

## PENENTUAN *MAXIMUM ACCEPTABLE WEIHGHT LIMIT* (MAWL) DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN FISILOGI

**Rapiah Sarfa Marasabessy**

Dosen Program Study Teknik Industri Fakultas Teknik  
Universitas Darussalam Ambon  
e-mail : Sarfa\_tahir@yahoo.com

### ABSTRAK

*Manual Material Handling (MMH) merupakan kegiatan pengangkatan material yang dilakukan secara manual. MMH memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam penanganan beban – beban ringan bila dibandingkan dengan penanganan material menggunakan alat. Namun, MMH teridentifikasi dapat menimbulkan cedera pada otot rangka (musculoskeletal disorders). Untuk meminimalisasi terjadinya cedera pada otot rangka, National Institut of Occupational Safety and Health (NIOSH) merekomendasikan sebuah persamaan pembebanan yaitu Recommended Weight Limit. Persamaan ini dibuat berdasarkan data pekerja wanita Amerika sehingga dalam penggunaannya di Indonesia, perlu diadakan penyesuaian karena terdapat perbedaan antropometri, psikofisik dan fisiologi antara orang Indonesia dengan orang Amerika. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan batas beban maksimum berdasarkan antropometri pekerja wanita Indonesia. Pendekatan yang digunakan untuk menentukan batas beban maksimum dalam penelitian ini adalah pendekatan fisiologi. Secara fisiologi konsumsi energi berdasarkan estimasi denyut jantung yang dihasilkan lebih tinggi 56 % -70 % bila dibandingkan dengan konsumsi energi berdasarkan rekomendasi NIOSH. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan antropometri serta usia yang digunakan.*

**Kata Kunci :** *Manual Material Handling, Recommended Weight Limit, Musculoskeletal disorders, Maximum Acceptable Weight Limit.*

### ABSTRACT

*Manual Material Handling (MMH) is a material removal activitiey that performed manually. MMH has a high flexibility in handling the load - a light load if compared by using material handling equipment. However, MMH can cause injury identified in skeletal muscle (musculoskeletal disorders). To minimize the occurrence of injury in skeletal muscle, the National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) recommends the imposition of an equation that is the Recommended Weight Limit. This equation is based on the data taken from American women workers in its use in Indonesia, the adjustment shall be made as there are differences in anthropometry, psychophysical and physiological differences between Indonesian and American. The purpose of this study was to determine the maximum load limit based on the anthropometry of Indonesian women workers. The approach used to determine the maximum load limits in this study is the physiological approach. Physiologically energy consumption based on the heart rate produced higher 56% -70% when compared to energy consumption based on NIOSH recommendations. This is because of the differences in anthropometric and age.*

**Keywords:** *Manual Material Handling, Recommended Weight Limit, Musculoskeletal disorders, Maximum Acceptable Weight Limit.*

### PENDAHULUAN

#### Latar belakang Masalah

Penggunaan tenaga manusia sebagai pekerja sangatlah dominan terutama kegiatan penanganan material secara manual (*Manual Material Handling*). Kelebihan *Manual Material Handling* bila dibandingkan dengan penanganan material menggunakan alat bantu adalah fleksibilitas gerakan yang dapat dilakukan untuk beban-beban ringan. Akan tetapi aktivitas *Manual Material Handling* teridentifikasi

beresiko tinggi sebagai penyebab utama timbulnya cedera pada otot rangka (*musculoskeletal disorders*). *Musculoskeletal disorders* pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat beban kerja yang berat dengan durasi pembebanan yang panjang (Grandjean, 1986).

Untuk meminimalisasi terjadinya cedera pada otot rangka, pada tahun 1981 *National Institut of Occupational Safety and Health* (NIOSH) merekomendasikan persamaan pembebanan yang disebut *Recommended Weight Limit* (RWL). RWL merupakan kondisi pembebanan dimana hampir semua pekerja normal dapat melakukan pekerjaan tersebut dalam periode waktu tertentu tanpa menimbulkan resiko terjadinya cedera tulang belakang akibat pengangkatan. Karena persamaan ini memiliki kekurangan, yakni hanya berlaku pada posisi pengangkatan sagital atau saat posisi tubuh menghadap kedepan dengan frekuensi pengangkatan serta durasi kerja yang pendek, maka pada tahun 1991 NIOSH merevisi persamaan ini dengan menambahkan faktor pengali asimetri (AM) dan faktor pengali frekuensi (FM).

Faktor-faktor pengali yang direkomendasikan, diperoleh dengan menentukan batas beban maksimum atau *Maximum Acceptable Weight Limit* (MAWL) berdasarkan antropometri pekerja Amerika. Beberapa penelitian di Cina, India dan Taiwan menunjukkan bahwa secara fisiologi rata – rata MAWL pekerja wanita lebih rendah, sedangkan MAWL pekerja pria lebih tinggi jika dibandingkan dengan MAWL yang direkomendasikan oleh NIOSH yang disebabkan karena adanya perbedaan antropometri (Wu, 1999., Ray dan Mayti, 2004., Lee, 2004). Sehingga dalam penerapannya di Indonesia perlu diadakan penyesuaian sesuai data antropometri pekerja wanita Indonesia

## LANDASAN TEORI

### *Manual Material Handling*

*Manual material Handling* adalah aktivitas penanganan material yang meliputi kegiatan mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membawa beban yang dilakukan tanpa bantuan alat. Kegiatan ini bila dilakukan dalam jangka waktu yang lama akan menimbulkan cedera pada tulang belakang. Untuk meminimasi terjadinya cedera, maka perlu ditentukan batas angkat beban maksimum (MAWL).

### *Maksimum Acceptable Weight Limit*

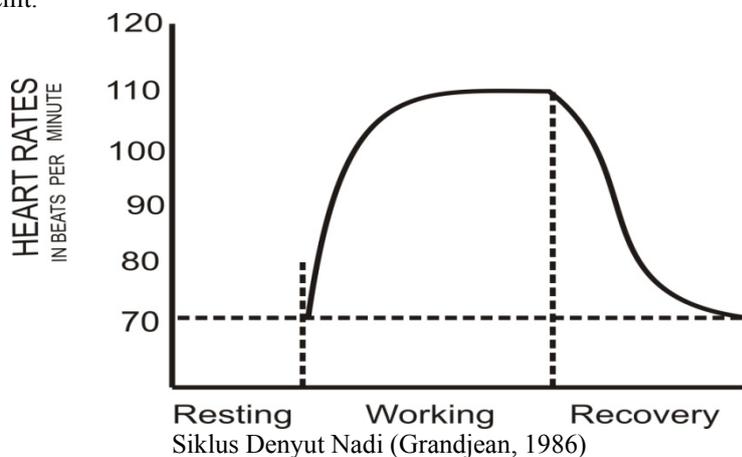
Kapasitas angkat beban maksimum (MAWL) dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu jarak vertikal, frekuensi pengangkatan, jarak horisontal, sudut pengangkatan serta antropometri. Ada beberapa pendekatan yang dapat dilakukan untuk menentukan MAWL diantaranya penentuan MAWL berdasarkan pendekatan psikofisik, pendekatan fisiologi, pendekatan biomekanika dan pendekatan epidemiologi.

### Pendekatan fisiologi

#### Pengukuran Konsumsi energi

Untuk menentukan MAWL secara fisiologis kita harus mengetahui konsumsi energi yang dibutuhkan pada saat bekerja. Pengukuran konsumsi energi dapat dilakukan dengan cara tidak langsung dengan mengetahui kecepatan denyut jantung.

Dalam kondisi normal atau sedang beristirahat, laju detak jantung manusia berkisar diantara 70 bit/menit. Ketika sedang dalam kondisi bekerja, rata-rata laju detak jantung mengalami kenaikan menjadi sekitar 110 bit/menit.



Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa seseorang dalam keadaan normal :

- Waktu sebelum kerja (*rest*) kecepatan denyut jantung dalam keadaan konstan walaupun ada perubahan kecepatan denyutnya tetapi tidak terlalu jauh perbedaanya.
- Waktu selama bekerja (*work*) kecepatan denyut jantung dalam keadaan naik. Semakin lama waktu kerja yang dilakukan maka makin banyak energi yang keluar sehingga kecepatan denyut jantung bertambah cepat.
- Waktu pemulihan (*recovery*) kecepatan denyut jantung semakin menurun.

Kecepatan denyut jantung selain dapat diukur dengan menggunakan alat seperti *cardio tachometer* dan pulse meter juga dapat diukur secara manual dengan meraba denyutan pada arteri radialis.

Perhitungan konsumsi energi dengan menggunakan denyut jantung lebih mudah bila dibandingkan dengan perhitungan konsumsi oksigen. Penelitian tentang hubungan denyut jantung dengan energi dilakukan oleh Astuti (1985) dan merekomendasikan persamaan regresi untuk mengestimasi energi berdasarkan kecepatan denyut jantung (Widyanti, 1998). Berikut ini persamaan regresi yang direkomendasikan oleh Astuti :

$$Y = 1,80411 - 0,0229038X + 4,71733.10^{-4}X^2 \quad (1)$$

Dengan :

Y = energi (Kkal/menit)

X = kecepatan denyut jantung/menit

Setelah kecepatan denyut jantung dikonversikan ke energi, maka pengeluaran energi untuk kerja tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Ke = Et - Ei \quad (2)$$

Dengan :

Ke = Konsumsi energi (kilokalori)

Et = Pengeluaran energi setelah kerja (kilokalori)

Ei = Pengeluaran energi saat istirahat (kilokalori)

## 2.Persamaan Pengeluaran Energi pada Pengangkatan Beban

Garg (1976) membuat persamaan untuk mengestimasi pengeluaran energi pada pekerjaan pengangkatan beban. Persamaan ini dibuat untuk tiga cara pengangkatan yaitu :

1.Angkatan membungkuk (*stoop lift*)

$$E = 0,0109 BW (0,0012 BW + 0,0052 L + 0,0028 S x L)f \quad (3)$$

2.Angkatan Jongkok (*squat lift*)

$$E = 0,0109 BW + (0,0019 BW + 0,0081 L + 0,0023 S x L)f \quad (4)$$

3.Angkatan dengan tangan (*arm lift*)

$$E = 0,0109 BW + (0,0002 BW + 0,0103 L - 0,0017 S x L)f \quad (5)$$

Dengan :

E = pengeluaran energi (kkal/menit)

BW = berat badan (lbs)

L = berat angkatan (lbs)

S = jenis kelamin (pria = 1, wanita = 0)

F = frekuensi angkatan (angkatan/menit)

Jika berat badan dan berat angkatan dalam satuan kg, maka variabel BW dan L harus dikalikan dengan faktor 0,54. Klasifikasi beban kerja dalam reaksi fisiologi ditunjukkan pada Tabel 1 sedangkan batas pengeluaran energi untuk durasi 1 dan 2 jam rekomendasi NIOSH dapat dilihat pada Tabel 2.

Klasifikasi Beban Kerja dalam Reaksi Fisiologi (Grandjean, 1986)

| Beban Kerja | Konsumsi oksigen<br>Liter/menit | Energi Expenditure<br>Kalori/menit | Denyut Jantung<br>Beat/menit |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Light       | 0.5-1.0                         | 2.5-5.0                            | 60-100                       |
| Moderate    | 1.5-1.0                         | 5.0-7.5                            | 100-125                      |
| Heavy       | 1.5-2.0                         | 7.5-10                             | 125-150                      |
| Very Heavy  | 2.0-2.5                         | 10.12.5                            | 150-175                      |

Batas Pengeluaran Energi (Waters *et. al.*, 1993)

| Tinggi angkatan           | Durasi Kerja |         |
|---------------------------|--------------|---------|
|                           | ≤ 1 jam      | 1-2 jam |
| V ≤ tinggi <i>knuckle</i> | 4,7          | 3,7     |
| V > tinggi <i>knuckle</i> | 3,3          | 2,7     |

## METODE PENELITIAN

### Subjek Penelitian

Subjek penelitian diambil berdasarkan kriteria wanita berbadan sehat tidak mengalami keluhan pada tulang belakang. Cara oral dilakukan dengan mengajukan beberapa pertanyaan kepada setiap subjek mengenai kesehatan dan keluhan – keluhan yang pernah dialami.

### Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini:

- Stopwatch : digunakan pada saat pengukuran denyut jantung.
- Meteran untuk mengukur antropometri
- Komputer : software SPSS 12
- Timbangan : untuk mengukur berat badan

### Prosedur Pengumpulan dan pengolahan data MAWL fisiologi

#### Prosedur penelitian

Penelitian dimulai dengan pengukuran denyut nadi sebelum dan sesudah pengangkatan beban. Pengukuran denyut nadi dilakukan secara manual selama 15 detik dengan merasakan denyutan pada arteri radialis. Prosedur ini berlaku untuk semua perlakuan dengan  $V < 65$  cm dan  $V > 65$  cm

#### Langkah – langkah penentuan MAWL

- Uji t data denyut jantung  
Uji t dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan antara denyut jantung sebelum bekerja dan sesudah bekerja.
  - Perhitungan konsumsi energi estimasi denyut jantung  
Konsumsi energi diperoleh dengan cara mensubstitusi data denyut jantung akhir kedalam persamaan (1).
  - Perhitungan konsumsi energi dengan persamaan Garg  
Dengan menggunakan batasan energi rekomendasi NIOSH (tabel 2) , berat badan 48 kg, berat beban 8 kg, 10 kg dan 14 kg serta frekuensi pengangkatan 1 angkatan/menit sampai 4 angkatan/menit yang disubstitusikan kedalam persamaan (3) dan (5) maka nilai konsumsi energi dapat diketahui.
  - Penentuan persamaan pembebanan  
Persamaan pembebanan diperoleh dengan melakukan uji regresi terhadap variabel energi, berat badan, berat beban, dan frekuensi pengangkatan.
- Perhitungan MAWL  
Dengan menggunakan batasan energi rekomendasi NIOSH (tabel 2) , berat badan 48 kg, dan frekuensi pengangkatan dari 0,2 angkatan/menit sampai 15 angkatan/menit yang disubstitusikan kedalam persamaan pembebanan, maka nilai MAWL dapat diketahui.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Persamaan pembebanan

Dengan menggunakan uji regresi terhadap variabel energi, berat badan, berat beban dan frekuensi pengangkatan maka diperoleh persamaan regresi untuk pembebanan dengan jarak vertikal  $V < 65$  cm dan  $V > 65$  cm.

- Persamaan pembebanan untuk jarak vertikal  $V < 65$  cm

$$E = - 0,664 + 0,872 F + 0,117 B + 0,030 BB \quad (6)$$

Dengan :

- E : energi  
BB: berat badan  
B : berat beban

F : frekuensi pengangkatan

Persamaan tersebut berarti :

- a. Konstanta sebesar -0,664 menyatakan bahwa jika frekuensi, berat beban dan berat badan = 0, maka energi adalah -0,664. Namun perlu diingat bahwa, setiap orang membutuhkan energi meskipun dalam keadaan istirahat atau disebut metabolisme bassal. BMR untuk wanita = 0, 0162 Kkal/menit per kilogram berat badan. Jika beban dan frekuensi pada persamaan 4.1 = 0, dan berat badan = 48 kg, maka :  
 $E = -0,664 + 0,030 \times 48 = 0,776$  kcal. Nilai ini sama dengan Nilai BMR untuk berat badan 48 kg ( $0.0162 \times 48 = 0,77$  kcal).
  - b. Koefisien F bernilai 0,872 berarti bahwa untuk setiap penambahan frekuensi pengangkatan sebesar 0,872 angkatan/menit akan diikuti dengan penambahan energi sebesar 1 kilokalori.
  - c. Koefisien B 0,117 berarti bahwa untuk setiap penambahan beban sebesar 0, 117 kg diikuti dengan penambahan energi sebesar 1 kilokalori.
  - d. Koefisien BB 0,030 berarti bahwa untuk setiap penambahan berat badan sebesar 0, 030 kg diikuti dengan penambahan energi sebesar 1 kilokalori.
2. Persamaan pembebanan untuk jarak vertikal  $V > 65$  cm

$$E = - 0.460 + 0,909 F + 0,095 B +0,028 BB \tag{7}$$

Dengan :

- E : energi
- BB: Berat Badan
- B : Berat Beban
- F : Frekuensi pengangkatan

Persamaan tersebut berarti :

- a. Konstanta sebesar -0,460 menyatakan bahwa jika frekuensi, beban dan berat badan = 0, maka energi adalah -0,460. Namun perlu diingat bahwa, setiap orang membutuhkan energi meskipun dalam keadaan istirahat atau disebut metabolisme bassal. Sehingga model ini berlaku jika berat badan tidak sama dengan 0. Jika frekuensi dan beban = 0, maka energi yang dihasilkan berdasarkan persamaan ini akan sama dengan nilai metabolisme bassal per kilogram berat badan.
- b. Koefisien F bernilai 0,909 berarti bahwa untuk setiap penambahan frekuensi pengangkatan sebesar 0,909 angkatan/menit akan diikuti dengan penambahan energi sebesar 1 kilokalori.
- c. Koefisien B 0,095 berarti bahwa untuk setiap penambahan beban sebesar 0, 095 kg diikuti dengan penambahan energi sebesar 1 kilokalori.
- d. Koefisien BB 0,028 berarti bahwa untuk setiap penambahan berat badan sebesar 0, 028 kg diikuti dengan penambahan energi sebesar 1 kilokalori.

**MAWL Berdasarkan Pendekatan Fisiologi**

Dengan menggunakan persamaan (6) dan (7) maka diperoleh nilai MAWL untuk frekuensi 0,2 angkatan/menit sampai 15 angkatan/menit durasi 1 jam dan 2 jam, yang ditunjukkan pada Tabel 3.

MAWL Berdasarkan Pendekatan Fisiologi

| angkatan/<br>Menit | 1 jam  |        | 2 jam  |        |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
|                    | V<65   | V>65   | V<65   | V>65   |
| 0,2                | 32,55  | 23,52  | 23,58  | 17,2   |
| 0,5                | 30,43  | 20,65  | 21,46  | 14,33  |
| 1                  | 26,9   | 15,86  | 17,92  | 9,55   |
| 2                  | 19,83  | 6,29   | 10,85  | -0,02  |
| 3                  | 12,76  | -3,27  | 3,79   | -9,59  |
| 4                  | 5,69   | -12,84 | -3,28  | -19,16 |
| 5                  | -1,38  | -22,41 | -10,35 | -28,73 |
| 6                  | -8,44  | -31,98 | -17,42 | -38,29 |
| 7                  | -15,51 | -41,55 | -24,49 | -47,86 |
| 8                  | -22,58 | -51,12 | -31,56 | -57,43 |
| 9                  | -29,65 | -60,68 | -38,62 | -67    |
| 10                 | -36,72 | -70,25 | -45,69 | -76,57 |
| 11                 | -43,79 | -79,82 | -52,76 | -86,14 |

| angkatan/<br>Menit | 1 jam  |         | 2 jam  |         |
|--------------------|--------|---------|--------|---------|
|                    | V<65   | V>65    | V<65   | V>65    |
| 12                 | -50,86 | -89,39  | -59,83 | -95,71  |
| 13                 | -57,92 | -98,96  | -66,9  | -105,27 |
| 14                 | -64,99 | -108,53 | -73,97 | -114,84 |
| 15                 | -72,06 | -118,09 | -81,03 | -124,41 |

### Perbandingan MAWL fisiologi hasil penelitian dengan MAWL NIOSH

Perbandingan MAWL berdasarkan pendekatan fisiologi dengan MAWL rekomendasi NIOSH untuk durasi 1 jam dan 2 jam dapat dilihat pada Tabel 4

Perbandingan MAWL berdasarkan pendekatan fisiologi dengan MAWL rekomendasi NIOSH untuk durasi 1 jam dan 2 Jam

| angkatan/<br>menit | 1 Jam     |        |           |        | 2 Jam     |        |           |        |
|--------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
|                    | V < 65    | V < 75 | V > 65    | V > 75 | V < 65    | V < 75 | V > 65    | V > 75 |
|                    | Fisiologi | NIOSH  | Fisiologi | NIOSH  | Fisiologi | NIOSH  | Fisiologi | NIOSH  |
| 0,2                | 32,55     | 23     | 23,52     | 23     | 23,58     | 21,85  | 17,2      | 21,85  |
| 0,5                | 30,43     | 22,31  | 20,65     | 22,31  | 21,46     | 21,16  | 14,33     | 21,16  |
| 1                  | 26,9      | 21,62  | 15,86     | 21,62  | 17,92     | 20,24  | 9,55      | 20,24  |
| 2                  | 19,83     | 20,93  | 6,29      | 20,93  | 10,85     | 19,32  | -0,02     | 19,32  |
| 3                  | 12,76     | 20,24  | -3,27     | 20,24  | 3,79      | 18,17  | -9,59     | 18,17  |
| 4                  | 5,69      | 19,32  | -12,84    | 19,32  | -3,28     | 16,56  | -19,16    | 16,56  |
| 5                  | -1,38     | 18,4   | -22,41    | 18,4   | -10,35    | 13,8   | -28,73    | 13,8   |
| 6                  | -8,44     | 17,25  | -31,98    | 17,25  | -17,42    | 11,5   | -38,29    | 11,5   |
| 7                  | -15,51    | 16,1   | -41,55    | 16,1   | -24,49    | 9,66   | -47,86    | 9,66   |
| 8                  | -22,58    | 13,8   | -51,12    | 13,8   | -31,56    | 8,05   | -57,43    | 8,05   |
| 9                  | -29,65    | 11,96  | -60,68    | 11,96  | -38,62    | 6,9    | -67       | 6,9    |
| 10                 | -36,72    | 10,35  | -70,25    | 10,35  | -45,69    | 5,98   | -76,57    | 5,98   |
| 11                 | -43,79    | 9,43   | -79,82    | 9,43   | -52,76    | 0      | -86,14    | 5,29   |
| 12                 | -50,86    | 8,51   | -89,39    | 8,51   | -59,83    | 0      | -95,71    | 4,83   |
| 13                 | -57,92    | 0      | -98,96    | 7,82   | -66,9     | 0      | -105,27   | 0      |
| 14                 | -64,99    | 0      | -108,53   | 7,13   | -73,97    | 0      | -114,84   | 0      |
| 15                 | -72,06    | 0      | -118,09   | 6,44   | -81,03    | 0      | -124,41   | 0      |

### Analisis perbandingan MAWL

Dari Tabel (4) dapat dilihat perbandingan MAWL fisiologi dengan MAWL rekomendasi NIOSH. Untuk frekuensi angkatan 0,2 sampai 3 angkatan/menit MAWL fisiologi lebih tinggi jika dibandingkan dengan MAWL rekomendasi NIOSH. Pada frekuensi dan durasi tertentu nilai MAWL fisiologi bernilai negatif sedangkan MAWL rekomendasi NIOSH bernilai 0. Hal ini berarti bahwa pada frekuensi dan durasi tersebut tidak diijinkan untuk melakukan pengangkatan.

Adanya perbedaan yang signifikan antara MAWL fisiologi dan MAWL rekomendasi NIOSH, terutama pada frekuensi 5 angkatan/menit sampai 15 angkatan/menit disebabkan karena MAWL rekomendasi NIOSH ditentukan berdasarkan estimasi energi persamaan Garg dengan menggunakan antropometri pekerja wanita Amerika sedangkan MAWL fisiologi ditentukan berdasarkan estimasi denyut jantung.

### KESIMPULAN

Secara fisiologi konsumsi energi estimasi denyut jantung yang dihasilkan lebih tinggi 56 % -70 % bila dibandingkan dengan konsumsi energi berdasarkan persamaan rekomendasi NIOSH. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan antropometri serta usia yang digunakan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Grandjean, E. 1986. *Fitting the Task to the Man*. Taylor & Francis Inc. London  
 Lee, Y.H., Wu, S.P. and Hsu S.H. 1995. *The Psychophysical Lifting Capacities of Chinese Subjects*. *Ergonomics*. 38 (4) 671-83

- Lee, Y.H. and Chen, Y.L. 1996. An Isoinertial Predictor for Maximal Acceptable Lifting Weights of Chinese Male Subjects. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 57(5), 456-63
- Maiti, R and Ray, G.G., 2004. Determination of Maximum Acceptable Weight of Lift Adult Indian Female Wokers. *International Journal of Ergonomics*. Vol 34(6), 483-495
- Silalahi, B. 1991. Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja. PT. Pustaka Binaman Pressindo. Jakarta.
- Waters, T.R., Anderson, V.P. and Garg, A. 1993. Revised NIOSH Equation and Evaluation of Manual Lifting Task. *International Journal of Ergonomics*. Vol 36 No 7, 749-776
- Waters, T.R., Anderson, V.P. and Garg, A. 1994. Application Manual for Revised NIOSH Lifting Equation. US Dept of Health and Human Service, USA.

