments in Sports and Ergonomics. Dalam Theoretical Biomechanics. InTech. <https://doi.org/10.5772/21255>
- Mehta, J. N., Gupta, A. V., Raval, N. G., Raval, N., & Hasnani, N. (2017). Physiological cost index of different body mass index and age of an individual. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 7(12), 1313–1317. <https://doi.org/10.5455/njppp.2017.7.0622130062017>
- Oliveira, L. F., Palinkas, M., Vasconcelos, P. B. de, Regalo, I. H., Cecilio, F. A., Oliveira, E. F., Semprini, M., Siéssere, S., & Regalo, S. C. H. (2017). Influence of age on the electromyographic fatigue threshold of the masseter and temporal muscles of healthy individuals. *Archives of Oral Biology*, 84, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.09.004>
- Schrack, J. A., Zipunnikov, V., Goldsmith, J., Bandeen-Roche, K., Crainiceanu, C. M., & Ferrucci, L. (2014). Estimating energy expenditure from heart rate in older adults: A case for calibration. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093520>
- Wilson, J. R. (2014). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics*, 45(1), 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.021>
- Zhang, W., Fan, S., Xiong, J., & Chen, S. (2018). A Biobjective Model for Manual Materials Handling with Energy Consumption Being Accounted for. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3474352>