

PENGARUH FAKTOR PENGALI ASIMETRI TERHADAP KAPASITAS BEBAN ANGKAT PEREMPUAN INDONESIA

EFFECT OF ASYMMETRY MULTIPLIERS ON THE LIFTING CAPACITY OF INDONESIAN WOMEN

*Mayesti Kurnianingtias**

Program Studi Teknik Pembuatan Garmen,
Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta

Ardiyanto

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada

Submitted: 2023-02-28; Revised: 2023-10-05; Accepted: 2023-10-08

ABSTRACT

Manual material handling can improve occupational diseases such as low back pain and musculoskeletal disorders. In an attempt to reduce the risk of injury as a result of such work, NIOSH published the recommended weight limit (RWL) equation. The RWL formulation was made with Europeans and Americans, so this research was conducted to see the suitability of the RWL formulation for Asians, especially Indonesians. The participants of this study were 30 Indonesian women students. The independent variable in this research is the asymmetry multiplier. The participants perform asymmetric lifting in 0, 30, 60, and 90 degrees with the frequency of 1 lift/min in a 30-minute duration. Other multiplier factors such as the vertical multiplier, distance multiplier, and coupling multiplier are made to have a value of 1. The weight of the load lifted by the respondent is adjusted to the maximum load that each respondent can lift comfortably, which is usually called the maximum acceptable weight of lift (MAWL). The heart rate data used for analysis is the heart rate in the last five minutes. In addition, respondents also filled out the Borg RPE scale. The results of this study were that the heart rate increased from an average resting heart rate of 83.12 beats/minute to 90.6 beats/minute. The statistical test results showed that there was no significant effect between asymmetry lifting tasks on heart rate, energy expenditure, and the Borg's Scale RPE ($\alpha = 0,05$). Energy expenditure in this study is still below the threshold set by NIOSH. From this study, the predicted AM equation of physiological for Indonesian (energy expenditure) is $AM = 1 - (0,0024A)$ and the predicted AM equation of RPE is $AM = 1 - (0,0029A)$.

Keywords: *Asymmetric Lifting; NIOSH; Physiology; Psychophysics; Recommended Weight Limit.*

ABSTRAK

Penanganan material secara manual dapat meningkatkan risiko penyakit akibat kerja seperti nyeri pada punggung bagian bawah maupun cedera otot rangka. NIOSH mengeluarkan persamaan batas pembebanan maksimal yang diijinkan untuk diangkat oleh pekerja yang disebut dengan recommended weight limit (RWL) yang bertujuan

*Corresponding author: mayesti_k@ak-tekstilsolo.ac.id

Copyright ©2023 THE AUTHOR(S). This article is distributed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license. Jurnal Teknosains is published by the Graduate School of Universitas Gadjah Mada.

MAYESTI KURNIANINGTIAS DAN ARDIYANTO ❖ PENGARUH FAKTOR PENGALI ASIMETRI TERHADAP KAPASITAS BEBAN ANGKAT PEREMPUAN INDONESIA

untuk meminimalkan risiko tersebut. Perumusan RWL dibuat dengan responden orang Eropa dan Amerika, sehingga penelitian ini dilakukan untuk melihat kesesuaian rumusan RWL tersebut terhadap orang Asia, khususnya Indonesia. Penelitian ini melibatkan 30 mahasiswi. Variabel independen dalam penelitian ini adalah faktor pengali asimetri pada rumusan RWL. Penelitian dilakukan dengan cara responden mengangkat beban pada sudut 0°, 30°, 60°, dan 90° dengan frekuensi 1 kali per menit selama 30 menit. Faktor pengali lain seperti pengali vertikal, pengali perpindahan, dan pengali coupling dibuat bernilai 1. Berat beban yang diangkat oleh responden disesuaikan dengan beban maksimal yang mampu diangkat dengan nyaman oleh masing-masing dari responden yang biasa disebut dengan *maximum acceptable weight of lift* (MAWL). Data denyut jantung yang digunakan untuk analisis adalah denyut jantung pada lima menit terakhir. Selain itu, responden juga mengisi skala Borg RPE. Hasil dari penelitian ini adalah denyut jantung mengalami peningkatan dari denyut jantung istirahat rata-rata sebesar 83,12 denyut/menit menjadi 90,6 denyut/menit. Hasil uji statistik menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara sudut pengangkatan asimetri terhadap denyut jantung, *energy expenditure*, dan skala Borg RPE ($\alpha = 0,05$). Energi yang dikeluarkan oleh responden (*energy expenditure*) masih berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh NIOSH. Hasil penelitian ini adalah rumusan $AM = 1 - (0,0024A)$ pada kriteria fisiologis dan rumusan $AM = 1 - (0,0029A)$ pada kriteria psikologis.

Keywords: Faktor Asimetri; Fisiologi; NIOSH; Psikofisik; Recommended Weight Limit.

PENGANTAR

Penanganan material secara manual (*manual material handling*) merupakan salah satu penyebab dari munculnya nyeri punggung bagian bawah dan cedera otot rangka pada pekerja. Nyeri punggung bagian bawah dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu faktor usia, jenis kelamin, antropometri, aktivitas fisik, dan kebiasaan merokok (Ghaffari, 2007). Menurut Nachemson (2000) dalam Ghaffari (2007), salah satu penyebab ketidakhadiran pekerja dan adanya pensiun dini di beberapa negara Barat salah satunya adalah karena nyeri punggung bawah yang dialami pekerja. Durasi pembebanan yang terlalu lama dapat membuat otot berkontraksi dengan berlebihan sehingga

menyebabkan cedera otot rangka pada pekerja (Grandjean, 1993). Pemindahan material secara manual menjadi penyebab sebanyak 63-70% pada nyeri punggung bawah yang dirasakan oleh pekerja (Snook dkk., 1978; Bigos dkk., 1986; serta Murphy dan Courtney, 2000).

National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) merumuskan persamaan pembebanan berupa NIOSH *Lifting Equation* yang dari persamaan tersebut didapatkan berat beban aman yang direkomendasikan bagi pekerja dalam durasi waktu tertentu. Rekomendasi berat beban maksimal yang diperbolehkan untuk diangkat oleh pekerja tersebut dikenal dengan sebutan *Recommended Weight Limit* (RWL). Persamaan pembebanan ini dibuat untuk pekerja dengan harapan dapat meminimalkan cedera otot rangka ataupun nyeri punggung bawah dan selanjutnya didapatkan besaran angka beban yang direkomendasikan untuk dapat diangkat dengan aman oleh pekerja dalam durasi kerja hingga 8 jam (Waters dkk., 1994). Penyebab nyeri punggung bawah itu sendiri terjadi karena faktor resiko fisik. Yang termasuk resiko fisik adalah aktivitas pemindahan material secara manual (*manual material handling*), aktivitas fisik dengan membungkuk dan memutar (*bending and twisting*), vibrasi pada seluruh tubuh (*whole body vibration*), dan posisi duduk saat bekerja (*sitting position*). Salah satu variabel dalam perhitungan RWL adalah sudut asimetri yang berkaitan dengan aktivitas pekerja memutar (*twisting*) tubuh untuk menyelesaikan pekerjaannya. Namun ada juga hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa faktor asimetri pada persamaan RWL tidak selalu berbanding lurus terhadap resiko penyakit yang ditimbulkan (Nussbaum dkk., 1995).

Dalam merumuskan persamaan tersebut, ada tiga kriteria yang menjadi pertimbangan NIOSH. Kriteria yang pertama dilihat dari sisi fisiologi dengan menggunakan parameter kebutuhan energi (*energy expenditure*). Kriteria kedua adalah dari sisi psikofisik dengan menggunakan skala Borg RPE. Penggunaan pengukuran secara psikofisik dan fisiologi secara bersamaan akan mampu menganalisis faktor risiko pada manusia dengan hasil yang lebih akurat (Borg, 1982).

Ukuran antropometri manusia dengan latar belakang ras (suku bangsa) dapat mempengaruhi hasil penelitian. Menurut Wigjosoebroto (2000), sumber keragaman pada satu populasi dengan populasi lain disebabkan oleh beberapa hal yaitu, umur, jenis kelamin, ras ataupun suku bangsa, kondisi sosio ekonomi, dan posisi tubuh. Ukuran antropometri tubuh berpengaruh secara signifikan terhadap kemampuan seseorang saat mengangkat beban (Gross dkk., 2000). Persamaan RWL terdiri dari enam variabel, yaitu jarak horisontal (H), jarak vertikal (V), jarak perpindahan beban (D), sudut asimetri (A), frekuensi (F), dan pegangan beban (C). Variabel asimetri pada persamaan RWL menjadi fokus dalam penelitian ini. Pengangkatan beban secara asimetri pada pekerja sangat tidak disarankan karena berlawanan dengan prinsip ergonomi dimana posisi tubuh pekerja akan menjadi sangat berbahaya (Dempsey & Fatallah, 1999). Namun pada kenyataannya, masih banyak pekerja yang melakukan pengangkatan beban secara asimetri di dalam industri.

Oleh karena itu, peneliti merasa perlu untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor pengali asimetri dalam perumusan RWL tersebut terhadap orang Indonesia, khususnya perempuan Indonesia. Mahasiswa Indonesia dipilih sebagai responden pada penelitian ini karena umur mahasiswi Indonesia dapat merepresentasikan rentang usia produktif pekerja di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2007). Selain itu, pemilihan jenis kelamin perempuan dikarenakan adanya faktor perbedaan kemampuan antara laki-laki dan perempuan, dimana jika beban dengan berat yang sama dapat diangkat dengan nyaman oleh perempuan, maka beban tersebut akan semakin lebih nyaman dan aman jika diangkat oleh laki-laki.

METODE

Responden dari penelitian ini adalah 30 mahasiswa yang berjenis kelamin perempuan. Pemilihan responden penelitian perempuan bertujuan untuk menentukan batas aman pengangkatan yang mampu dilakukan oleh pekerja perempuan dan laki-laki, mengingat kemampuan fisik laki-laki yang secara umum

lebih unggul dibandingkan perempuan. Rentang usia responden di dalam penelitian ini adalah 18-22 tahun, dan data demografi dapat dilihat pada Tabel 1. Untuk diikutsertakan dalam penelitian ini, responden harus memiliki *body mass index* (BMI) normal (18,5-25,0) menurut Departemen Kesehatan RI (2003). Metode pengambilan sampel di dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan salah satu metode *non-probabilistic sampling* dengan teknik *sampling* berupa *convenience sampling*.

Tabel 1.
Karakteristik Responden

	Mean	SD	Range
Umur (tahun)	20,6	1,0	18-22
Berat badan (kg)	51,5	6,0	42,0-70,5
Tinggi badan (cm)	156,5	7,1	144-171
BMI	21,0	2,1	18,5-24,8

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Variabel bebas pada penelitian ini adalah sudut putaran tubuh (*twisting angle*) dimana responden mengangkat beban dengan sudut 0°, 30°, 60°, dan 90°, sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah denyut jantung, nilai *rating of perceived exertion* (RPE), dan konsumsi energi yang terlihat dari parameter *energy expenditure*. Beberapa faktor aktivitas pengangkatan selain faktor asimetri, dikondisikan dalam kondisi ideal sesuai dengan NIOSH *Lifting Equation* (Wu, 2003). Variabel kontrol tersebut adalah tinggi horisontal pengangkatan, tinggi vertikal pengangkatan, durasi, frekuensi pengangkatan, dan faktor pegangan. Jarak horisontal pengangkatan beban sebagai variabel kontrol ditentukan sejauh 50 cm. Jarak ini masih berada pada dimensi jarak bahu dengan genggaman tangan orang Indonesia menurut Chuan dkk. (2010) dengan harapan responden masih dapat melakukan pengangkatan secara normal tanpa membungkuk.

Protokol penelitian dimulai dengan meminta responden untuk menentukan *maximum acceptable weight of lift* (MAWL) selama 25 menit pertama. Responden diminta untuk mengangkat kotak beban tersebut dengan menambuh dan mengurangi beban sampai responden

MAYESTI KURNIANINGTIAS DAN ARDIYANTO ❖ PENGARUH FAKTOR PENGALI ASIMETRI TERHADAP KAPASITAS BEBAN ANGKAT PEREMPUAN INDONESIA

merasa cukup kuat (tidak terlalu ringan dan tidak terlalu berat). Berat itulah yang dijadikan MAWL dari masing-masing responden. Selanjutnya, responden diminta mengangkat beban sebesar MAWL yang telah didapatkan sebelumnya selama 30 menit dengan frekuensi pengangkatan tiap 1 menit sekali. Selama melakukan aktivitas pengangkatan, denyut jantung responden diukur dengan alat pengukur denyut jantung (Polar RS400). Denyut jantung yang dipakai untuk analisis lebih lanjut adalah denyut jantung pada lima menit terakhir dari setiap aktivitas dimana denyut jantung tersebut mempertimbangkan kapasitas maksimalnya. Denyut jantung *heart rate reverse* (HRR) didapatkan dengan melakukan perhitungan seperti pada persamaan (1). Denyut jantung maksimal dari persamaan (1) didapatkan dari (200-umur) untuk perempuan dan (220-umur) untuk laki-laki.

Selain itu, dilakukan pengukuran dengan skala borg RPE (skala 6-20) pada setiap akhir sesi pengangkatan oleh responden untuk melihat persepsi responden terhadap beban yang telah diangkat sebelumnya.

$$HRR = 100 \times \frac{HR \text{ aktivitas} - HR \text{ istirahat}}{\text{maksimal HR aktifitas} - HR \text{ istirahat}} \dots (1)$$

Pada saat melakukan aktivitas pengangkatan, responden diminta untuk meletakkan beban di mesin angkat-turun (*lifting-lowering machine*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1a. Penggunaan perangkat ini memungkinkan adanya proses pengembalian kotak beban dari ketinggian 100 cm ke ketinggian 75 cm (ketinggian awal) secara otomatis. Kotak beban yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1b. Kotak ini memiliki desain *false-bottom* dengan pegangan di sebelah kanan dan kiri. Fungsi dari *false-bottom* yang ada adalah agar responden tidak mengetahui beban awal dan beban total yang diangkat. Hal ini dimaksudkan agar responden tidak merasakan kelelahan semu jika ia sudah mengetahui besarnya beban yang diangkat (Wu, 2000). Lintasan kotak beban (Gambar 2) digunakan sebagai acuan penentuan faktor

asimetri yang merupakan variabel independen dalam penelitian ini. Ilustrasi dari proses eksperimen pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Data hasil penelitian ini terfokus pada dua hal, yaitu data fisiologis dan data kuesioner RPE yang telah diisi oleh masing-masing responden pada setiap akhir sesi penelitian. Yang termasuk ke dalam data fisiologis adalah data denyut jantung dan data konsumsi energi (*energy expenditure*) dari responden selama melakukan pengangkatan pada masing-masing sudut asimetri. Besarnya *energy expenditure* yang didapat dari penelitian ini berasal dari HRR, yaitu denyut jantung yang mempertimbangkan kapasitas maksimal dari denyut jantung itu sendiri. Perhitungan besarnya *energy expenditure* dihitung dari persamaan (2).

$$EE = 0,744 + 0,0216 (HRR) + 0,00699 BB + 0,00102 (HRR) (BB) \dots \dots \dots (2)$$



(a) (b)
Gambar 1.
Mesin *lifting-lowering* (a) dan kotak beban (b)
Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a) (b)
Gambar 2.
Lintasan sebagai acuan faktor asimetri
Sumber : Dokumentasi Peneliti



(a) (b)

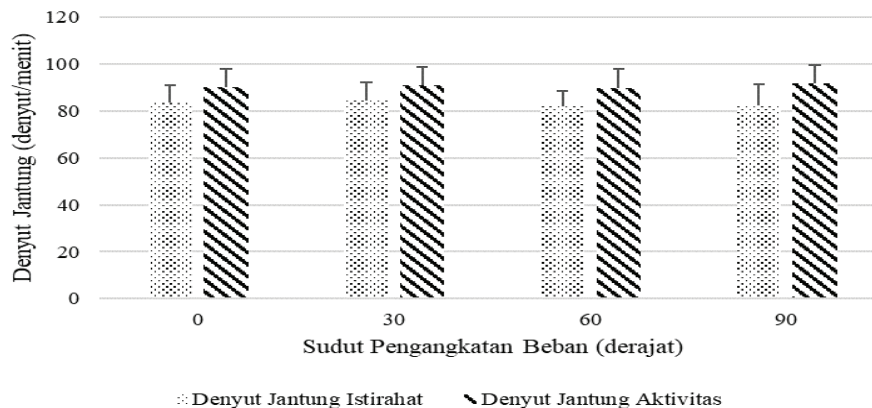
Gambar 3.

Proses pengambilan data
Sumber : Dokumentasi Peneliti

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada tren tertentu pada rata-rata denyut jantung aktivitas setelah dilakukan pengang-

katan beban pada perbedaan sudut pengangkatan seperti terlihat pada Gambar 4. Pada sudut 0°, rata-rata denyut jantung istirahat sebesar 83,4 denyut/menit dan rata-rata denyut jantung aktivitas sebesar 90 denyut/menit. Pada sudut 30°, terdapat kenaikan rata-rata denyut jantung, yaitu dari 84,5 denyut/menit menjadi 90,9 denyut/menit. Untuk sudut 60°, rata-rata denyut jantung istirahat sebesar 82,1 denyut/menit dan meningkat menjadi 89,7 denyut/menit pada rata-rata denyut jantung aktivitas. Sedangkan pada sudut 90°, rata-rata denyut jantung meningkat dari 82,5 denyut/menit menjadi 91,7 denyut/menit. Pada pengujian rata-rata denyut jantung aktivitas dengan uji ANOVA menunjukkan bahwa rata-rata denyut jantung terhadap sudut pengangkatan beban tidak berbeda secara signifikan dengan nilai *p-value* sebesar 0,744 dengan taraf signifikansi (α) sebesar 0,05.



Gambar 4.

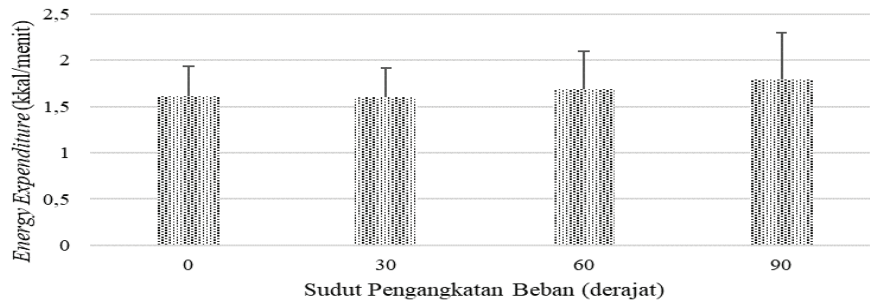
Rata-rata denyut jantung pada masing-masing sudut pengangkatan beban
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Data *mean* dan standar deviasi dari *energy expenditure* ini dapat dilihat pada Gambar 5. Rata-rata *energy expenditure* pada sudut 0° adalah sebesar 1,6 kkal/menit, pada sudut 30° sebesar 1,6

kkal/menit, pada sudut 60° sebesar 1,7 kkal/menit, dan pada sudut 90° sebesar 1,8 kkal/menit. Dari hasil uji ANOVA dapat disimpulkan *energy expenditure* tidak berbeda secara signifikan pada setiap sudut pengangkatan. NIOSH menetapkan nilai ambang batas untuk jumlah konsumsi energi (*energy expenditure*) dari pekerja yang melakukan aktivitas pengangkatan beban dengan durasi waktu kurang dari 1 jam

pada ketinggian pengangkatan sebesar ≤ 75 cm di atas lantai adalah sebesar 4,7 kkal/menit (Waters dkk., 1993). Nilai *energy expenditure* yang dikeluarkan oleh semua responden pada penelitian ini kurang dari 4,7 kkal/menit seperti terlihat pada Gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas pengangkatan pada penelitian ini tidak melebihi batas aman yang telah ditetapkan oleh NIOSH.

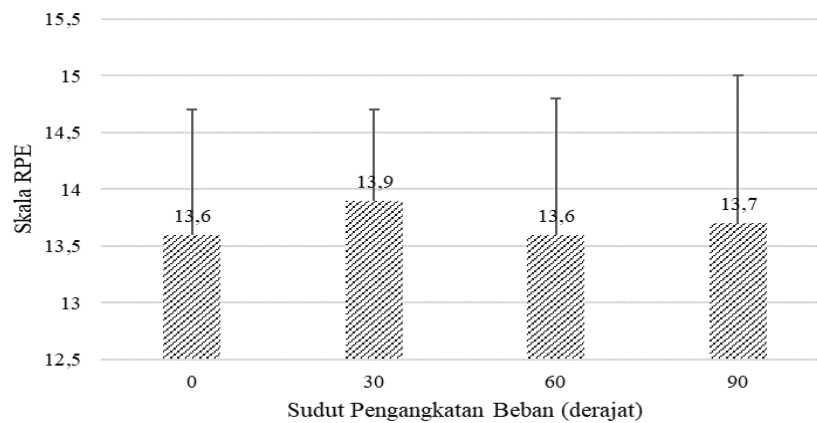
MAYESTI KURNIANINGTIAS DAN ARDIYANTO ❖ PENGARUH FAKTOR PENGALI ASIMETRI TERHADAP KAPASITAS BEBAN ANGKAT PEREMPUAN INDONESIA



Gambar 5.
Energy expenditure pada setiap sudut pengangkatan
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Pada tahap akhir aktivitas pengangkatan, responden diminta untuk mengisi skala Borg RPE (*rating of perceived exertion*). Hasil skala Borg RPE dapat dilihat pada Gambar 6. Rata-rata nilai RPE pada sudut 0° adalah sebesar 13,6. Pada sudut 30°, nilai rata-rata RPE adalah sebesar 13,9. Pada sudut pengangkatan 60° dan

pada sudut 90°, nilai rata-rata RPE adalah sebesar 13,6 dan 13,7. Data hasil skala Borg RPE tersebut selanjutnya diuji dengan uji ANOVA untuk mencari tahu signifikansinya terhadap sudut pengangkatan. Hasil dari pengujian ANOVA menunjukkan bahwa hasil skala borg RPE tidak berbeda secara signifikan pada masing-masing sudut pengangkatan.



Gambar 6.
Hasil Skala Borg RPE
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Pada penelitian ini, denyut jantung yang merupakan kriteria fisiologi tidak berbeda secara signifikan pada setiap sudut pengangkatan beban. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mital dan Fard (1986), Wu (2000), dan Wu (2003). Menurut Garg dan Banaag (1988), denyut jantung berpengaruh secara signifikan terhadap sudut pengangkatan beban. Berdasarkan penelitian

sebelumnya oleh Kumar (1984), serta Mital dan Fard (1986) dalam Wu (2003) bahwa pengangkatan secara asimetri memberikan gaya yang besar pada *intra-abdominal*, meningkatkan aktivitas *electromyographic*, dan kemampuan pada tulang belakang. Oleh karena itu, responden berusaha menyesuaikan dengan cara mengurangi berat beban yang diangkatnya sehingga menyebabkan denyut jantung tidak berpengaruh

ruh secara signifikan antar sudut pengangkatan beban. Hasil perbandingan denyut jantung tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa hasil penelitian sudut pengangkatan beban terhadap denyut jantung responden antara penelitian ini dengan penelitian Garg dan Banaag (1988) berbeda secara signifikan baik pada nilai $\alpha = 0,05$ maupun nilai $\alpha = 0,01$ karena adanya perbedaan jumlah frekuensi yang dipakai antara penelitian ini dengan penelitian Garg dan Banaag (1988). Frekuensi dari penelitian Garg dan Banaag (1988) yaitu sebesar 3 kali pengangkatan per menit, sehingga denyut jantung akan lebih terlihat perbedaannya antar sudut pengangkatan beban. Selain itu, jarak vertikal yang dipakai pada penelitian Garg dan Banaag (1988) lebih tinggi dari penelitian ini yaitu sebesar 0,81 – 1,52 m dan responden merupakan mahasiswa laki-laki Kolombia. Hal tersebut membuat denyut jan-

tung hasil penelitian Garg dan Banaag (1988) lebih tinggi daripada hasil penelitian ini dan hasil penelitiannya menyatakan bahwa sudut pengangkatan beban berpengaruh secara signifikan terhadap denyut jantung.

Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian Wu (2000) menunjukkan bahwa pada setiap sudut pengangkatan beban terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil penelitian Wu (2000) dengan hasil penelitian ini berdasarkan nilai $\alpha = 0,05$ maupun nilai $\alpha = 0,01$ seperti terlihat pada Tabel 2. Perbedaan yang signifikan ini disebabkan oleh responden pada penelitian Wu (2000) adalah mahasiswa laki-laki dan prosedur pengangkatan beban oleh responden dengan cara mengangkat kotak beban dari lantai ke ketinggian 76 cm di atas lantai. Oleh sebab itu, hasil denyut jantung dari penelitian Wu (2000) lebih tinggi dan berbeda secara signifikan terhadap penelitian ini.

Tabel 2.
Perbandingan Denyut Jantung

	Penelitian ini	Garg dan Banaag (1988)	Wu (2000)	Wu (2003)	Mital dan Fard (1986) ¹
0°	90,0(7,7)	117,7(5,4) ^b	108,4(10,5) ^b	102,4(17,7) ^a	103,1(11,7)
30°	90,9(7,6)	114,6(5,8) ^b	105,8(10,9) ^b	101,3(13,6) ^a	
60°	89,7(8,0)	116,6(3,8) ^b	102,0(11,2) ^b	100,7(15,5) ^a	
90°	91,7(7,7)	118,0(6,3) ^b	103,4(13,6) ^b	102,0(19,0)	

Sumber : Hasil Pengolahan Data

¹ Simetri dan asimetri (denyut jantung : 103,6(12,32) untuk asimetri)

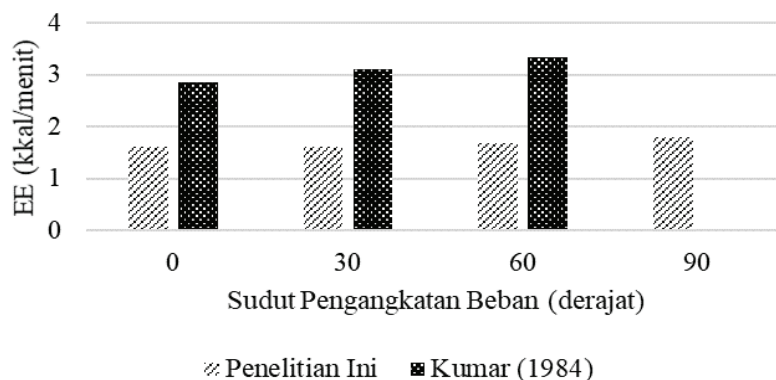
^a Signifikan untuk $\alpha = 0,05$

^b Signifikan untuk $\alpha = 0,01$

Hasil penelitian ini mengenai sudut pengangkatan beban terhadap denyut jantung dengan penelitian yang dilakukan oleh Wu (2003) berbeda secara signifikan pada nilai $\alpha = 0,05$ pada sudut 0°, 30°, dan 60° seperti terlihat pada Tabel 2. Pada nilai $\alpha = 0,05$ untuk sudut 90° dan nilai $\alpha = 0,01$ pada keempat sudut pengangkatan tidak berbeda secara signifikan antara penelitian ini dengan penelitian Wu (2003). Hasil tersebut disebabkan karena pada penelitian Wu (2003) dan penelitian ini sama-sama memiliki karakteristik responden yang sama, yaitu mahasiswa wanita. Perbedaan hasil yang signifikan antara penelitian ini dengan penelitian Wu (2003) disebabkan oleh responden melakukan pengangkatan beban dari lantai ke ketinggian

68 cm di atas lantai. Menurut Garg dan Banaag (1988) serta Mital dan Fard (1986) bahwa pengangkatan dari lantai ke ketinggian tertentu lebih besar dampaknya kepada denyut jantung daripada pengangkatan dari ketinggian tertentu ke ketinggian lainnya. Frekuensi juga berpengaruh secara signifikan terhadap denyut jantung menurut Garg dan Banaag (1988), Mital dan Fard (1986), Wu (2000), serta Wu (2003). Semakin tinggi frekuensi pengangkatan beban, semakin tinggi pula denyut jantung responden. Menurut Kumar (1984) bahwa secara fisiologi, denyut jantung laki-laki lebih tinggi jika dibandingkan denyut jantung wanita pada aktivitas pengangkatan yang sama.

MAYESTI KURNIANINGTIAS DAN ARDIYANTO ❖ PENGARUH FAKTOR PENGALI ASIMETRI TERHADAP KAPASITAS BEBAN ANGKAT PEREMPUAN INDONESIA



Gambar 7.
Perbandingan *Energy Expenditure*
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Perbandingan *energy expenditure* dari hasil penelitian ini dengan penelitian Kumar (1984) dapat dilihat pada Gambar 7. Responden pada penelitian Kumar (1984) melakukan aktivitas pengangkatan dengan cara mengangkat beban dari lantai (membungkuk) dan dengan frekuensi 6 angkatan per menit selama 4 menit. Responden di dalam penelitian kumar adalah laki-laki dan perempuan. Hal ini menyebabkan energi yang dikeluarkan lebih besar daripada penelitian ini. Namun hasil *energy expenditure* dari responden penelitian ini dan penelitian Kumar (1984) sama-sama masih berada di bawah batas aman yang telah ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 4,7 kkal/menit. *Energy expenditure* baik di dalam penelitian ini maupun di dalam penelitian Kumar (1984) sama-sama tidak memberikan hasil yang signifikan terhadap sudut pengangkatan beban.

Pada setiap akhir aktivitas pengangkatan beban oleh responden, skala Borg RPE wajib diisi oleh setiap responden. Dari hasil penelitian ini disebutkan bahwa antara nilai skala Borg RPE yang dihasilkan pada setiap aktivitas pengangkatan tidak berbeda secara signifikan terhadap sudut pengangkatan beban oleh responden. Hal ini bertolak belakang dengan hasil penelitian Garg dan Banaag (1988) yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara sudut pengangkatan beban dengan hasil skala Borg RPE. Pada penelitian Kumar (1988), responden secara subyektif mengatakan bahwa pengangkatan beban secara

asimetris terasa lebih melelahkan jika dibandingkan dengan pengangkatan beban secara simetris pada beban tetap sebesar 10 kg. Hasil penelitian serupa juga didapatkan dari penelitian Mital dan Fard (1986) dimana responden mengatakan secara verbal bahwa pengangkatan beban secara asimetris terasa lebih sulit untuk dilakukan. Selain itu, menurut Snook (1985) dalam Garg dan Banaag (1988) bahwa kriteria psikofisik adalah metode pengukuran secara subyektif dimana metode pengukuran ini insensitif dengan gerakan *bending* dan *twisting*.

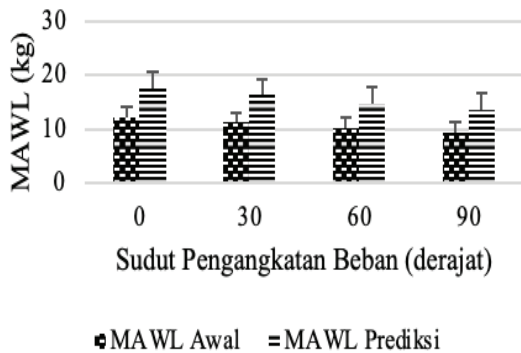
Perumusan nilai AM usulan diformulasikan dalam beberapa langkah analisis. Dari Gambar 5. diketahui bahwa aktivitas pengangkatan dengan berat beban sesuai dengan MAWL masing-masing masih tergolong aman karena memiliki nilai *energy expenditure* di bawah 4,7 kkal/menit dan dapat diartikan bahwa sebenarnya responden dapat mengangkat beban lebih dari yang mereka pilih. Untuk itu, dilakukan validasi MAWL berdasarkan kriteria skala Borg RPE (psikofisik) dan fisiologis untuk menentukan beban MAWL pada penelitian ini.

Nilai MAWL divalidasi menggunakan skala Borg RPE untuk mencari angka MAWL prediksi. Dengan RPE skala 6-20, didapatkan bahwa skala 13 pada RPE merupakan skala yang tepat untuk menggambarkan nilai MAWL. Hal ini terjadi karena MAWL adalah berat maksimal yang mampu diangkat oleh seseorang tanpa orang tersebut merasa lelah maupun sakit pada tubuhnya, dimana skala RPE

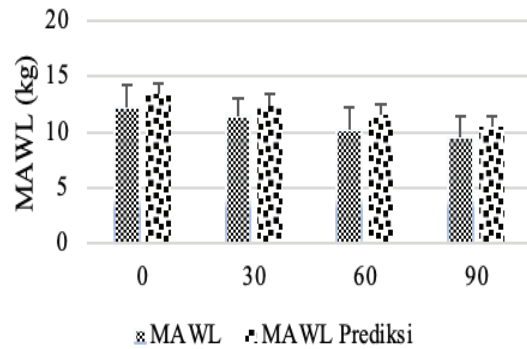
sebesar 13 menunjukkan interpretasi beban sedang. Saat skala RPE menunjukkan angka 13 maka denyut nadi yang diperbolehkan saat seseorang mengangkat beban dengan skala 13 adalah 130 denyut/menit. Penentuan nilai prediksi MAWL didapat dengan melakukan perhitungan seperti terlihat pada persamaan (3).

Setelah melakukan validasi, perbandingan nilai MAWL awal dan nilai MAWL prediksi kriteria psikofisik untuk setiap sudut pengangkatan dapat dilihat pada Gambar 8.

$$MAWL_{prediksi} = \frac{130}{denyut\ jantung\ kerja} \times MAWL \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 8. MAWL prediksi kriteria psikofisik
Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 9. MAWL prediksi kriteria fisiologis
Sumber : Hasil Pengolahan Data

$$MAWL = -8,75 + 0,186U + 0,0911BB + 0,0757TB - 0,0312S + 0,372 EE \dots(4)$$

Untuk melakukan validasi MAWL pada kriteris fisiologis, akan dipakai nilai *energy expenditure* batas maksimal pada durasi pengangkatan kurang dari 1 jam dan dengan ketinggian vertikal ≤ 75 cm, yaitu sebesar 4,7 kkal/menit. Untuk mencari nilai validasi MAWL, maka dilakukan uji regresi untuk mencari tahu hubungan antara variabel independen dengan variabel dependennya. Dalam uji regresi ini, variabel independen yang dipakai adalah variabel MAWL, sedangkan untuk variabel dependennya adalah usia, tinggi badan, berat badan, sudut pengangkatan, dan *energy expenditure*. Hasil uji regresi dapat dilihat pada Persamaan (4).

Setelah mendapatkan persamaan regresi (4), maka selanjutnya adalah mencari validasi MAWL dari kriteria fisiologi. Nilai variabel seperti umur, tinggi badan, berat badan, dan *energy expenditure* yang digunakan di dalam persamaan ini adalah nilai yang dimiliki oleh

masing-masing responden. Hasil validasi nilai MAWL dari kriteria fisiologi dapat dilihat pada Gambar 9. Menurut Waters dkk. (1993), penentuan nilai MAWL didasarkan pada beban yang mampu diangkat oleh 75% wanita. Karena hal tersebut, maka nilai MAWL yang diambil adalah nilai MAWL pada persentil ke-25 pada setiap kriterianya, yaitu pada kriteria psikofisik seperti terlihat pada Tabel 3 dan kriteria fisiologi yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 3. MAWL berdasarkan kriteria fisiologi

	Sudut Pengangkatan Beban (derajat)			
	0	30	60	90
Persentil ke-25 (kg)	12,8	11,8	10,9	10,0
Persentil ke-50 (kg)	13,4	12,5	11,5	10,6
Persentil ke-75 (kg)	13,9	12,9	12,0	11,1

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.
MAWL berdasarkan kriteria psikofisik

	Sudut Pengangkatan Beban (derajat)			
	0	30	60	90
Persentil ke-25 (kg)	15,7	14,2	12,8	11,8
Persentil ke-50 (kg)	17,3	16,1	14,3	12,7
Persentil ke-75 (kg)	19,2	17,2	15,4	15,2

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Setelah didapatkan nilai MAWL prediksi pada kriteria fisiologi pada penelitian ini sebesar 12,8 kg; 11,8 kg; 10,9 kg; dan 10,0 kg pada sudut 0°, 30°, 60°, dan 90° seperti terlihat pada Tabel 3, selanjutnya adalah menentukan rumusan AM usulan. Untuk menentukan faktor pengurang di dalam rumusan AM, dilakukan perbandingan nilai MAWL pada setiap sudut dengan nilai MAWL pada sudut 0°. Cara melakukan perhitungannya adalah dengan menggunakan persamaan (5). Hasil dari perhitungan tersebut didapatkan nilai faktor pengurang pada setiap sudut yang dapat dilihat pada Tabel 5.

$$\frac{MAWL\ sudut\ 0 - MAWL\ sudut\ x}{MAWL\ sudut\ 0} \dots\dots\dots (5)$$

Tabel 5.
Faktor Pengurang tiap Sudut Kriteria Fisiologi

Sudut (derajat)	MAWL (kg)	Faktor Pengurang
0	12,8	-
30	11,8	0,0781
60	10,9	0,1484
90	10,0	0,2188

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Setelah mendapatkan nilai faktor pengurang pada setiap sudut tersebut, selanjutnya adalah mencari nilai pengurang untuk setiap derajat sudut. Untuk mendapatkan faktor pengurang pada setiap sudut tersebut, dilakukan uji regresi sederhana antara sudut pengangkatan beban dengan faktor

pengurang. Maka, persamaan AM usulan dari penelitian ini pada faktor fisiologi dapat dilihat pada Persamaan (6).

$$AM = 1 - (0,0024A) \dots\dots\dots (6)$$

Rumusan nilai AM usulan tersebut akan bernilai = 1 jika sudut A = 0° dan akan bernilai = 0 untuk sudut pengangkatan lebih dari 135°.

Nilai MAWL prediksi pada kriteria psikofisik dapat dilihat pada Tabel 4 yaitu sebesar 15,7 kg; 14,2 kg; 12,8 kg; dan 11,8 kg pada sudut 0°, 30°, 60°, dan 90°. Untuk menentukan rumusan AM usulan pada kriteria psikofisik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (3). Hasil dari perhitungan tersebut didapatkan nilai faktor pengurang pada setiap sudut yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6.
Faktor Pengurang tiap Sudut Kriteria RPE

Sudut (derajat)	MAWL (kg)	Faktor Pengurang
0	15,7	-
30	14,2	0,0955
60	12,8	0,1847
90	11,8	0,2484

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Setelah mendapatkan nilai faktor pengurang pada setiap sudut tersebut, dilakukan uji regresi sederhana antara sudut pengangkatan beban dengan faktor pengurang. Maka persamaan AM usulan dari kriteria psikofisik pada penelitian ini dapat dilihat pada Persamaan (7).

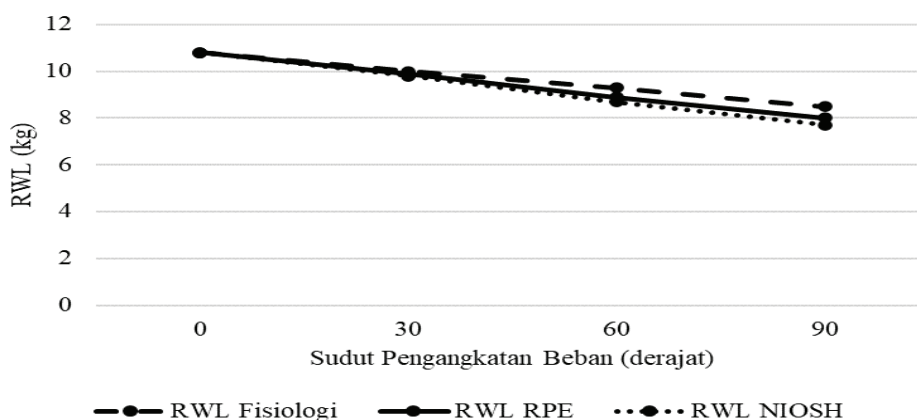
$$AM = 1 - (0,0029A) \dots\dots\dots (7)$$

Rumusan nilai AM usulan tersebut akan bernilai = 1 jika sudut A = 0° dan akan bernilai = 0 untuk sudut pengangkatan lebih dari 135°.

NIOSH menggunakan rumus pengali asimetri (AM), yaitu 1-(0.0032A). Nilai RWL dari NIOSH tersebut selanjutnya dibandingkan dengan RWL yang didapat dari penelitian ini. RWL penelitian ini menggunakan rumus AM usulan AM = 1 - (0.0024A). Nilai pengali lain seperti LC, HM, VM, DM, FM, dan CM dise-

suaikan dengan desain penelitian ini. Nilai LC sebesar 23 kg sesuai dengan LC dari NIOSH, selanjutnya nilai VM, DM, dan CM bernilai 1,

sedangkan nilai FM adalah sebesar 0,94, serta nilai HM sebesar 0,5. Perbandingan hasil RWL NIOSH dengan RWL penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 10.
Perbandingan RWL Penelitian Ini dengan RWL NIOSH
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Dari Gambar 10. terlihat bahwa RWL hasil dari penelitian ini sedikit lebih besar pada sudut 30°, 60°, dan 90° jika dibandingkan dengan RWL NIOSH. Pada sudut 0°, nilai RWL kedua penelitian sebesar 23 kg. Pada sudut 30°, nilai RWL fisiologi sebesar 10 kg dan nilai RWL psikofisik sebesar 9,9 sedangkan nilai RWL NIOSH sebesar 9,8. Untuk sudut 60°, terjadi perbedaan hasil yaitu pada RWL fisiologi sebesar 9,3 kg dan RWL psikofisik sebesar 8,9 kg serta pada penelitian NIOSH sebesar 8,7 kg. Untuk sudut pengangkatan beban 90°, nilai RWL fisiologi sebesar 8,5 kg, RWL psikofisik sebesar 8,0 kg dan RWL NIOSH sebesar 7,7 kg. Perbedaan hasil pada RWL ini disebabkan oleh perumusan faktor pengali di dalam penelitian ini yang hanya dibatasi pada kriteria fisiologi dan pada kriteria RPE (psikofisik) saja, sehingga menghasilkan nilai RWL yang sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai RWL dari NIOSH.

Hasil penelitian Snook (1985) mengatakan bahwa perintah “jumlah maksimal yang bisa diangkat dengan nyaman” untuk nilai *maximum acceptable weight of lift* (MAWL) dapat diinterpretasikan secara luas dan berbeda dari individu satu dengan lainnya sehingga penggunaan kriteria psikofisik di dalam menentu-

kan MAW perlu penelitian lebih lanjut. Selain itu, responden di dalam penelitian ini adalah mahasiswi Indonesia, sehingga kemampuan dari mahasiswi tersebut kemungkinan kurang dari kemampuan pekerja yang terbiasa melakukan pengangkatan beban secara manual.

SIMPULAN

Hasil dari penelitian ini adalah tidak adanya perbedaan yang signifikan antara sudut pengangkatan asimetri beban terhadap denyut jantung, *energy expenditure*, dan skala Borg RPE ($\alpha = 0,05$). Nilai prediksi MAWL berdasarkan nilai Skala Borg RPE pada sudut 0°, 30°, 60°, dan 90° lebih tinggi daripada MAWL yang dipilih oleh responden karena adanya estimasi beban yang terlalu rendah dari responden. Dengan analisis regresi dari hubungan MAWL terhadap variabel dependen lain seperti usia, tinggi badan, berat badan, sudut pengangkatan, dan *energy expenditure* didapatkan nilai MAWL prediksi berdasarkan kriteria fisiologi. Nilai prediksi MAWL dari kriteria fisiologi meningkat pada keempat sudut pengangkatan dibandingkan MAWL hasil pilihan responden. Nilai MAWL prediksi berdasarkan hasil skala Borg RPE dan nilai MAWL prediksi kriteria fisiologi

MAYESTI KURNIANINGTIAS DAN ARDIYANTO ❖ PENGARUH FAKTOR PENGALI ASIMETRI TERHADAP KAPASITAS BEBAN ANGKAT PEREMPUAN INDONESIA

pada persentil ke-25 dipilih untuk penyusunan faktor pengali asimetri. Dari hasil penelitian ini didapatkan rumusan AM pada RWL adalah $AM = 1 - (0,0024A)$ pada kriteria fisiologis dan rumusan $AM = 1 - (0,0029A)$ pada kriteria RPE.

DAFTAR PUSTAKA

- Bigos, S.J., Spengler, D.M., Martin, N.A., Zeh, J., Fisher, L., dan Nachemson, A., 1986, Back Injuries in Industry : a Restropective Study, III, *Employee Related Factors, Spine*, 11, pg. 252-256.
- Borg, G., 1982, Psychophysical Bases of Perceived Exertion, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol 14, No 5, pg. 377-381.
- Chuan, T.K., Hartono, M., dan Kumar N., 2010, Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations, *International Journal of Industrial Ergonomics* 40, pg. 757-766.
- Dempsey, P.G., dan Fathallah, F.A., 1999, Application issues and theoretical concerns regarding the 1991 NIOSH equation asymmetry multiplier, *International Journal of Industrial Ergonomics* 23, pg. 181-191.
- Garg, A. dan Banaag, J., 1988, Maximum Acceptable Weights, Heart Rates and RPEs for One Hour's Repetitive Asymmetric Lifting, *Ergonomics*, Vol. 31, No. 1, pg. 77-96.
- Ghaffari, M., 2007, Low Back Pain Among Industrial Workers, *Department of Public Health Karolinska Institutet*, SE-171 77, Stockholm, Sweden
- Grandjean, E., 1993, *Fitting the Task to the Man*, Taylor & Francis Inc, London.
- Gross, M.T., Dailey, E.S., Dalton, M.D., Lee, A.K., McKiernan, T.L., Vernon, W.L., dan Walden, A.C., 2000, Relationship between Lifting Capacity Anthropometric Measures, *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 30(5) : 237-247, 258-262
- Kumar, S., 1984, The Physiological Cost of Three Different Methods of Lifting in Sagittal and Lateral Planes, *Ergonomics*, No 4, pg. 425-433.
- Mital, A., dan Fard, H.F., 1986, Psychophysical and Physiological Response to Lifting Symmetrical and Asymmetrical Loads Symmetrically and Asymmetrically, *Ergonomics*, No. 10, pg. 1263-1272
- Murphy, P.L., dan Courtney, T.K., 2000, Low Back Pain Disability : Relative Costs by Antecedent and Industry Group, *American Journal of Industrial Medicine* 37, 558-571.
- Nurmianto, E., 1991, Faktor Untuk Iklim Ruangan dan Kenyamanan Suhu dalam Rancang Bangun Pesawat Terbang Penumpang, *Proceedings Makalah Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika*, IPTN Bandung.
- Nussbaum, M., Chaffin, D., dan Page, G., 1995, A Biomechanical Investigation Of The Asymmetric Multiplier In The Revised NIOSH Lifting Equation, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting* (pp. 709-713), Santa Monica, CA, USA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Snook, S.H., Campanelli, R.A., dan Hart, J.W., 1978, A Study of Three Preventive Approaches to Low Back Pain, *Journal of Occupational Medicine* 20, 478-481.
- Waters, T.R., Putz-Anderson, V., dan Garg A., 1994, *Application Manual for the Revised Niosh Lifting Equation*, National Institute for Occupational Safety and Heath Division of Biomedical and Behavioral Science, Cincinnati, Ohio.
- Wignjosobroto, S. 2000, *Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu Teknik Analisis untuk Meningkatkan Produktivitas Kerja*, Jakarta : PT. Gunawidya.

Wu, S., 2000, Psychophysically Determined Symmetric and Asymmetric Lifting Capacity of Chinese Males for One Hour's Work Shifts, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, pg. 675-682

Wu, S., 2003, Maximum Acceptable Weights for Asymmetric Lifting of Chinese Females, *Applied Ergonomics* 34 pg. 215-224.