BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan untuk menunjang penyelesaian permasalahan yang akan diteliti.

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Berikut merupakan penelitian yang menjadi referensi dari penelitian ini.

1. Tuhumena, Soemoko, Wahyudi (2014) membahas tentang perbaikan postur kerja pengelasan dan desain alat bantu peralatan kerja. Perbaikan postur yang dilakukan berdasar pada hasil kuisioner *Nordic Body Map* yang disebarkan kepada pekerja yang kemudian dihitung biomekaniknya dengan bantuan *software Mannequin Pro*. Desain alat bantu peralatan kerja yang dirancang adalah meja dan *Jig, Fixture* yang membatu pekerja dalam pengelasan.
2. Pangaribuan (2010) dengan penelitian mengenai postur kerja dari pegawai perpustakaan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah RULA dan *Nordic Body Map. Nordic Body Map* digunakan untuk mengidentifikasi bagian tubuh pekerja yang mana saja yang sering mengalami kelelahan kemudian hasil dari perhitungan RULA dihubungkan dengan hasil *Nordic Body Map*. Dari perhitungan tersebut akan diketahui penyebab kelelahan yang dirasakan pegawai perpustakaan. Saran perbaikan yang diberikan berupa memberi kursi kecil bagi pegawai yang akan meletakkan buku di bagian atas sebagai alat bantu sehingga pekerja tidak perlu menjangkau terlalu jauh dan mengurangi kemungkinan keluhan MSDs yang dirasakan pegawai perpustakaan.
3. Agustina, Indra (2013) melakukan penelitian mengenai *redesign* kursi taman yang berdasar pada data antropometri orang dewasa rentang usia 20-35 tahun dan evaluasi biomekanik yang dirasakan pekerja. Data antropometri diolah dengan uji kucukupan data dan keseragaman data sebelum ditentukan persentil yang digunakan, dari nilai persentil yang ditentukan dibandingkan dengan ukuran kursi yang sebenarnya sehingga peneliti mengetahui perlu adanya perbaikan ukuran atau tidak. Setelah dilakukan desain ulang kursi taman kemudian biomekanik dari pengguna berupa gaya dan momen pada setiap sendi diukur dengan bantuan *software Mannequin Pro*. *Software Mannequin Pro* digunakan untuk mengukur biomekanika sebelum dan sesudah perbaikan kursi sehingga tahu berapa momen

dan gaya yang dikurangi dengan adanya desain ulang kursi taman tersebut. Hasil desain ulang kursi taman adalah adanya perubahan pada tinggi, panjang dan lebar alas kursi, tinggi, lebar dan sudut sandaran punggung, dan tinggi, panjang dan jarak antara sandaran tangan.

4. Prasetyo (2012) penelitian ini mengenai perancangan fasilitas kerja dengan pendekatan antropometri dan perbaikan postur kerja dengan pendekatan REBA dan pendekatan OWAS. Perbaikan fasilitas kerja yang dilakukan dengan data antropometri yang kemudian dilakukan uji keseragaman data dan uji kecukupan data. Dari data yg sudah seragam dan cukup dilakukan penentuan persentil dan dari dimensi yang ada. Sedangkan proses perbaikan postur kerja dilakukan dengan metode REBA dan OWAS yang menunjukkan adanya penurunan potensi cedera dari perbaikan postur. Sedangkan hasil dari perbaikan desain fasilitas kerja yang dilakukan pada operasi pembersihan kulit kemudian dihitung waktu proses dan *output* standar dan menghasilkan kenaikan *output* standar dari 0,0293 unit/detik menjadi 0,0329 unit/detik sedangkan untuk proses penutupan bungkus meningkat dari 0,0685 unit/detik menjadi 0,0775 unit/detik.

Penelitian saat ini menggunakan metode OWAS sebagai dasar perbaikan postur kerja yang disimulasikan pada *software mannequin pro* karena dengan metode OWAS dapat mengurangi subyektifitas pada penelitian. Perancangan desain alat bantu pada penelitian ini merupakan alat bantu baru dari yang pernah ada agar mesin *scarfing* masih bisa digunakan.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penilitian Saat Ini

Penulis (tahun)	Judul Penelitian	Metode	*Tools*	Tujuan Penelitian
Tuhumena dkk 2014	Analisis Sikap Kerja Pekerja *Manual Material Handling* UD Tetap Temangat dengan Metode Owas	*Nordic Body Map*, Biomekanika, Anthropometri	*Mannequin Pro*	Perbaikan postur kerja dan penambahan alat bantu berupa *jig and fixture* beserta desain sesuai anthropometri.
Pangaribuan 2010	Analisis *Manual Material Handling* Menggunakan *Niosh Equation*	RULA, *Nordic Body Map*	-	Perbaikan postur kerja dan memberi saran penambahan kursi kecil untuk pekerja.
Agustina dkk 2013	Identifikasi Risiko Ergonomi pada Stasiun Perakitan Daun Sirip Diffuser Di Pt X	*Nordic Body Map*, Biomekanika, Antropometri	*Mannequin Pro*	Perbaikan desain kursi taman agar pengguna tidak membentuk postur yang berpotensi MSDs.
Prasetyo 2012	Perancangan Fasilitas Kerja dengan Perbaikan Postur Kerja pada Aktivitas MMH Menggunakan Metode REBA dan OWAS	OWAS, REBA	-	Perbaikan postur kerja dan desain fasilitas kerja yang bertujuan meningkatkan *output* standar.
Dirawidya 2015	Perancangan Kerja pada Proses *Scarfing* dengan Analisis Biomekanika	OWAS, *Nordic Body Map*, Biomekanika, Anthropometri	*Mannequin Pro*	Perbaikan postur kerja dan desain alat bantu pengangkatan mesin *scarfing* untuk mengurangi beban yang diangkat pekerja dan mengurangi risiko MSDs.

2.2 *SCARFING*

Scarfing merupakan salah satu proses dalam pembuatan baja. Setelah slab baja dipotong-potong dengan las gas acetylene dan oksigen, slab diinspeksi dan permukaan dilakukan proses *grinding* atau *scarfing* untuk menghilangkan cacat permukaan. Ketika baja ingot yang keluar dari dapur baja telah memiliki temperatur yang seragam proses berikutnya bisa dilakukan pada slab, dimana permukaan slab akan dikurangi hingga panjangnya menjadi 20 ft. dan ketebalannya menjadi 4 hingga 8 in. Permukaan slab akan dicek secara perlahan dan dilakukan proses *scarfed* dengan api dari mesin *scarfing*. Pada proses ini area cacat akan terkelupas hingga slab memiliki kualitas yang baik (Toussaint, 1962:128).

Scarfing merupakan salah satu dari contoh proses pemotongan dengan menggunakan oksigen. Proses pemotongan dengan oksigen telah banyak digunakan oleh industri *engineering* di Indonesia, seperti industri perkapalan, industri kontruksi, industri pembuat desain, reprasi, dan perawatan, dan lain sebagainya. Proses ini selain dapat untuk memotong juga dapat untuk membuat kampuh sambungan las, membuat alur dan *gauging*, membersikan permukaan slab baja atau *scarfing* sebelum diroll menjadi bentuk pelat dan untuk membuat lubang atau *lancing*. Industri baja juga banyak yang menggunakan proses potong oksigen misalnya untuk potong slab atau ingot. Sedangkan slab yang akan dirol menjadi bentuk plat dibersihkan permukaannya terlebih dahulu dengan cara *scarfing*. Proses *scarfing* ini sudah dipakai sejak 1930-an, sedangkan sebelumnya orang membersihkan slab atau billet dengan menggerinda atau cara mekanik lainnya (Notonegoro, 2012:20).

Gambar 2.1 Proses *Scarfing*
Sumber: www.thyssenkrupp.com/en/presse/bilder.html

2.3 ERGONOMI

2.3.1 Pengertian Ergonomi

Ergonomi atau *ergonomics* (bahasa inggrisnya) sebenarnya berasal dari kata yunani yaitu ergo yang berarti kerja dan Nomos yang berarti hukum. Dengan demikian ergonomi dimaksudkan sebagai disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaannya (Wignjosoebroto, 2000:54). Didalam ergonomi dibutuhkan studi tentang sistem dimana manusia, fasilitas kerja dan lingkungannya saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusianya. Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (desain) ataupun rancang ulang (re-desain). Hal ini dapat meliputi perangkat keras seperti misalnya perkakas kerja (*tools*), bangku kerja (*benches*), platfrom, kursi, pegangan alat kerja (*workholders*), sistem pengendali (*controls*), alat peraga (*displays*), jalan/lorong (*acces ways*), pintu (*doors*), jendela (*windows*), dan lain-lain. (Nurmianto, 2003:1)

Pendekatan khusus dalam disiplin ergonomi ialah aplikasi sistematis dari segala informasi yang relevan yang berkaitan dengan karakteristik dan perilaku manusia dalam perancangan peralatan, fasilitas dan lingkungan kerja yang dipakai. Analisis dan penelitian ergonomi meliputi hal-hal yang berkaitan tentang:

1. Anatomi (struktur), fisiologi (bekerjanya), dan antropometri (ukuran) tubuh manusia.
2. Psikologi dan fisiologis mengenai berfungsinya otak dan sistem syaraf yang berperan dalam tingkah laku manusia.
3. Kondisi-kondisi kerja yang dapat mencederai baik dalam waktu yang pendek maupun panjang ataupun membuat celaka manusia dan sebaliknya kondisi-kondisi kerja yang membuat nyaman kerja manusia

   (Suhadri, 2007:III-2).

Dalam lapangan kerja, ergonomi ini juga mempunyai peranan yang cukup besar. Semua bidang pekerjaan selalu menggunakan ergonomi. Ergonomi ini diterapkan pada dunia kerja supaya pekerja merasa nyaman dalam melakukan pekerjaannya. Dengan adanya rasa nyaman tersebut maka produktivitas kerja diharapkan menjadi meningkat. Secara garis besar ergonomi dalam dunia kerja akan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Bagaimana orang mengerjakan pekerjaanya.
2. Bagaimana posisi dan gerakan tubuh yang digunakan.

3. Peralatan apa yang mereka gunakan.
4. Apa efek dari faktor-faktor diatas bagi kesehatan dan kenyamanan pekerja (Suhadri, 2007:III-3).

2.3.2 Anthropometri

Istilah Anthropometri berasal dari kata ”anthro” yang berarti manusia dan “metri” yang berarti ukuran. Secara definisi anthropometri dapat dinyatakan sebagai suatu studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia. Manusia pada dasarnya akan memiliki bentuk, ukuran, berat yang lain dan berbeda satu dengan lainnya (Wignjosoebroto, 2003:65). Selain itu anthropometri menurut Stevenson (1989) dan Nurmianto (1991) adalah satu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia ukuran, bentuk, dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain. Penerapan data anthropometri ini akan dapat dilakukan jika tersedia nilai mean (rata-rata) dan SD (Standar Deviasi) dari suatu distribusi normal. Perhitungan persentil menjadi bagian terpenting didalam anthropometri karena memiliki kajian yang erat dengan jumlah populasi. Tabel 2.2 merupakan ketentuan dari perhitungan persentil di dalam anthropometri.

Tabel 2.2 Tabel Persentil

Persentil	Rumus
1	x – 2,325 SD
2,5	x – 1,960 SD
5	x – 1,645 SD
10	x – 1,280 SD
50	X
90	x + 1,280 SD
95	x + 1,645 SD
97,5	x + 1,960 SD
99	x + 2,325 SD
X = nilai rata-rata	SD = Standar Deviasi

Sumber: Wigjosoebroto (2003:67)

Dalam anthropometri yang menyajikan data ukuran dari berbagai macam anggota tubuh manusia dalam persentil tertentu sangat besar manfaatnya untuk merancang suatu produk atau fasilitas kerja yang akan dibuat. Agar rancangan suatu produk yang akan dioperasikan nantinya sesuai dengan ukuran tubuh manusia, maka prinsip-prinsip yang harus diambil dalam aplikasi anthropometri tersebut harus ditetapkan terlebih dahulu seperti diuraikan sebagai berikut (Wignjosoebroto, 1995; 67):

1. Prinsip perancangan produk bagi individu dengan ukuran yang ekstrim.

Disini rancangan produk dibuat agar bisa memenuhi 2 (dua) sasaran produk, yaitu:

a. Sesuai untuk ukuran tubuh manusia yang mengikuti klasifikasi ekstrim dalam arti terlalu besar atau terlalu kecil bila dibandingkan rata-ratanya.
b. Tetap bisa digunakan untuk memenuhi ukuran tubuh yang lain (mayoritas dari populasi yang ada).

Agar bisa memenuhi sasaran pokok tersebut maka ukuran yang diaplikasikan ditetapkan dengan cara:

a. Untuk dimensi minimum yang harus ditetapkan dari suatu rancangan produk umumnya didasarkan pada nilai *percentile* yang tersebar seperti 90-th,95-th atau 99-th *percentile*. Contontohnya seperti pada penetapan ukuran minimal dari lebar dan tinggi dari pintu darurat, dll.
b. Ukuran dimensi maksimum yang harus ditetapkan diambil berdasarkan nilai *percentile* yang paling rendah (1-th, 5-th, 10-th *percentile*) dari distribusi data anthropometri yang ada. Contohnya pada penetapan jarak jangkau dari suatu mekanisme kontrol yang harus dioperasikan oleh seorang pekerja.

   Secara umum aplikasi data anthropometri untuk perancangan produk ataupun fasilitas kerja akan menetapkan nilai 5-th *percentile* untuk dimensi maksimum dan 95-th untuk dimensi minimumnya.

   (Wignjosoebroto, 1995; 68)

2. Prinsip perancangan produk yang bisa dioperasikan di antara rentang ukuran tertentu.

   Di sini rancangan bisa dirubah-ubah ukurannya sehingga cukup fleksibel dioperasikan oleh setiap orang yang memiliki berbagai macam ukuran tubuh. Contoh yang paling umum dijumpai adalah perancangan kursi mobil yang mana dalam hal ini letaknya bisa digeser maju/mundur dan sudut dan sandarannyapun bisa dirubah-ubah sesuai dengan yang diinginkan. Dalam kaitannya untuk mendapatkan rancangan yang fleksibel, semacam ini maka data anthropometri yang umum diaplikasikan adalah dalam rentang nilai 5-th s/d 95-th *percentile*.

3. Prinsip perancangan produk ukuran rata-rata.

   Dalam hal ini rancangan produk didasarkan terhadap rata-rata ukuran manusia. Problem pokok yang dihadapi dalam hal ini justri sedikit sekali mereka yang berbeda dalam ukuran rata-rata. Di sini produk dirancang dan dibuat untuk

mereka yang berukuran sekitar rata-rata, sedangkan bagi mereka yang memiliki ukuran ekstrim akan dibuatkan rancangan tersendiri.

Berkaitan dengan aplikasi data anthropometri yang diperlukan dalam proses perancangan produk ataupun fasilitas kerja, maka ada beberapa saran/rekomendasi yang bisa diberikan sesuai dengan langkah-langkah seperti berikut:

1. Pertama kali terlebih dahulu harus ditetapkan anggota tubuh yang mana yang nantinya akan difungsikan untuk mengoperasikan rancangan tersebut.
2. Tentukan dimensi tubuh yang penting dalam proses perancangan tersebut; dalam hal ini juga perlu diperhatikan apakah harus menggunakan data *structural body dimension* ataukah *functional body dimension*.
3. Selanjutnya tentukan populasi terbesar yang harus diantisipasi, diakomodasikan dan menjadi target utama pemakai rancangan produk tersebut. Hal ini lazim dikenal sebagai "*market segmentation*" seperti produk mainan untuk anak-anak, peralatan rumah tangga untuk wanita, dll.
4. Tetapkan prinsip ukuran yang harus diikuti semisal apakah rancangan tersebut untuk ukuran individual yang ekstrim, rentang ukuran yang fleksibel (*adjustable*) ataukah ukuran rata-rata.
5. Pilih prosentase populasi yang harus diikuti; 90-th, 95-th, 99-th ataukah nilai *percentile* yang lain yang dikehendaki.
6. Untuk setiap dimensi tubuh yang telah diidentifikasikan selanjutnya pilih/tetapkan nilai ukurannya dari tabel data anthropometri yang sesuai. Aplikasikan data tersebut dan tambahkan faktor kelonggaran (*allowance*) bila diperlukan seperti halnya tambahan ukuran akibat faktor tebalnya pakaian yang harus dikenakan oleh operator, pemakaian sarung tangan (*gloves*), dan lain-lain.

   (Wignjosoebroto, 1995; 69)

2.4 *MUSCULOSKELETAL DISORDER* (MSD)

2.4.1 Pengertian *Musculoskeletal Disorder* (MSD)

Musculoskeletal disorder (MSDs) adalah gangguan dalam struktur tubuh, seperti otot, sendi, tendon, ligamen, saraf atau sistem sirkulasi darah, yang disebabkan oleh kinerja kerja dan disebabkan oleh lingkungan pekerjaan tersebut (Podniece, 2007:7). Keluhan *musculoskeletal* adalah keluhan sakit, nyeri, pegal-pegal dan lainnya pada sistem otot (*musculoskeletal*) seperti tendon, pembuluh darah, sendi, tulang, syaraf dan

lainnya yang disebabkan oleh aktivitas kerja. Pekerjaan dengan beban yang berat dan perancangan alat yang tidak ergonomis pada pekerja pabrik mengakibatkan pengerahan tenaga yang berlebih dan postur yang salah seperti memutar dan membungkuk menyebabkan risiko terjadinya *Musculoskeletal disorder* (MSDs) dan kelelahan dini (Sarmauly, 2009:I.1). Keluhan *musculoskeletal* sering juga dinamakan *Musculoskeletal disorder* (MSDs), *Repetitive Strain Injuries* (RSI), *Cumulative Trauma Disorders* (CTD) dan *Repetitive Motion Injury* (RMI)**.**

Secara garis besar keluhan otot dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu :

1. Keluhan sementara (*reversible*) yaitu keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun demikian keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan.
2. Keluhan menetap (*persistent*) yaitu keluhan otot yang bersifat menetap, walaupun pembebanan kerja telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot terus belanjut.

CTD dapat digolongkan sebagai penyakit akibat kerja, apabila dapat dibuktikan terdapat pemaparan dari dua atau lebih faktor risiko ergonomi di tempat kerja. Ada beberapa faktor risiko untuk terjadinya CTD yaitu:

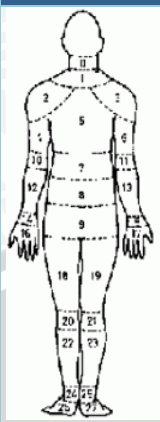
1. Terdapat postur atau sikap tubuh yang janggal
2. Gaya yang melebihi kemampuan jaringan
3. Lamanya waktu pada saat melakukan posisi janggal
4. Frekuensi siklus gerakan denga postur janggal permenit

(Suhadri 2008:III-7)

2.4.2 *Nordic Body Map*

Nordic body map merupakan metode yang dilakukan dengan menganalisis peta tubuh yang ditujukan pada tiap bagian tubuh. Kuesioner *Nordic Body Map* merupakan salah satu bentuk kuesioner *checklist* ergonomi. Berntuk lain dari *checklist* ergonomi adalah *checklist International Labour Organizatin* (ILO). Kuesioner *Nordic Body Map* adalah kuesioner yang paling sering digunakan untuk mengetahui ketidaknyamanan pada para pekerja karena sudah terstandarisasi dan tersusun rapi (Kroemer, 2001:339). Dengan melihat dan menganalisis peta tubuh (*nordic body map*) akan dapat diestimasi jenis dan tingkat keluhan otot *skeletal* atau *Musculoskeletal disorder* yang dirasakan oleh pekerja. Melalui *nordic body map* dapat diketahui bagian-bagian otot yang mengalami keluhan dengan tingkat keluhan mulai dari rasa tidak nyaman (agak sakit) sampai tingkat yang sangat sakit (Tarwaka, 1985).

Tabel 2.3 *Nordic Body Map*

Otot Skeletal	Skoring				NBM	Otot Skeletal	Skoring			
	1	2	3	4			1	2	3	4
0. Leher atas						1. Tengkuk				
2. Bahu kiri						3. Bahu kanan				
4. Lengan atas kiri						5. Punggung				
6. Lengan atas kanan						7. Pinggang				
8. Pinggul						9. Pantat				
10. Siku kiri						11. Siku kanan				
12. Lengen bawah kiri						13. Lengan bawah kanan				
14. Pergelangan tangan kiri						15. Pergelangan tangan kanan				
16. Tangan kiri						17. Tangan kanan				
18. Paha kiri						19. Paha kanan				
20. Lutut kiri						21. Lutut kanan				
22. Betis kiri						23. Betis kanan				
24. Pergelangan kaki kiri						25. Pergelangan kaki kanan				
26. Kaki kiri						27. Kaki kanan				
TOTAL SKOR KANAN						**TOTAL SKOR KIRI**				
TOTAL SKOR MSDs= TOTAL SKOR KANAN + TOTAL SKOR KIRI										

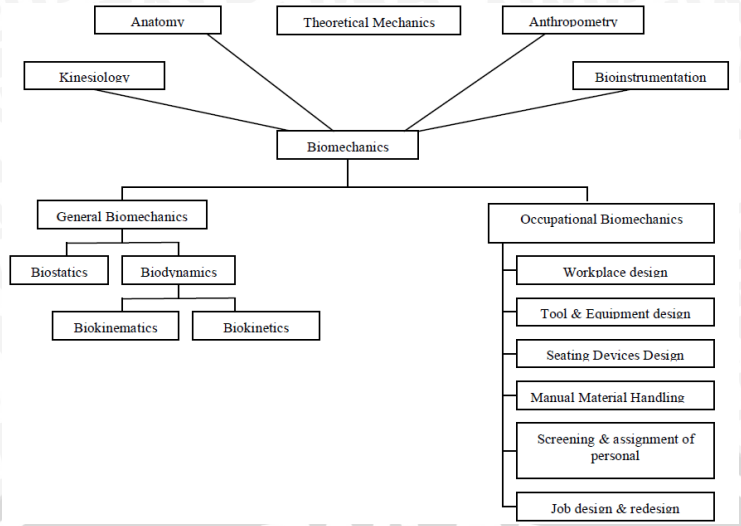
Sumber: Wirabuana (2013)

Metode ini dilakukan dengan memberikan penilaian subjektif pada pekerja. Tabel 2.3 merupakan contoh dari kuisioner yang berdasar pada standar pembagian bagian tubuh *Nordic Body Map*. Tingkat Skor pada kuisioner ini sesuai dengan Tabel 1.2, dan sedangkan hasilnya sesuai dengan Tabel 1.3.

2.5 BIOMEKANIKA

Biomekanika adalah ilmu yang menggunakan hukum-hukum fisika dan konsep-konsep mekanika untuk mendeskripsikan gerakan dan gaya pada berbagai macam bagian tubuh ketika melakukan aktifitas. *Mannequin Pro* merupakan salah satu program aplikasi komputer biomekanika yang menggunakan gambar dan rancangan ergonomi sebagai *input* untuk menggambarkan tentang dimensi (anthropometri) manusia (Tamara 2013:5).

Biomekanika merupakan salah satu dari empat bidang penelitian informasi hasil ergonomi. Yaitu penelitian tentang kekuatan fisik manusia yang mencakup kekuatan atau daya fisik manusia ketika bekerja dan mempelajari bagaimana cara kerja serta peralatan harus dirancang agar sesuai dengan kemampuan fisik manusia ketika melakukan aktivitas kerja tersebut. Dalam biomekanik ini banyak disiplin ilmu yang mendasari dan berkaitan untuk dapat menopang perkembangan biomekanika. Disiplin ilmu ini tidak terlepas dari kompleksnya masalah yang ditangani oleh biomekanika ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat bagan (Gambar 2.2) di bawah ini:



Gambar 2.2 Diagram Ilmu Biomekanika
Sumber: Contini dan Drill (1996)

Meskipun kemajuan teknologi telah banyak membantu aktifitas manusia, tetap saja ada beberapa pekerjaan manual yang tidak dapat dihilangkan dengan pertimbangan biaya maupun kemudahan. Pekerjaan ini membutuhkan usaha fisik sedang hingga besar dalam durasi waktu kerja tertentu, misalnya penanganan atau pemindahan material secara manual. Usaha fisik ini banyak mengakibatkan kecelakaan kerja ataupun *low back pain*, yang menjadi isu besar di negara-negara industri belakangan ini. Oleh karenanya para ergonom hendaklah memperhatikan hal-hal seperti berikut untuk sedapat mungkin dihindari (Nurmianto, 1996):

1. Beban otot statis (*static muscle loads*).
2. Oklusi (penyumbatan aliran darah) karena tekanan, misalnya tekanan segi kursi pada popliteal (lipat lutut).
3. Bekerja dengan lengan berada di atas yang menyebabkan siku aliran darah bekerja berlawanan dengan arah gravitasi.

2.5.1 Konsep Biomekanika

Dalam penggunaannya biomekanika diklasifikasikan menjadi 2, yaitu :

1. *General Biomechanic*

   General Biomechanic adalah bagian dari Biomekanika yang berbicara mengenai hukum–hukum dan konsep–konsep dasar yang mempengaruhi tubuh *organic* manusia baik dalam posisi diam maupun bergerak. Dibagi menjadi 2, yaitu:

   a. *Biostatics* adalah bagian dari biomekanika umum yang hanya menganalisis tubuh pada posisi diam atau bergerak pada garis lurus dengan kecepatan

seragam (uniform). Beban otot statis terjadi ketika postur tubuh berada pada kondisi yang tidak natural, peralatan maupun material ditahan pada kondisi yang berlawanan dengan arah gravitasi. (Nurmianto, 2003:19)

b. *Biodinamic* adalah bagian dari biomekanik umum yang berkaitan dengan gambaran gerakan–gerakan tubuh dengan mempertimbangkan gaya yang terjadi (kinematik) dan gerakan yang disebabkan gaya yang bekerja dalam tubuh (kinetik).
(Hall, 2003:3)

2. *Occupational Biomechanic.*

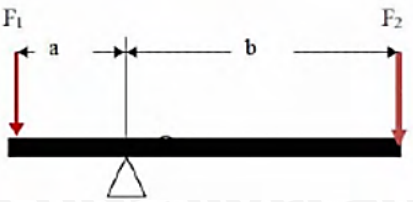
Didefinisikan sebagai bagian dari biomekanika terapan yang mempelajari interaksi fisik antara pekerja dengan mesin, material dan peralatan dengan tujuan untuk meminimumkan keluhan pada sistem kerangka otot agar produktifitas kerja dapat meningkat. Dalam biomekanika ini banyak melibatkan bagian bagian tubuh yang berkolaborasi untuk menghasilkan gerak yang akan dilakukan oleh organ tubuh yakni kolaborasi antara tulang

2.5.2 Analisis Gerak Biomekanika

2.5.2.1 Prinsip-Prinsip Mekanik

Prinsip biomekanik yang berhubungan dengan tindakan dari kekuatan fisik pada tubuh manusia dan yang digunakan. Kekuatan adalah tindakan dari bagian tubuh atau lainnya yang cenderung merubah bentuk gerak dari bagian tubuh berikutnya. Dalam hukum Newton ketiga setiap kekuatan gerakan terdapat kesamaan dan reaksi kekuatan yang bertolak belakang.

Jika konsep kekuatan vector dari diagram bagian tubuh bebas dikombinasikan dan hubungan kuantitatif dari beberapa kekuatan bertindak secara simultan. Maka analisis masalah *leg braces* adalah dengan asumsi tubuh dalam keadaan *equilibrium* saat sedang menggunakan, dan momen kekuatan cenderung untuk memproduksi rotasi tubuh mengenai poin referensi. Tiap-tiap besarannya adalah produk dikali jarak tegak lurus dari garis arah kekuatan menuju poin referensi. Pertimbangan batang keseimbangan dari jungkat-jungkit. Jika kekuatan F_2 ditetapkan pada jarak b, rotasi batang searah jarum jam dan sebaliknya. Jika kekuatan F_2 dan jarak dari b meningkat, kecenderungan rotasi meningkat secara proporsional. Kekuatan diukur dengan *pons* dan jarak *feet*, moment ditunjukan dalam *lb-ft* searah jarum jam dan sebaliknya.



Gambar 2.3 Kekuatan Momen
Sumber: Radcliffe dan Foort, 1961

2.5.2.2 Keseimbangan Gerakan Manusia

Hall (1999) menyebutkan bahwa keseimbangan merupakan karakteristik keadaan dimana terjadi keseimbangan (*equilibrium*) gaya dan torsi (moment gaya) pada tubuh manusia. Berdasarkan hukum Newton pertama, tubuh dalam kondisi seimbang ketika dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan. Ketika tubuh dalam keadaan diam (sewaktu berdiri dengan satu kaki atau berdiri di atas papan keseimbangan) hal ini disebut sebagai *static equilibrium*. Tiga kondisi yang harus dipenuhi tubuh untuk mencapai kondisi *static equilibrium* sebagai berikut:

1. Jumlah total gaya *vertical* yang terjadi pada tubuh sama dengan nol.
2. Jumlah total gaya *horizontal* yang terjadi pada tubuh sama dengan nol.
3. Jumlah total torsi/moment harus sama dengan nol.

$$\sum F_x = 0$$
$$\sum F_y = 0 \qquad (2\text{-}1)$$
$$\sum T = 0$$

Dengan , F_x = Gaya Horizontal (N)
F_y = Gaya Vertikal (N)
T = Torsi (Nm)

2.5.2.3 Gaya

Gaya dapat diartikan sebagai sebuah dorongan atau tarikan pada suatu benda. Gaya dapat menyebabkan suatu benda bergerak dengan arah dan percepatan tertentu. Setiap gaya mempuntai karakteristik berupa besaran dan arah tertentu. Gaya didefinisikan sebagai hasil perkalian antara massa dengan percepatan (Hall, 1999). Satuan dasar dari gaya berdasarkan *metric* adalah Newton (N).

$$F = m \times a \qquad (2\text{-}2)$$

Dengan, F= gaya (N)
m = massa (g)
a = percepatan (km/s^2)

2.5.2.4 Momen Puntir (*Torque*)

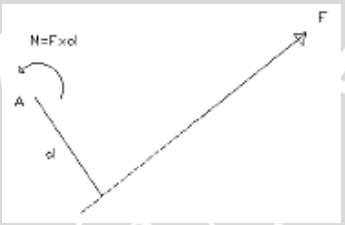
Selain bergerak sesuai arah bekerjanya, benda cenderung untuk memutar dalam suatu sumbu. Perputaran benda tersebut dikarenakan adanya gaya yang menyebabkan perpindahan, atau disebut torsi. Torsi yang juga dikenal sebagai putaran (momen gaya) merupakan hasil kali antara gaya dan lengan gaya.

$$T = M = F \times d \quad (2\text{-}3)$$

Dengan, F = Gaya (N)

d = Lengan momen (m)

T = Momen (Nm)



Gambar 2.4 Momen
Sumber: Radcliffe dan Foort, 1961

Torsi merupakan besaran vector, sehingga selain mempunyai besar torsi juga mempunyai arah. Suatu vector T mempunyai arah tegak lurus terhadap bidang benda. Arah tergantung pada arah berputarnya benda akibat gaya F dan d yang merupakan jarak gaya dari titik acuan. Apabila arah rotasi berlawanan putaran jarum jam, maka torsi bernilai negative. Sebaliknya, apabila arah rotasi searah jarum jam, maka arah torsi bernilai positif. Untuk menentukan torsi kita menggunakan aturan kaidah tangan kanan.

Dalam tubuh manusia, torsi dibangkitkan oleh otot di persendian yang merupakan hasil gaya yang bereaksi di otot dengan jarak garis gaya otot dengan pusat persendian tersebut. Saat *joint* bergerak pada suatu jarak tertentu, terjadi perubahan momen gaya pada otot yang melintasi persendian. Perubahan pada momen secara langsung akan menyebabkan *joint torque* yang dibangkitkan oleh otot.

2.5.2.5 Impuls

Impuls adalah hasil perkalian gaya ($\vec{F}$) dan interval waktu (Δt) di mana gaya bekerja, impuls adalah besaran vektor yang arahnya sama dengan arah gaya. Satuannya dalam SI adalah N.det. Berikut merupakan rumus impuls:

Impuls = (gaya) (lamanya gaya bekerja)

Impuls ada yang menyebabkan perubahan momentum. Perubahan momentum yang dihasilkan oleh suatu impuls sama dengan impuls baik besar maupun arah. Jadi,

jika suatu gaya konstan $\vec{F}$ yang bekerja untuk suatu waktu (Δt) pada suatu benda dengan massa m mengubah kecepakatn dari nilai awal $\vec{V_i}$ menjadi nilai akhir $\vec{V_f}$, maka

Impuls = perubahan momentum

$\vec{F}\,\Delta t = m\,(\vec{v_f} - \vec{v_i}\,)$ (2-4)

Hukum kedua newton, sebagaimana disampaikannya, adalah $\vec{F} = \Delta\vec{p} / \Delta t$ sehingga $\vec{F}\,\Delta t = \Delta\vec{p}$. Lebih lanjut $\vec{F}\,\Delta t = \Delta(m\,\vec{v}\,)$ dan jika m adalah konstan, $\vec{F}\,\Delta t = m\,(\vec{v_f} - \vec{v_i}\,)$. (Bueche dan Hecht, 2006:62)

2.5.2.6 Pegas

Gaya pemulih adalah gaya yang berlawanan dengan perpindahan sistem; yang merupakan hal yang penting agar getaran terjadi. Dengan kata lain, sebuah gaya pemulih selalu berarah sedemikian sehingga mendorong atau menarik sistem kembali pada posisi kesetimbangan (diam normal). Untuk suatu massa pada ujung pegas, pegas yang teregang menarik massa kembali pada posisi kesetimbangan, sementara pegas yang tertekan mendorong massa kembali pada posisi kesetimbangan (Bueche dan Hecht, 2006:90).

Sistem Hookean (pegas, kawat, batang, dll.) adalah sistem yang kembali pada konfigurasi awalnya setelah berubah bentuk dan kemudian dilepaskan. Lebih lanjut, ketika sistem semacam ini diregangkan dengan jarak x (untuk penekanan, x adalah negatif), gaya pemulih yang ditimbulkan pegas ditentukan oleh Hukum Hooke

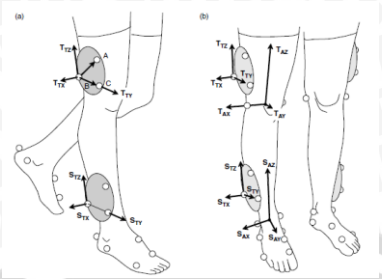
$$F = -k\,x \quad (2\text{-}5)$$

Tanda minus mengindikasi bahwa gaya pemulih selalu berlawanan arah dengan perpindahan. Konstanta pegas (atau konstanta elastis) k memiliki satuan N/m dan merupakan ukuran kekuatan pegas. Sedangkan besar pegas mengikuti Hukum Hooke untuk perubahan-perubahan bentuk yang kecil. Seringkali berguna untuk menyatakan Hukum Hooke dalam bentuk F_{eks}, gaya eksternal untuk meregang pegas sejauh x. Gaya ini adalah bentuk negatif dari gaya pemulih (Bueche dan Hecht, 2006:90-91).

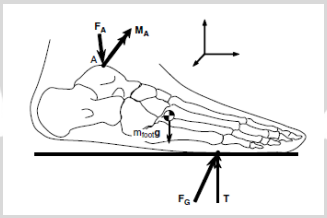
2.5.2.7 *Free Body* Diagram (FBD)

Salah satu *tools* yang dapat digunakan untuk pemecahan masalah biomekanika adalah *free body diagram* (FB Diagram). FB Diagram merupakan penyederhanaan suatu postur tubuh menjadi perhitungan fisika sehingga lebih mudah untuk dicari gaya-gaya

yang terlibat dan besarnya gaya (Suryo,2013). Berikut ini adalah contoh penerapan FB Diagram pada tungkai bawah:



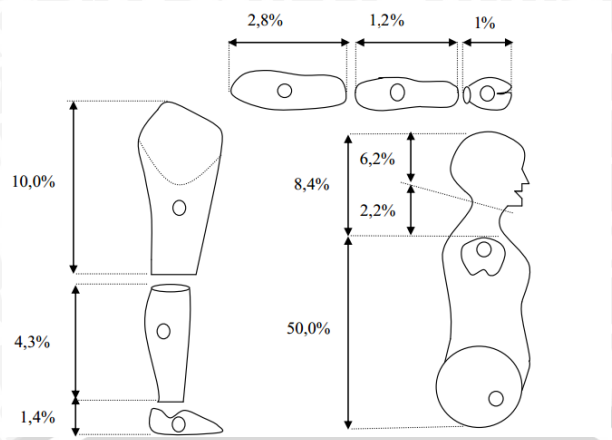
Gambar 2.5 *Free Body* Diagram Segmen Tungkai Bawah



Gambar 2.6 *Free Body* Diagram Segmen Telapak Kaki

Pada Gambar 2.5 tungkai bawah titik koordinat tubuh pada segmen paha memperngaruhi gaya pada lutut dan tulang kering (betis) mempengaruhi arah gaya pada pergelangan kaki (*ankle*). Besarnya vector pada titik B ke A dan B ke C menghasilkan gaya yang tegak lurus terhadap segmen lutut dan pergelangan kaki. Pada paha, vector satuan T_{TX} dan T_{TY} akan didapatkan nilai orthogonal ketiga koordinat arah T_{TZ}.. Sama hal nya dengan tulang kering (betis) koordinat dapat dihitung S_{TX}, S_{TY}, dan S_{TZ}. Gambar 2.6 merupakan penerapan FB diagram pada segmen pergelangan kaki. Beberapa gaya yang terlibat adalah beban pada titik A yang menimbulkan gaya F_A, dan gaya angkat pada M_A sedangkan, berat segmen pada titik $m_{foot.g}$ yang menimbulkan gaya T, dan gaya angkat pada titik F_g. Sehingga pada FB diagram yang terlibat adalah panjang segmen, massa segmen dan pusat massa segmen.

Pada perhitungan berat segmen dalam satuan Newton didapatkan dengan cara mengalikan massa segmen dengan gravitasi sebesar 10 m/s^2. Massa segmen didapatkan dengan pemodelan Dempster. Presentase massa segmen ditentukan berdasarkan pemdoelan distribusi berat tubuh. Berdasarkan tabel distribusi massa segmen tubuh dibawah total massa untuk anggota gerak bagian bawah adalah sebesar 15.70 % dari massa tubuh total setiap manusia. Dengan klasifikasi paha sebesar 10,0 %, betis sebesar 4,3 % dan kaki sebesar 1,4 %. Sehingga pada penelitian ini, pengolahan data biomekanika akan menggunakan ketentuan distribusi massa segmen anggota gerak bagian bawah dibawah.



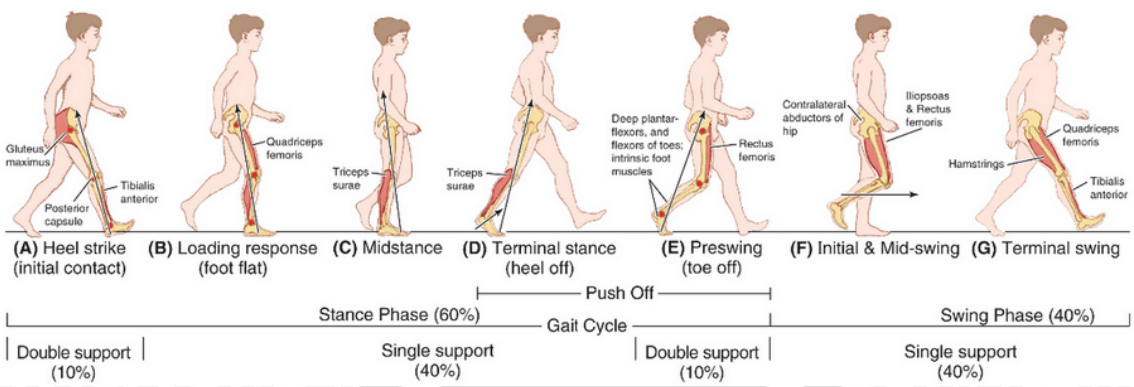
Gambar 2.7 Presentase Massa Segmen Tubuh

Pada perhitungan pusat massa segmen didapatkan dengan cara mengalikan panjang segmen dengan presentase *counter of mass* yang diadopsi dari penelitian Dempster (1955). Berikut ini adalah gambar presentase *center of mass.* Pada saat menentukan besarnya gaya yang bekerja, diperlukan ketentuan pusat massa paha, betis dan kaki. *Dempster* telah memberikan ketentuan pada pusat massa dari setiap segmen tubuh manusia. Dimana, pusat massa paha sebesar 10,0 %, betis sebesar 4,3 % dan kaki sebesar 1,4 %.

2.5.2.8 Fase Berjalan

Terdapat dua fase saat berjalan yaitu fase berdiri dan fase berayun seperti pada Gambar 2.8. Fase berdiri (*stance phase)* merupakan bagian siklus dimana tungkai acuan berkontak dengan lantai, fase ini terbagi menjadi fase *heel strike, foot flat, flexion at the knee* atau *midstance, heel off,* dan *toe off* fase ini merupakan 60% bagian dari *walking cycle*. Fase berayun (*swing phase*) merupakan bagian siklus dimana tungkai acuan tidak menyentuh lantai dan kaki berayun, fase ini merupakan 40% bagian dari *walking cycle*. Persentase tersebut dapat berubah saat menaiki tangga dan menuruni, berlari, melompat, dan aspek-aspek gerakan saat melompat (Andrian, 2001: 181).

Fase berdiri meliputi *heel strike, foot flat, midstance, heel off* dan *toe off.* Fase ayunan meliputi awal percepatan kaki seperti saat kaki diangkat dari tanah dan berat badan berpusat di atas kaki yang lain. Berayun dari *non-weight-bearing leg* dan melambat saat dalam persiapan untuk *heel strike* yang terdiri dari bagian-bagian lain dari fase ayunan (Andrian, 2001: 181).



Gambar 2.8 Fase Berdiri dan Berayun
Sumber: www.lookfordiagnosis.com

2.5.3 Postur Kerja

Postur kerja menjadi suatu bahan yang menarik untuk dikaji, hal ini terbukti dengan munculnya berbagai metode analisis postur. Perjalanan metode analisis postur diawali dengan diaplikasikannya metode OWAS. Pada tahun 1977 metode OWAS telah diaplikasikan di perusahaan besi baja *Ovako Oy Finlandia*. *Institute of Occupational Health* menganalisis postur seluruh bagian tubuh dengan posisi duduk dan berdiri. Tahun 1981, *National Institute of Occupational Safety and Health* menemukan metode NIOSH yang mengalisis postur berdasarkan gaya kompresi yang dihasilkan dan merekomendasikan beban yang aman untuk dikerjakan. Kemudian pada tahun 1995 muncul metode *Rapid Entire Body Assesment* (REBA) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) pada tahun 1993. Metode RULA diperkenalkan oleh Dr. Lynn Mc Atamney dan Dr. Nigel Corlett yang merupakan ergonom dari universitas di Nottingham (*University of Nottingham's Institute of Occupational Ergonomics*). Metode ini menganalisis postur tubuh bagian atas secara detail (sudut-sudut yang dibentuk oleh postur kerja). Tulisan ini akan menganalisis dan mengevaluasi metode-metode tersebut dengan membandingkan *input*, proses, *output*, aplikasinya di dunia industri.

Analisis postur kerja untuk meminimalisasi terjadinya cedera pada punggung atau *Low Back Pain* (LBP) telah dilakukan dengan berbagai metode, yaitu Metode OWAS, NIOSH, REBA dan RULA. Keempat metode tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi postur kerja, menentukan apakah postur yang dilakukan sudah aman dan nyaman serta memberikan rekomendasi perbaikan postur kerja. Rekomendasi ditunjukkan dengan menentukan klasifikasi postur, sudah termasuk aman atau belum kemudian tindakan apa yang perlu dilakukan

2.5.3.1 *Ovako Working Postural Analysis System* (OWAS)

OWAS adalah suatu metode analisis postur kerja dengan melakukan evaluasi postur kerja yang mengakibatkan cedera *musculoskeletal* (Suhadri 2007:24). Metode OWAS telah diaplikasikan pada tahun tujuh puluhan di perusahaan besi baja di Finlandia. *Institute of Occupational Health* menganalisis postur seluruh bagian tubuh dengan posisi duduk dan berdiri. Analisis dilakukan pada seluruh bagian tubuh pada posisi duduk dan berdiri. Input metode OWAS adalah sebagai berikut:

1. Data postur punggung
2. Data postur lengan
3. Data postur kaki
4. Data berat beban yang diangkat.

1. < 10 kg 2. 10 - 20 kg 3. > 20 kg

BACK	ARMS	1			2			3			4			5			6			7			LEGS
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	USE OF FORCE
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4	
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1	
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	

Nilai Kategori	Aksi Kategori
1	Tidak perlu dilakukan perbaikan
2	Perlu dilakukan perbaikan
3	Perbaikan perlu dilakukan secepat dan / atau sesegera mungkin
4	Perbaikan perlu dilakukan sekarang juga

Gambar 2.9 Tabel OWAS
Sumber: Pearson (2012)

OWAS menganalisis postur seluruh tubuh namun tidak secara detail, faktor sudut yang dibentuk oleh postur pada aktivitas MMH tidak diperhatikan, pemakaian tenaga

otot statik atau repetitif juga belum dianalisis. Hal tersebut merupakan kekurangan metode OWAS.

2.5.4 *Manual Material Handling* (MMH)

Pemindahan bahan secara manual apabila tidak dilakukan secara ergonomis akan menimbulkan kecelakaan dalam industry. Kecelakaan industry (*industrial accident*) yang disebut sebagai "*Over exertion-lifting and carrying*" yaitu kerusakan jaringan tubuh yang diakibatkan oleh beban angkat yang berlebih. Rasa nyeri yang kronis (*injury*) ini membutuhkan penyembuhan yang cukup lama. Disamping itu biaya yang dikeluarkan merupakan bagian yang dominan dari keseluruhan biaya kecelakaan (Nurmianto, 2003:147).

Faktor yang berpengaruh terhadap timbulnya nyeri punggung *(back injury),* adalah arah beban yang akan diangkat dan frekuensi aktivitas pemindahan. Usaha-usaha untuk mengurangi hal tersebut adalah dengan cara mengadakan pelatihan, pendidikan dan penyuluhan tentang pengaruh negatifnya serta perhatian khusus pada perancangan produk yang nantinya akan dikonsumsi untuk masyarakat (Nurmianto, 2003:148). Beberapa parameter yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Beban yang harus diangkat
2. Perhitungan antara berat beban dan orangnya
3. Jarak horizontal dari beban terhadap orangnya
4. Ukuran beban yang akan diangkat (beban yang berdimensi besar akan mempunyai jarak CG *(center of gravity)* yang lebih jauh dari tubuh, dan bisa mengganggu jarak pandangnya) (Nurmianto, 2003:149).

Kebutuhan untuk mengangka secara manual (tanpa alat) haruslah benar-benar diteliti secara ergonomis. Penelitian ini akan mengakibatkan adanya standarisasi dalam aktifitas angkat manusia. *Standard* kemampuan angkat tersebut tidak hanya meliputi arah beban, akan tetapi berisi pula tentang ketinggian dan jarak operator terhadap beban yang akan diangkat. Akhirnya, pelatihan dalam mengangkat beban dan metode angkat terbaik haruslah diimplementasikan (Nurmianto, 2003:150).