Bab 2
Tinjauan Pustaka

2.1. Ergonomi

Ergonomi secara umum berarti masalah-masalah hubungan manusia dengan pekerja dengan tugas-tugas dan pekerjaannya serta desain dari objek yang digunakannya. Terlepas dari definisi para ahli tentang ergonomi.

Iftikar Z. Sutalaksana (2006) mendefinisikan ergonomi ialah suatu cabang ilmu yang sistematis untuk memanfaatkan informasi-informasi mengenai sifat, kemampuan, dan keterbatasan manusia dalam merancang suatu sistem kerja sehingga orang dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik, yaitu mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu dengan efektif, aman, sehat, nyaman, dan efisien. Tidak hanya dalam hubungan dengan alat, ergonomi juga mencakup pengkajian interaksi anatara manusia dengan unsur-unsur sistem kerja yang lain, yaitu bahan dan lingkungan. Bahkan metode dan organisasi.

Tujuan ergonomi adalah untuk kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan juga penyakit akibat kerja, meningkatkan performansi kerja manusia dan meningkatkan keselamatan, kesehatan, kenyamanan dan kepuasan kerja. (Iftikar Z. Sutalaksana, 2006).

2.2. Biomekanika Kerja

Pembebaan yang secara terus-menerus akan mengakibatkan kelainan pada sistem otot rangka, seperti: kelainan fungsi otot, kelainan pada gerak sandi, kelainan pada syaraf, keilanan pada tendon (penghubung otot dan tulang) dan sebagainya. Biaanya di bagian perindustrian, kelainan yang terjadi seperti itu disebut sebagai kelainan akibat kerja. Sedangkan anggoota tubuh yang sering mengalami kelainan akibat kerja adalah leher, bahu, pergelangan tangan dan punggung yang sering mendapatkan tekanan yang berlebihan dan terus menerus selama bekerja.

Hardianto Iridiastadi (2014) mendefinisikan biomekanika adalah ilmu yang menggunakan hukum-hukum fisika dan mekanika teknik untuk mendeskripsikan gerakan pada bagian tubuh (kinematik) dan memahami efek gaya dan momen yang terjadi pada tubuh (kinetik). Biomekanika juga merupakan keilmuan yang mengombinasikan hukum-hukum fisika dan konsep-konsep teknik dengan pengetahuan dari keilmuan biologi dan prilaku manusia (Chaffin dkk., 2006).

Aplikasi keilmuan biomekanika sangat luas. Pengetahuan tentang kemampuan dan keterbatasan sistem otot-rangka manusia dalam bergerak dan bekerja dibutuhkan sebagai dasar pertimbangan dalam perancangan alat dan tempat kerja. Pada bidang medis, boimekanika banyak berperan dalam pembuatan tangan atau kaki buatan (protesta) serta dalam rehabilitasi fungsi otot-rangka. Dalam bidang olah raga, perancangan alat-alat olahraga (seperti tongkat golf) dan evaluasi berbagai teknik gerak tubuh yang efektif (seperti tongkat golf) juga didasarkan pada keilmuan biomekanika. Sayangnya di Indonesia, peran ini masih belum terlihat. Dalam bidang transportasi, pertimbangan biomekanika dibutuhkan dalam perancangan alat pelindung pengendara dan penumpang serta dalam rekontruksi dan simulasi tabrakan. Apapun jenis produk yang mensyaratkan kerja otot dan gerak tubuh dalam pengoprasiannya sebaiknya memperhatikan aspek biomekanika manusia. (Hardianto Iridiastadi, 2014).

Keilmuan biomekanika mempunyai latar belakang sejarah panjang. Berbagai tokoh dianggap berkontribusi dalam pengembangan keilmuan ini (Chaffin dkk., 2006), termasuk Leonardo da Vinci yang menggambarkan fungsi otot dan tulang dalam karya seninya di abad ke-15 serta Galileo Galilei yang menggunakan konsep konsep fisika dalam pengukuran denyut jantung pada abad ke-16. Seorang pakar fisika, Ramazzini tercatat dalam literartur sebagai salah seorang ilmuan yang menggunakan analisis biomekanika dalam evalusi kerja di awal abad ke-18. Ramazzini menyimpulkan bahwa gangguan pada sistem otot-rangka (yang kemudian dengan istilah *work-related musculoskeletal disorders*) yang diderita pekerja bangunan (*craftsman*) diakibatkan oleh gerakan dan sikap kerja tubuh

yang tidak alami dan muncul sebagai efek jangka panjang. Pada awal abad ke-20, Fredrick W. Taylor serta suami-istri Frank dan Liliana Gilbreth pun memasukan pertimbangan biomekanika dalam perbaikan dan penetapan standar kerja untuk meningkatkan produktivitas bisnis. Hingga kini, studi biomekanika banyak diterapkan di industri terutama dalam analisis dan perbaikan kerja, kemudian menjadi fokus salah satu sub-keilmuan biomekanika, yakni biomekanika kerja atau *occupational biomechanics*.

Menurut (Chaffin dkk., 2006). Biomekanika kerja merupakan salah satu subdisiplin keilmuan biomekanika yang mempelajari interaksi fisik antara pekerja dan peralatan, mesin dan material untuk meminimalkan risiko gangguan pada sistem otot-rangka yang terkait dengan kerja.

Terdapat 2 mekanisme gangguan yang mungkin timbul pada sistem otot-rangka. Gangguan pertama diakibatkan oleh pembebanan atau tekanan tiba-tiba pada tubuh atau anggota tubuh. Dampak yang terjadi pada sistem otot-rangka berupa cedera pada otak tulang, kerusakan sendi, dan lain-lain. Kejadian seperti ini biasanya dikategorikan kecelakaan kerja, yang dapat terjadi pada berbagai bagian anggota tubuh, seperti umumnya pada leher, bahu, pergelangan tangan dan punggung bagian bawah.

Mekanisme yang kedua berhubungan dengan pembebanan terus-menerus dan bersifat akumulatif dalam jangka panjang yang mengakibatkan kelainan pada sistem otot-rangka, seperti : kelainan fungsi otot, kelainan pada kemampuan gerak sendi, kelainan pada saraf, kelainan pada tendon (penghubung otot dan tulang), dan sebagainya.

Keilmuan biomekanika kerja berkontribusi dalam perancangan dan evaluasi sistem kerja. Sistem kerja yang dimaksud meliputi metode kerja (terutama yang menuntut aktivitas fisik berat seperti penanganan material /benda seecara manual), perancangan alat kerja, perancangan stasiun kerja (baik duduk atau berdiri), serta

dalam seleksi dan *training* pekerja. Semua aplikasi biomekanika kerja ini memiliki tujuan utama, yaitu memperbaiki performansi manusia dalam bekerja serta mengurangi resiko cedera pada sistem otot-rangka. Hingga kini, keilmuan biomekanika kerja menjadi salah satu ujung tombak aplikasi ergonomi di industri, terutama di Indonesia. Hal ini didukung oleh beberapa fakta berikut.

1. Efisiensi dan produktivitas kerja masih merupakan isu utama di industri pengetahuan tentang kemampuan biomekanika pekerja dapat digunakan sebagai masukan penting untuk mendapatkan rancangan sistem kerja yang optimal, terutama dalam hal kesesuaian antara kemampuan fisik dan tuntutan kerja.
2. Pekerja di industri masih didominasi oleh kerja fisik otot yang berat dan aktivitas kerja yang berulang-ulang. Bahkan sering pula dengan durasi yang cukup lama. Tiga hal ini merupakan faktor resiko utama ergonomi yang berpotensi menimbulkan gangguan pada sistem otot-rangka.
3. Ongkos dan biaya yang ditimbulkan akibat gangguan pada sistem otot-rangka sangat mahal. Cacat yang terjadi dapat bersifat permanen, seperti nyeri dan cedera pada punggung bawah (*low-back pain and low back injury*). Biaya yang ditimbulkan meliputi:
   a. Biaya pengobatan atau operasi medis,
   b. Biaya akibat terhentinya kegiatan produksi,
   c. Biaya akibat tidak masuk kerja,
   d. Biaya kompensasi akibat tidak mampu bekerja lagi,
   e. Biaya tidak langsung lain-lain, termasuk hilangnya kepercayaan pekerja terhadap jaminan keselamatan kerja di perusahaan.

   Semua komponen biaya diatas akan merugikan pekerja, perusahaan dan daya saing industri nasional.
4. Terdapatnya variasi yang sangat besar dalam kemampuan fisik manusia. Dalam suatu populasi, variasi kemampuan fisik dalam hal biomekanika lebih besar dari sebatas variasi dimensi tubuh dalam antropometri. Dalam antropometri, sangat jarang ditemukan variasi individu sehingga dua kali lipat dalam suatu kelompok antara satu individu dan individu lainya.

Ambilah contoh tinggi badan mahaiswa dengan variasi dalam kisaran antara 150-190 cm. Bandingkan dengan variasi kemampuan untuk mengangkat beban dari lantai. Perbandingan bobot beban yang mampu diangkat oleh orang yang paling kuat dibandingkan dengan orang yang paling lemah dapat berbeda dua kali hingga lima kali lipat.

2.3. Panduan NIOS untuk Pengangkatan Manual

2.3.1. Rumusan RWL

Sebuah lembaga riset yang menangani aspek kesehatan dan keselamatan kerja di Amerika Serikat, NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*), pada tahun 1991 mengeluarkan sebuah panduan mengenai batas maksimum beban yang boleh diangkat oleh pekerja untuk berbagai kondisi pengangkatan. (Waters dkk., 1993).

Penetapan batas beban tersebut didasari oleh hasil-hasil penelitan yang menggabungkan pendekatan biomekanika, fisiologi dan fisikotik. Batas pengangkatan tersebut dikenal dengan RWL (*Recommended Weight Limit*). Terdapat enam faktor yang menentukan besaran RWL, yakni empat faktor yang dipengaruhi sikap saat pengangkatan, satu faktor berkaitan dengan kondisi pegangan benda yang diangkat. Enam faktor tersebut sebagai faktor pengali yang menentukan RWL dengan rumusan berikut.

RWL = LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM (2.1)

Keterangan :

RWL: Batas beban yang direkomendasikan

LC : Konstanta pembebanan (load constant) = 23 kg

HM : Faktor pengali horizontal (horizontal multiplier)

VM : Faktor pengali vertikal (vertical multiplier)

DM : Faktor pengali perpindahan (distance multiplier)

AM : Faktor pengali asimetrik (asymmetric multiplier)

FM : Faktor pengali frekuensi (frequency multiplier)

CM : Faktor pengali pegangan (coupling multiplier)

Perlu dicatat bahwa tiap-tiap faktor pengali mempunyai nilai maksimum 1. Artinya, jika semua pengali nilainya 1 maka RWL akan sama dengan LC, yakni 23 kg. Inilah yang disebut sebagai kondisi optimal pengangkatan. Semakin besaran faktor-faktor pengali, maka batas beban yang diangkat juga semakin kecil untuk sikap tubuh, frekuensi pengangkatan dari kondisi beban yang diberikan. Penilaian aman atau tidak aman suatu pengangkatan dilakukan dengan membandingkan batas beban pengangkatan dengan bobot beban aktual yang diangkat.

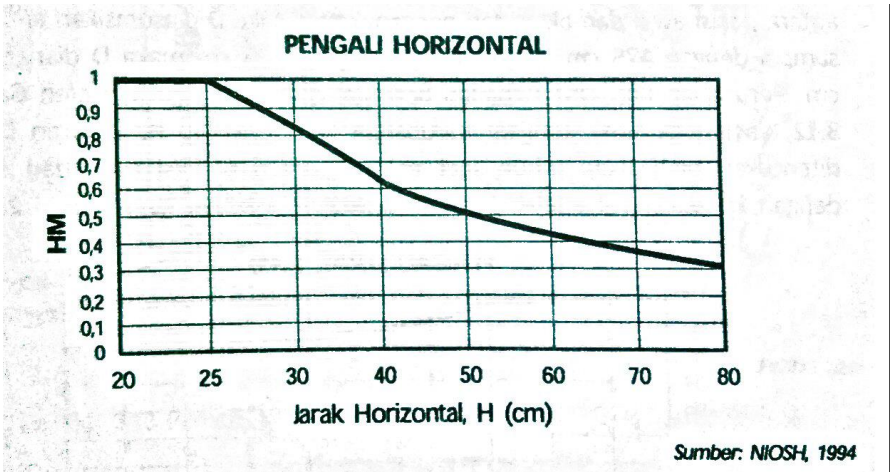
Rumusan RWL ini telah digunakan secara luas di industri sebagai acuan dalam evaluasi aktivitas pengangkatan secara manual. Batas beban pengankatan secara manual sebesar 23 kg juga telah dijadikan sebagai acuan untuk mendapatkan batas beban pengangkatan, cukup dihitung enam faktor pengali yang telah diterapkan. Berikut ini dijelaskan bagaimana menentukan besaran tiap-tiap faktor pengali.

a. Faktor Pengali Horizontal (HM)

Besaran HM ditentukan dengan rumus HM = 25/H, (2.2)

dengan H adalah jarak horizontal yang didefinisikan sebagai jarak antara titik tengah kedua mata kaki bagian dalam sampai dengan titik yang diproyeksikan dari titik pusat beban saat pengangkatan. Jika H < 25 cm maka diasumsikan H sama dengan 25 cm dan HM = 1. Perubahan nilai HM terhadap berbagai nilai H ditunjukan oleh gambar 2.1. Dapat dilihat terjadinya penurunan yang sangat tajam seiring dengan penambahan H. Jika H = 50 cm, maka HM = 0,5. Artinya, batas beban yang diangkat saat H = 50 cm adalah setengah dari batas beban yang diangkat saat H = 50 cm adalah setengah dari batas beban saat H = 25 cm. Perlu dicatat bahwa H sangat ditentukan oleh sikap tubuh saat pengangkatan. Kondisi

yang ideal adalah saat beban sedekat mungkin dengan tubuh, yang akan memberikan nilai H yang paling kecil dan HM = 1.



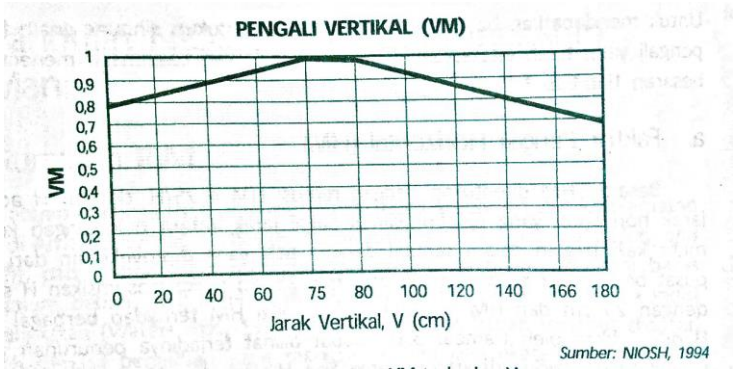
Gambar 2.1. – Perubahan HM terhadap H

b. Faktor Pengali Vertikal (VM)

Besaran VM ditentukan dengan rumusan :

$$VM = 1 – (0{,}003 \mid V – 75 \mid), \qquad (2.3)$$

Dengan V didefinisikan sebagai jarak lantai terhadap titik tengah benda yang dibawa. Perubahan nilai VM terhadap berbagai nilai V ditunjukan oleh Gambar dapat dilihat terjadinya perubahan VM terhadap H. V juga ditentukan oleh sikap tubuh saat pengangkatan, dengan kondisi ideal adalah saat beban setinggi pinggang (V = 75 cm sehingga VM =1).

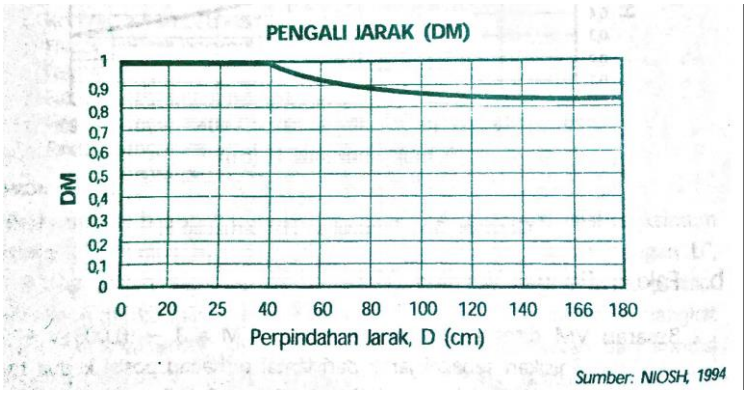


Gambar 2.2. – Perubahan VM terhadap V

c. Faktor pengali jarak (DM)

Besaran DM ditentukan dengan rumus: DM = 0.82 + 4.5/D (2.4)

dengan D didefinisikan sebagai jarak perbedaan/perpindahan ketinggian secara vertikal antara posisi awal dan akhir dari pengangkatan. Nilai D diasumsikan antara 25 sampai dengan 175 cm. Jika nilai D kurang dari 25 cm maka D ditunjukan oleh Gambar 2.3. yang juga tidak setajam perubahan HM terhadap H. Besaran D juga ditentukan oleh sikap tubuh saat pengangkatan (kondisi awal dan akhir), dengan kondisi ideal adalah jarak perpindahan vertikal kurang dari 25 cm

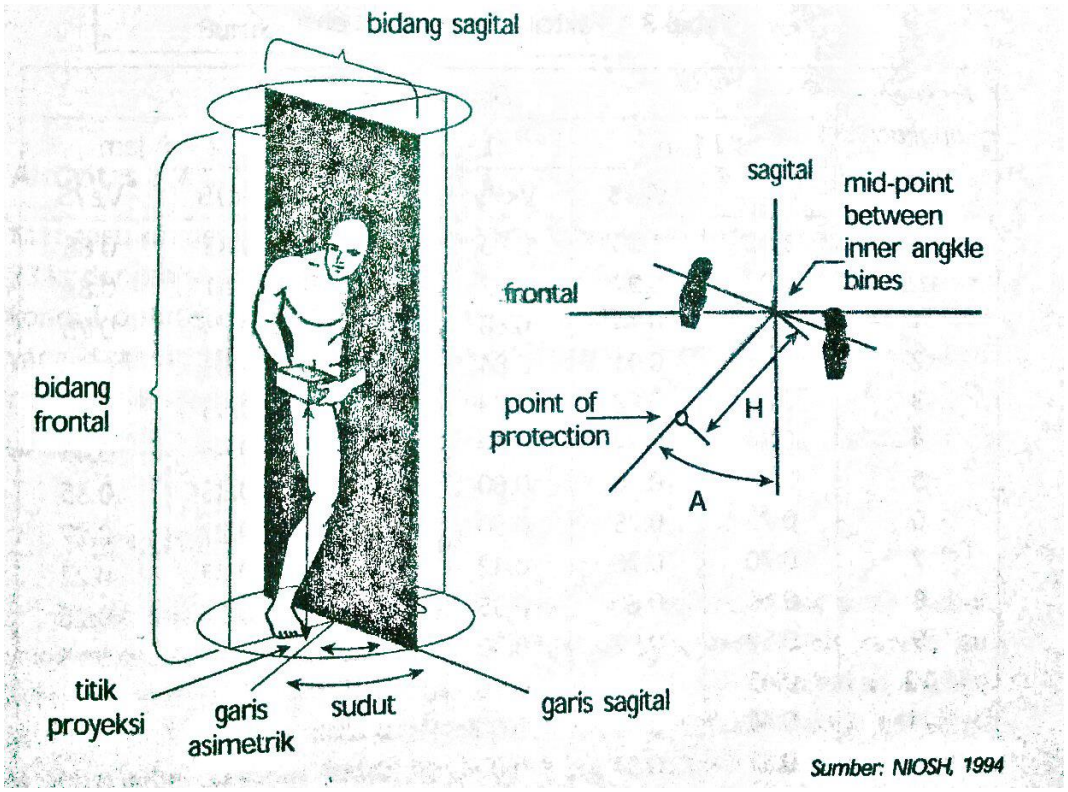


Gambar 2.3. – Perubahan DM terhadap D

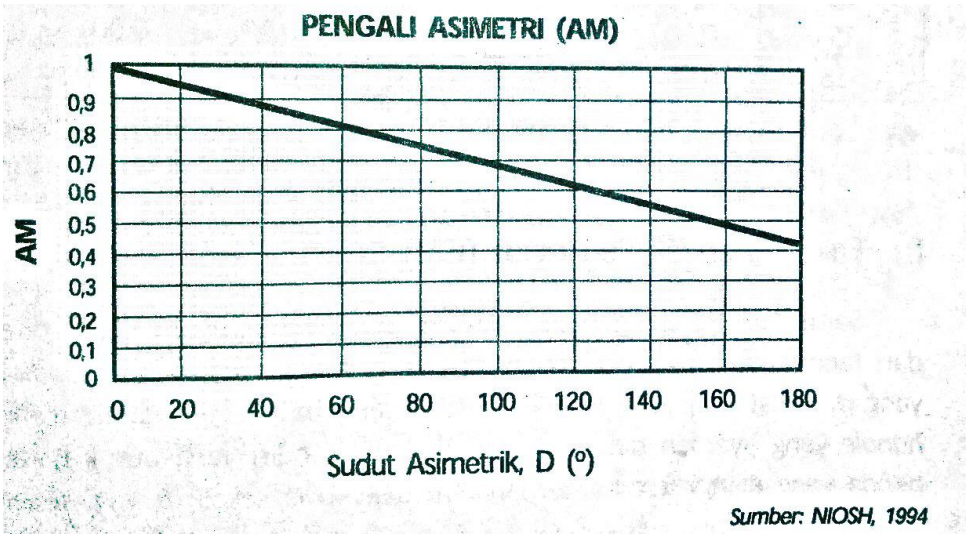
d. Faktor Pengali Asimetri (AM)

Besaran AM ditentukan dengan rumus: AM = 1 – 0,0032 A (rad) (2.5)

dimana A adalah sudut asimetrik yang merupakan sudut yang dibentuk antara pertengahan bidang sagital dan garis asimetrik Gambar,, . bidang sagita adalah bidang yang membagi tubuh menjadi dua bagian, kanan dan kiri, saat posisi tubuh netral (tidak ada perputaran pada bahu dan kaki). Garis asimetrik adalah garis horizontal yang menghubungkan titik tengah garis yang menghubungkan kedua mata kaki bagian dalam dan proyeksi titik tengah beban pada lantai pada tiap saat posisi pengangkatan. Perubahan AM terhadap A (dalam derajat) yang menunjukan perubahaan *linear* dapat dilihat pada Gambar 2.4. kondisi optimal, dimana AM = 1, diperoleh saat posisi tubuh berada dalam keadaaan netral (tidak berputar).



Gambar 2.4. – Perhitungan sudut asimetrik terhadap bidang sagital (netral)



Gambar 2.5. – Perubahan AM terhadap A

e. Faktor Pengali Frekuensi (FM)

Berbeda dengan faktor-faktor pengali yang telah dibahas terdahulu, FM tidak dihitung secara rumus matematis, namun dapat ditentukan oleh frekuensi rata-rata pengangkatan per menit dan posisi beban saat diangkat dari lantai (V, jarak vertikal). Untuk pengangkatan dengan frekuensi per menit < 0,2 maka diambil nilai frekuensi per menit = 0,2.

Tabel 2.1. Faktor pengali frekuensi

Frekuensi angkat/ menit	*Durasi Kerja*					
	≤ 1 jam		1 – 2 jam		2 – 8 jam	
	V<75	V≥75	V<75	V≥75	V<75	V≥75
0.2	1,00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0,5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0,84	0.84	0.72	0.72	0.45	0,45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
>15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(Sumber : Waters dkk, 1993)

f. Faktor Pengali Pegangan (CM)

Sama halnya dengan FM, faktor pengali pegangan (*handle*) benda yang diangkat dan juga nilai V. Kondisi yang baik diindikasikan oleh adanya *handle* sama sekali (bulky), seperti pada karung beras atau karung tepung. Kondisi dinilai cukup jika

berbeda di antara baik dan buruk, misalnya terdapat pegangan tangan, namun tidak nyaman digunakan karena terlalu kecil atau tidak sesuai dengan antropometri tangan.

Tabel 2.2. Faktor pengali pegangan

Kondisi Pegangan	V < 75 cm	V ≥ 75 cm
Baik	1.00	1.00
Cukup	0.95	1.00
Buruk	0.90	0.90

(Sumber Waters dkk, 1993)

2.3.2. Rumusan Lifting Index

Pada umumnya, dalam setiap pengangkatan terdapat dua posisi tubuh yakni posisi awal pengangkatan dan akhir pengangkatan. Oleh karena itu, RWL harus dihitung untuk kedua kondisi tersebut dan dinamakan sebagai RWL awal dan RWL akhir. Dalam perhitungan keduanya, besaran faktor pengali DM akan sama. Besaran faktor pengali FM dan CM pada dua posisi tersebut bisa jadi berbeda atau sama, bergantung nilai V.

Bagaimana melakukan analisis terhadap hasil perhitungan RWL? NIOSH mengusulkan penilaian aman atau tidaknya suatu aktivitas pengangkatan didasarkan atas Lifting Index (LI) . LI dirumuskan sebagai perbandingan antara batas beban yang direkomendasikan untuk diangkat terhadap beban yang seharusnya diangkat. Batas beban yang direkomendasikan diangkat dipilih dari nilai terkecil diantara RWL awal dan RWL akhir. Oleh karena itu, rumusan LI adalah:

$$LI = \text{Bobot beban aktual} / \min(\text{RWL awal}, \text{RWL akhir}) \quad (2.6)$$

Rekomendasikan yang diberikan adalah sebagai berikut.

- Jika $LI \leq 1$, maka pekerjaan tersebut aman
- Jika $1 < LI \leq 3$, maka pekerjaan tersebut mungkin berisiko
- Jika $LI > 3$, maka pekerjaan tersebut beresiko

2.3.3. Revisi Rumusan RWL untuk Pekerjaan Indonesia

Perlu dicatat bahwa rumusan RWL yang diusulkan oleh NIOSH didasarkan atas berbagai studi yang dilakukan di Amerika Serikat. Tentu saja, kondisi sampel yang digunakan berbeda dengan orang indonesia. Besaran konstanta pengali diusulkan menjadi 20 kg.

Widyanti (1998) melakukan telaah terhadap faktor pengali vertikal (VM) dan mengusulkan rumusan baru VM bahwa VM = 1 – (0,003 I V – 69 I) karena tinggi pinggang untuk ukuran rata-rata pekerja indonesia lebih pendek. Salmiah (2001) melakukan penelitian terhadap faktor pengali asimetrik (AM), dan kemudian mengusulkan persamaan faktor pengali asimetrik (AM) sebagai berikut.

AM = 1 – (0,005 A) untuk $0^0 \leq A \leq 30^0$

AM = 1 – (0,0031 A) untuk $30^0 \leq A \leq 60^0$

AM = 1 – (0,0025 A) untuk $A > 60^0$

Mahachandra (2006) melakuakan penelitian terhadap faktor pengali horizontal (HM) dan menunjukan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam hal batas bobot beban yang aman untuk diangkat antara pekerja Indonesia dengan partisipan yang ikut serta dalam penenlitian Snook dan Ciriello (1991).

Penelitian Snook dan Ciriello (1991) ini lah yang salah satunya digunakan sebagai dasar perumusan persamaan RWL. Oleh karena itu, rumusan RWL yang diusulkan oleh Mahachandra (2006) untuk pekerja indonesia ialah:

$$HM = 29{,}611\ e^{-0{,}0243H} \qquad (2.7)$$

2.3.4. Analisis Hasil Perhitungan RWL dan LI

Jika hasil evaluasi menunjukan bahwa suatu pekerjaan pengangkatan berisiko (dengan LI > 3), maka perlu segera dilakukan intervensi ergonomi. Terdapat dua bentuk intervensi ergonomi, secara teknik (*engineering control*) dan administratif (*administrative control*).

Secara umum, intervensi atau pengendalian teknik ditunjukan untuk mennghilangkan atau meminimalisasi sumber resiko, dengan cara menerapkan konsep ilmu kerekayasaan mesin untuk memperbaiki cara kerja dan sistem kerja termasuk menggunakan mesin, alat baru, serta metode baru. Jika tidak memungkinkan dilaksanakanya penegndalian teknik, pengendalian administratif dapat menjadi pilihan terakhir dengan tujuan untuk membatasi paparan resiko terhadap pekerja. (Hardianto Iridiastadi, 2014).

Beberapa pilihan pengendalian administratif yang biasanya digunkan adalah pengaturan penjadwalan kerja dan shift kerja, rotasi kerja dan pemilihan orang yang tepat untuk suatu pekerjaan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya dampak yang berbahaya bagi tubuh yang disebabkan oleh ketidaksesuaian antara pekerja dan pekerjaanya. Jika dibandingkan antara pengendalian teknik dan pengendalian admninistratif, maka pengendalian administratif lebih murah. Namun pengendalian yang diterapkan hanya berupa solusi jangka pendek karena resiko pekerjaan tetap ada. Pengendalian teknik tetap lebih dianjurkan walaupun mungkin membutuhkan investasi tapi merupakan solusi jangka panjang yang menguntungkan perusahaan.

Menurut Hardianto Iridiastadi, (2014) evaluasi kerja yang dilaakukan pada dasarnya adalah membandingkan C dan D. Oleh karena itu, untuk perbaikan keergonomisan suatu pekerjaan terdapat dua strategi meningkatkan C dan strategi menurunkan D. Dalam pengangkatan beban secara manual, besaran D dapat diturunkan (dalam antrian dengan cara memastikan RWL mendekati batas maksimum 23 kg) dengan memperhatikan tiap faktor pengali sebagai berikut.

1. Mengurangi beban kerja, walaupun hal ini sulit diterapkan karena cenderung *given* dan setiap pengurangan beban kerja akan berdampak pada laju produktivitas.
2. Mengubah sikap tubuh mendekati kondisi ideal pengangkatan, yakni menempatkan beban sedekat tubuh (H paling kecil).

3. Mengatur perpindahan barang sehinngga jarak perpindahan tidak terlalu besar (masih sekitar pinggang).
4. Menggunakan troli atau rak kerja yang dapat diatur ketinggianya sehingga memungkinkan beban setinggi pinggang (V ~ 75 cm), baik kondisi awal maupun kondisi akhir.
5. Memperbaiki pegangan benda yang diangkat.
6. Mengurangi frekuensi pengangkatan dan total jam kerja pengangkatan dengan rotasi kerja.

Perlu dicatat bahwa solusi menurunkan niali D di atas merupakan bentuk-bentuk pengendalian teknik. Sementara itu, kapasita pekerja (c) dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan pekerja yang kuat, *training* dan latihan untuk pekerja, serta pengaturan waktu istirahat. Bentuk-bentuk menaikan C tersebut adalah bentuk-bentuk pengendalian administratif.

2.4. FISIOLOGI KERJA

2.4.1. Kemampuan Fisik dan Beban Kerja

Terlepas pesatnya kemajuan teknologi yang banyak membantu manusia menyelesaikan pekerjaanya, sejumlah pekerjaan yang menuntut aktivitas fisik masih dapat diamati di berbagai jenis sektor industri, seperti manufaktur, transportasi, pertanian, kontruksi, logistik dan lain-lain . pekerjaan-pekerjaan ini sering kali menuntut aktivitas fisik yang cukup berat dan melelahkan, terlebih lagi di dukung oleh lingkungan kerja yang kurang kondusif (misalnya panas, lembap, bising, berdebu dan sebagainya). Untuk menghadapi pekerjaan-pekerjaan seperti itu, pekerja dituntut untuk memiliki kapasitas kerja fisik yang memadai; atau dapat juga dengan penerapan sejumlah teknik perancangan kerja, seperti penggunaan alat bantu, perbaikan metode kerja, pengaturan waktu istirahat dan lain-lain.

Menurut Hardianto Iridiastadi, (2014) sejumlah dampak buruk dapat terjadi saat beban fisik suatu pekerjaan telah melampaui kapasitas fisiologis yang dimiliki pekerja. Dampak buruk ini secara konseptual diartikan sebagai rendahnya energi

yang dihasilkan melalui proses metabolisme tubuh bila dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu aktivitas. Keadaan seperti ini secara kronik dapat mengakibatkan terjadinya kelelahan berlebihan, yang bahkan mungkin tidak dapat diatasi dengan pemberian istirahat saja (akumulasi kelelahan). Dalam jangka panjang, keadaan ini dapat berpengaruh buruk pada kesehatan kerja, bahkan dapat memicu penyakit lain yang berakhir dengan kematian, misalnya serangan jantung, atau kegagalan fungsi-fungsi penting tubuh yang lain.

Beban kerja yang berlebihan juga dapat berakibat buruk pada kualitas dan performansi kerja. Efek buruk ini, sebagai contoh, ditunjukan oleh Bridger et al. (2008), yang dapat mencakup penerapan waktu reaksi peningkatan kesalahan dalam mengambil keputusan, penurunan kemampuan untuk berkonsentrasi, serta peningkatan potensi kecelakan kerja. Jelas bahwa beban kerja yang secara fisiologis berlebihan akan berdampak pada kesehatan adalah memastikan bahwa sistem kerja dirancang sedemikian rupa sehingga diperoleh produktivitas dan ualitas kerja terbaik, yang dapat dicapai jika beban (*energy cost*) berada didalam batas kemampuan fisik (Hardianto Iridiastadi, 2014).

2.4.2. Mekanisme Tersedianya Energi untuk Kerja

Agar otot dapat berkontraksi (melakukan kerja), diperlukan adanya energi. Secara konseptual, energi diperoleh dari zat-zat gizi yang berasal dari makanan (dan sebagian minuman) yang masuk kedalam tubuh. Zat-zat ini melalui proses metabolisme dikonversi menjadi energi yang siap digunakan oleh otot. Oksigen akan membantu berlangsungnya proses metabolisme, dan menghasilkan hasil sampingan berupa panas dan sisa-sisa metabolisme lainya (CO2 dan H2O) yang akan dikeluarkan dari tubuh. Rangkaian proses ini dapat dianalogikan sebagai kerja sebuah mobil. Agar mesin dapat berjalan, dibutuhkan bensin yang berfungsi sebagai “zat gizi”.

Dengan adanya oksigen, tekanan, serta panas di ruangan pembakaran, kemudian terjadi ledakan (proses “metabolisme”) yang menggerakan piston “otot” kemudian melalui proses mekanik (putaran roda gigi, poros, roda dan sebagainya) dikonversi menjadi gerakan mobil. Proses terakhir ini mirip dengan kontraksi otot yang kemudian menggerakan tubuh saat melakukan kerja fisik. Untuk memahami proses-proses ini, perlu diketahui fungsi-fungsi yang terkait dengan produksi energi di dalam tubuh (Hardianto Iridiastadi, 2014).

1. Sistem Pernapasan

Menurut Hardianto Iridiastadi, (2014) funsi utama sistem pernafasan adalah untuk menyediakan oksigen bagi tubuh dan mengeluarkan karbon dioksida, air serta panas yang di bawa oleh darah. Secara umum, pernafasan (respirasi) terdiri atas inspirasi (pemasukan udara) dan ekpirasi (pengeluaran udara). Sistem ini memiliki hubungan yang erat dengan sistem peredaran darah (sirkulatori) yang dikontrol suatu mekanisme tersendiri, misalnya CNS (Central Nervous System) atau sistem hormonal. Sistem pernafasan dan sistem silkulatori ini bersama-sama menjamin jumlah zat gizi dan oksigen yang cukup untuk disuplai ke sel otot.

Pada saat pernafasan berlangsung, udara masuk melalui hidung yang berfungsi untuk menyaring, melembabkan, dan menghangatkan udara yang masuk ke dalam tubuh (Bridger et al., 2003). Udara yang masuk akan diteruskan melalui tengorokan menuju *trachea*, yang terbagi atas *bronchi* utama, dan selanjutnya sampai ke paru-paru. Di dalam paru-paru terdapat jutaan *olveoli*,yaitu kantong-kantong berukuran mikro yang bersentuhan dengan pembuluh darah kapiler. Di tempat inilah terjadi pertukaran udara (oksigen dan karbon dioksida). Berat atau ringannya aktivitas fisik akan menentukan volume udara yang mengalami pertukaran di paru-paru.

Kapasitas paru-paru dapat dilihat dari indikator utama berupa volume yang dapat berada pada paru-paru. Jumlah udara yang keluar dan masuk pada saat bernafas normal disebut sebagai volume tidal. Volume udara ekstra pada saat respirasi

secara maksimal disebut sebagai kapasitas cadangan, di mana volume udara yang masih dapat dikeluarkan dengan di akhir ekspirasi normal disebut volume cadangan ekspirasi. Gabungan volume tidal, volume cadangan inspirasi, dan volume cadangan inspirasi, dan volume cadangan ekspirasi ini dinamakan kapasitas vital. Setelah menghembuskan napas dengan kuat, di dalam paru-paru masih tersisa sejumlah volume udara yang disebut sebagai volume residual. Jumlah dari kapasitas vital dan volume udara yang disebut sebagai volume residual merupakan kapasitas paru-paru dapat diukur melalui penggunaan spirometer.

Kapasitas paru-paru seseorang umumnya berhubungan erat dengan sejumlah faktor, seperti jenis kelamin, *training*, maupun ukuran tubuh. Sebagai contoh, untuk seorang atlet pria dengan postur pria dengan postur badan tinggi, kapasitas paru-paru total dapat mencapai 7-8 liter, dengan kapasitas vital sekitar 6 liter. Wanita cenderung memiliki volume paru-paru yang lebih rendah (sampai 10%) dibandingkan pria. (Kromer et al., 2001)

2. Sistem Kardiovaskular

Sistem peredaran darah memiliki fungsi utama sebagai pembawa oksigen dari paru-paru serta berbagai zat gizi (dari makanan yang telah dicerna) untuk di edarkan ke seluruh sel tubuh di mana proses metabolisme selanjutnya berlangsung. Transportasi oksigen dimungkinkan karena adanya hemoglobin, yaitu molekul protein pada sel darah merah. Selain mengikat oksigen, hemoglobin dapat mengikat karbon monoksida terhadap karbon monoksida relatif lebih tinggi, sehingga dapat berdampak pada berkurangnya jumlah oksigen yang dapat diikat dan dibawa oleh darah. (Hardianto Iridiastadi, 2014).

Oleh karena itu, dapat dimengerti mengapa CO dianggap memiliki sifat beracun. Darah juga mengedarkan hormon, enzim, garam, serta vitamin yang diperlukan ole tubuh. Di samping fungsi utama yang telah disebutkan sebelumnya, sistem peredaran darah juga berfungsi untuk membantu membuang sisa-sisa

metabolisme, termasuk karbon dioksida, panas dan air, serta berkontribusi penting dalam mekanisme pengaturan temperatur tubuh. Dapat disimpulkan bahwa sistem ini memiliki fungsi yang sangat penting, dan berhubungan erat baik dengan sistem pernapasan maupun proses metabolisme.

Menurut Hardianto Iridiastadi, (2014) peningkatan denyut jantung terjadi tidak hanya karena adanya kenaikan beban kerja,tetapi juga dapat disebabkan oleh adanya komponen kerja statis (kontraksi isometrik). Kerja otot yang relatif statis (dengan kontraksi di atas 20% kontraksi maksimal) menyebabkan tertekannya pembuluh darah kapile, sehingga dalam beberapa saat saja, aliran darah menjadi sangat terbatas (*ischemia*) atau bahkan tertutup sama sekali. Hal ini akan berdampak pada minimnya ketersediaan oksigen serta penumpukan sisa metabolisme pada otot yang tengah bekerja. Akibatnya, rasa sakit akan mucul dan kontraksi otot terpaksa harus berakhir. Fenomena seperti ini dapat diamati, misalnya saat seseorang secara terus-menerus memegang peralatan kerja dengan posisi lengan di atas ketinggian dada.

- Denyut Nadi Kerja

  Σ = Jumlah Pengamatan (Detik) (2.8)

- Denyut Nadi Istirahat

  Σ = Jumlah Pengamatan (Detik) (2.9)

- Kardiovaskuler

  Denyut nadi maksimum = (Denyut nadi maksimum - umur) (2.10)

  Denyut nadi kerja = $\frac{10\ denyut}{waktu\ perhitungan}$ x 60

  Denyut nadi Istirahat = $\frac{10\ denyut}{waktu\ perhitungan}$ x 60

  % CVL = $\frac{100\ X\ (denyut\ nadi\ kerja - denyut\ nadi\ istirahat)}{denyut\ nadi\ maksimum - denyut\ nadi\ istirahat}$

Secara bersamaan, pengaturan juga akan dilakukan sedemikan rupa sehingga darah akan dialirkan lebih banyak kepermukaan kulit dengan tujuan untuk melepas panas. Sebaliknya, saat setelah makan, darah akan dialirkan lebih banyak ke sistem pencernaan bila dibandingkan terhadap bagian tubuh lainya. Fenomena

ini juga diatur oleh sistem saraf, sebagai fungsi dari pengontrol keasaman dan konsentrasi sisa metabolisme di dalam darah. (Hardianto Iridiastadi, 2014).