

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

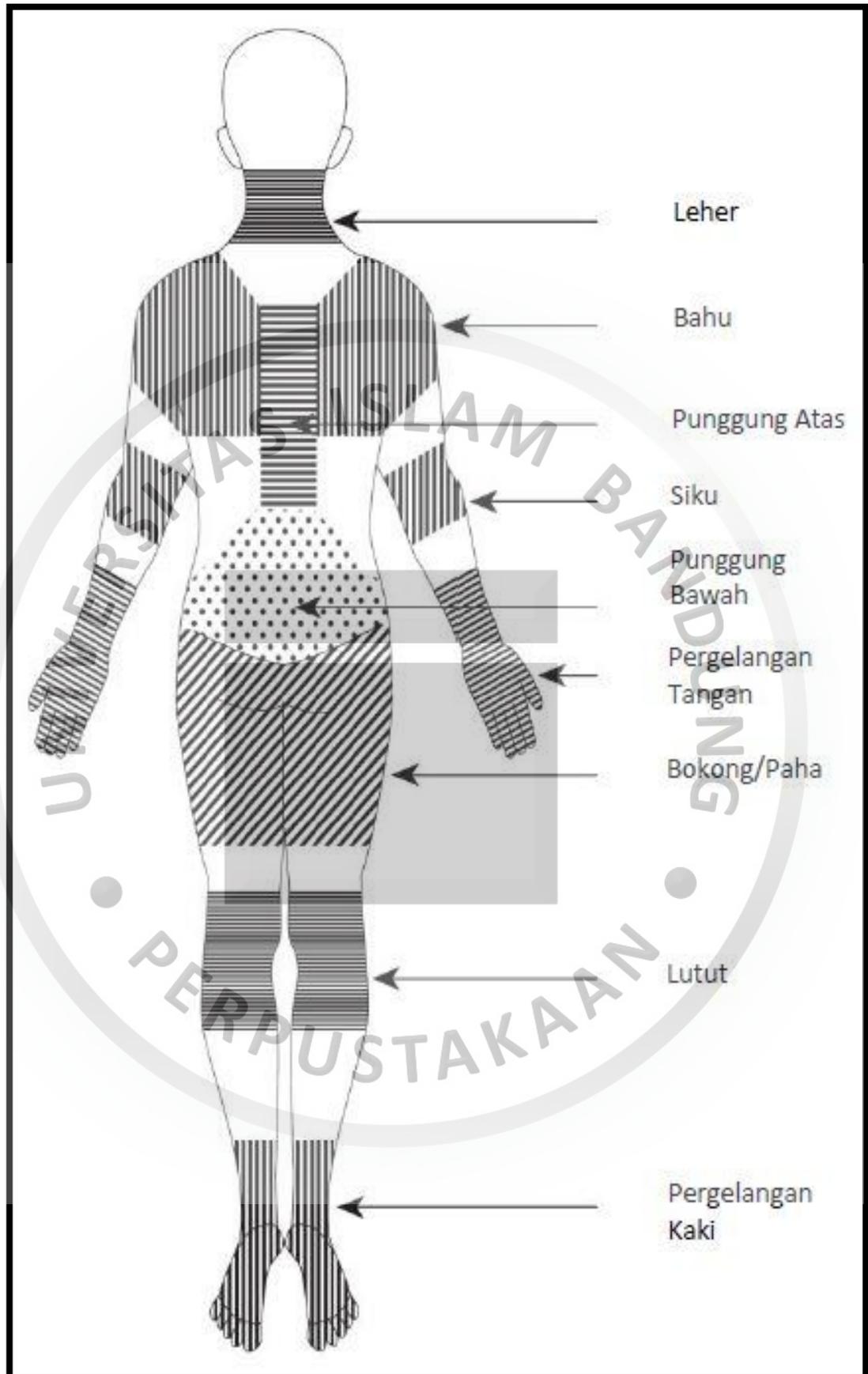
2.1 Ergonomi

Ergonomi adalah disiplin ilmu yang mengoptimalkan manusia dan kinerja sistem secara keseluruhan yang berkaitan dengan pemahaman interaksi di antara manusia dan elemen lain dari suatu sistem, profesi itu berlaku teori, prinsip, data dan metode (Berlin dan Adam, 2017). Dalam konteks perancangan, Ergonomi memiliki banyak elemen-elemen lain yang digunakan untuk mengoptimalkan sistem agar sesuai dengan kebutuhan, kelemahan, dan keterampilan manusia dalam suatu sistem, profesi yang mempraktikkan teori, prinsip, data, dan metode. Ergonomi dalam konteks perancangan digunakan untuk mengoptimalkan sistem agar sesuai dengan kebutuhan, kelemahan, dan keterampilan manusia yang memanfaatkan ilmu-ilmu rekayasa dari berbagai sub-disiplin ergonomi seperti antropometri, biomekanika, fisiologi kerja, *human information processing* dan *ergonomic* kognitif, *human computer interaction, display and control*, lingkungan kerja, dan ergonomi makro yang didalamnya banyak elemen lain dalam suatu sistem, profesi yang mempraktikkan teori, prinsip, data, dan metode (Iridiastadi dan Yassierli, 2017). Ergonomi mempelajari kemampuan dan sifat untuk merancang sebuah sistem kerja sehingga manusia mampu bekerja dengan baik dan mencapai tujuan yang diinginkan secara efektif, aman, dan nyaman.

2.2 Nordic Body Map

Nordic Body Map adalah kuesioner yang menggambarkan secara menyeluruh bagian tubuh yang dikeluhkan mulai dari leher hingga bagian kaki oleh setiap pekerja (Iridiastadi dan Yassierli, 2017). Kuesioner ini menggambarkan bagian tubuh mulai dari leher hingga bagian kaki yang dikeluhkan oleh pekerja. Kuesioner ini juga menggambarkan mengenai keluhan-keluhan yang dirasakan oleh pekerja apakah berhubungan dengan pekerjaan atau tidak. Pada saat pengisian, pekerja diminta untuk tidak menuliskan nama agar pekerja dapat mengisi secara jujur.

Pembagian tubuh *Nordic Body Map* ditunjukkan pada Gambar 2.1 Kuesioner *Nordic Body Map* terdiri dari 2 bagian yaitu, bagian A untuk demografi dan bagian B untuk isian. Gambar 2.2 untuk bagian A, Gambar 2.3 untuk bagian B, dan Gambar 2.4 untuk bagian 2B.



Gambar 2.1 Pembagian tubuh *nordic body map* (Widanarko, Kusmasari, Yassierli dan Iridiastadi, 2016)

KUESIONER NORDIC BODY MAP

Bagian A. Demografi

Data Diri Responden

Jenis Kelamin :
 Tempat / Tgl Lahir :
 Tinggi Badan (cm) :
 Berat Badan (kg) :
 Pendidikan Terakhir :

Suku Bangsa : Betawi Sunda Jawa Batak Minangkabau
 Lainnya:

Data Perusahaan

1. Berikan tanda centang(✓) pada jenis industri yang sesuai dengan tempat kerja Anda:

Industri Pertanian	<input type="checkbox"/>	Industri Angkutan Darat	<input type="checkbox"/>
Industri Kehutanan	<input type="checkbox"/>	Industri Angkutan Air	<input type="checkbox"/>
Industri Perikanan	<input type="checkbox"/>	Industri Angkutan Udara	<input type="checkbox"/>
Industri Pertambangan	<input type="checkbox"/>	Industri Jasa	<input type="checkbox"/>
Industri Pengolahan Makanan/Minuman	<input type="checkbox"/>	Industri Real Estat	<input type="checkbox"/>
Industri Tekstil	<input type="checkbox"/>	Pendidikan	<input type="checkbox"/>
Industri Farmasi	<input type="checkbox"/>	Konstruksi	<input type="checkbox"/>
Industri Barang Elektronik	<input type="checkbox"/>	Lainnya:	<input type="checkbox"/>
		

2. Jumlah Karyawan : < 20 orang
 21 – 100 orang
 101– 500 orang
 >500 orang

3. Lokasi Industri (Kota/Provinsi): _____

Data Pekerjaan

Spesialisasi/ Divisi Pekerjaan :
 Berapa lama Anda melakukan pekerjaan ini : ____ tahun ____ bulan
 Berapa rata-rata jam kerja per hari : ____ jam per hari
 Apakah Anda cenderung bekerja dengan tangan kiri/ kidal : Ya/ Tidak*
 Apakah Anda bekerja dalam shift : Ya/ Tidak*

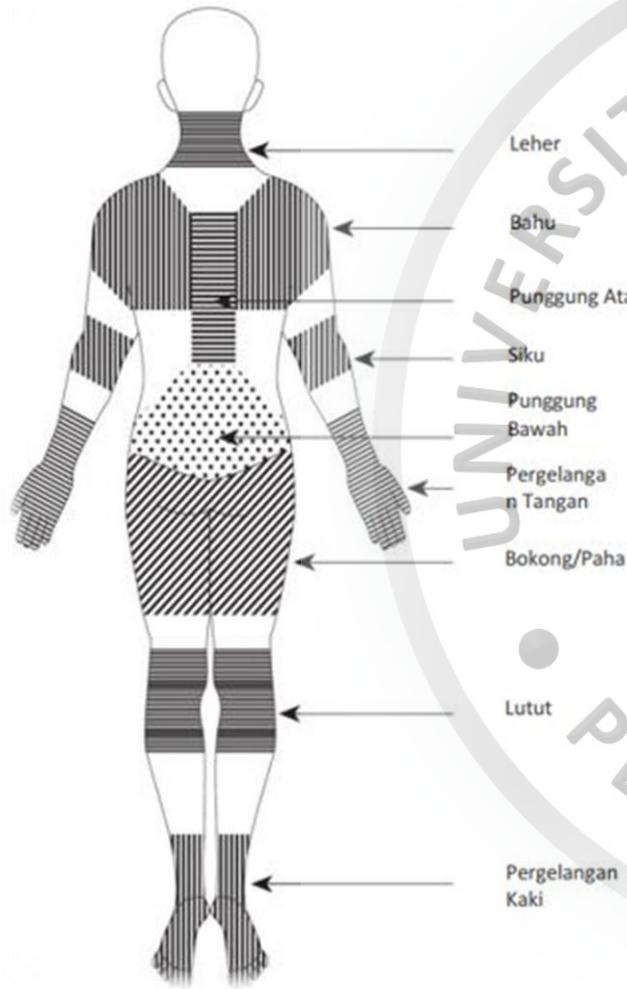
***Coret yang bukan merupakan jawaban**

Gambar 2.2 Bagian A kuesioner *nordic body map* (Widanarko, Kusmasari, Yassierli dan Iridiastadi, 2016)

Bagian B. Isian
Mohon berikan informasi tentang masalah apapun (seperti sakit, nyeri, atau tidak nyaman) yang Anda rasakan pada bagian tubuh seperti ditunjukkan pada area yang diarsir pada diagram berikut.
Silakan beri tanda centang (✓) pada salah satu kotak untuk setiap pertanyaan berikut.

Bagian Tubuh	Apakah dalam 12 bulan terakhir Anda pernah memiliki masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini?	Selama 12 bulan terakhir, apakah Anda terhalang dalam menjalankan aktivitas normal karena masalah tersebut pada bagian tubuh ini?	Apakah dalam 7 hari terakhir Anda pernah memiliki masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini?
Leher LEHER	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
Bahu BAHU	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bahu kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bahu kanan dan kiri
Punggung Atas PUNGGUNG ATAS	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
Siku SIKU	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua siku kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua siku kanan dan kiri
Punggung Bawah PUNGGUNG BAWAH	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
Pergelangan Tangan PERGELANGAN TANGAN	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan tangan kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan tangan kanan dan kiri
Bokong/Paha BOKONG/PAHA	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bokong/paha kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bokong/paha kanan dan kiri
Lutut LUTUT	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua lutut kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua lutut kanan dan kiri
Pergelangan Kaki PERGELANGAN KAKI	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan kaki kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan kaki kanan dan kiri

Gambar 2.3 Bagian B isian *nordic body map* (Widanarko, Kusmasari, Yassierli dan Iridiastadi, 2016)



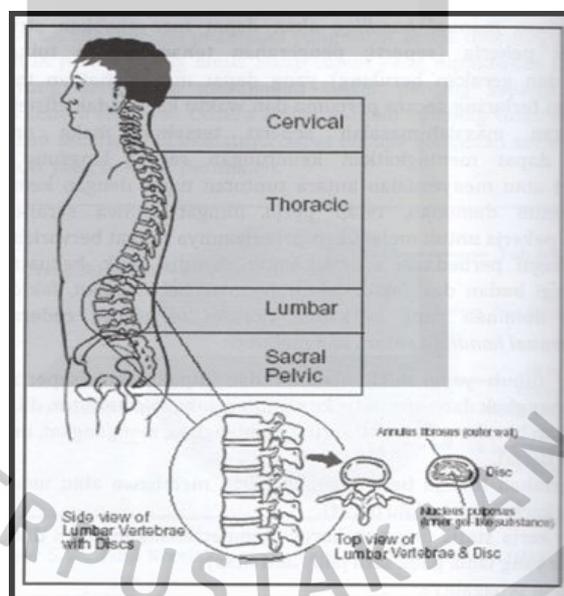
Bagian Tubuh	Jika Anda pernah mengalami masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini, berikan penilaian rasa sakit/ nyeri yang Anda pernah rasakan? (lingkari pada angka yang sesuai)	Apakah pada saat mengalami masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini, Anda menemui dokter/ terapis?
LEHER	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
BAHU	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
PUNGGUNG ATAS	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
SIKU	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
PUNGGUNG BAWAH	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
PERGELANGAN TANGAN	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
BOKONG/PAHA	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
LUTUT	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
PERGELANGAN KAKI	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya

Gambar 2.4 Bagian 2 B kuesioner *nordic body map* (Widanarko, Kusmasari, Yassierli dan Iridiastadi, 2016)

2.3 Bagian Tulang Belakang

Identifikasi proses kerja *manual handling* di lingkungan kerja dapat menyebabkan cedera utamanya rasa nyeri pada pinggang, sehingga diperlukan pengetahuan mengenai desain dan bagian-bagian tulang belakang tersebut dapat terbentuk. Tulang belakang memiliki 33 buah tulang terpisah dan 24 buah dapat digerakkan yang bertumpu pada bagian atas satu dan lainnya yang dipisahkan oleh tulang rawan berserabut yang disebut *disc* (Tarwaka, 2015).

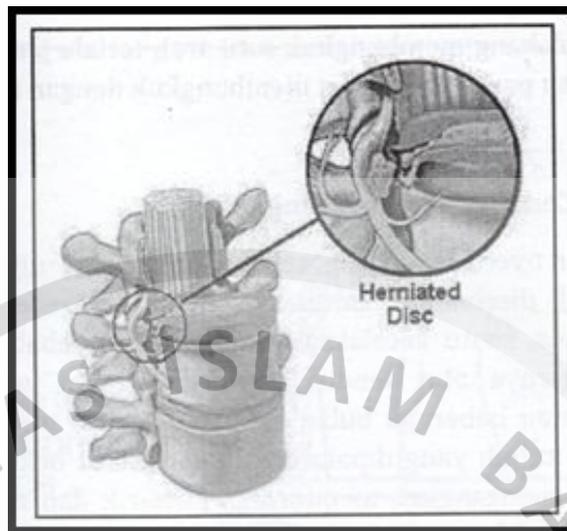
Suatu identifikasi proses kerja *manual handling* di lingkungan kerja yang berpotensi menyebabkan cedera, terutama terjadinya rasa nyeri pada pinggang, maka penting untuk diketahui bagaimana desain dan bagian-bagian tulang belakang terbentuk. Struktur utama pada anggota tubuh bagian belakang memungkinkan dilakukannya gerakan pada spine (tulang belakang). Susunan dan bagian tulang belakang terdiri dari tulang *cervical*, *thoracic*, *lumbar*, dan *sacral pelvic* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



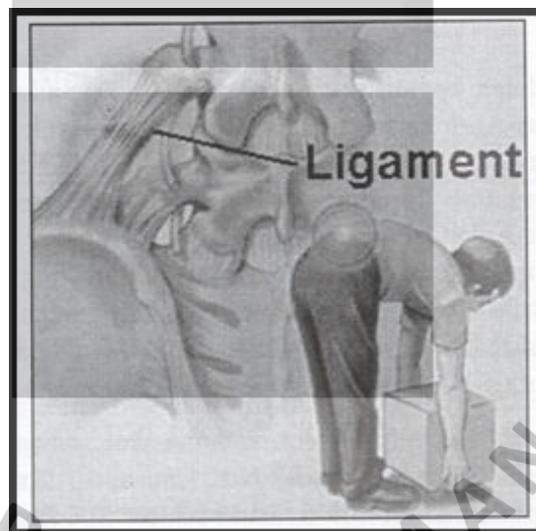
Gambar 2.5 Ilustrasi susunan bagian tulang belakang (Tarwaka, 2015)

Tulang bagian belakang dilindungi oleh *disc* yang berisi banyak air dan bekerja seperti *hydrostatic shock absorber* untuk melindunginya dari tekanan yang besar. Inti dalam jelaga dikelilingi oleh masing-masing *disc* yang berisi jaringan serabut. Isi bagian dalam *disc* dilindungi oleh bagian luar dinding untuk mencegah gel dari kebocoran. Pada saat dinding *disc* mulai melemah, maka akan menyebabkan rasa nyeri yang disebabkan oleh tonjolan yang timbul akibat melemahnya dinding *disc* tersebut. Apabila tekanan pada *disc* terjadi terus-menerus, maka akan menyebabkan hernia dan pecahnya dinding *disc* bagian luar. Berikut ini

adalah ilustrasi terjadinya hernia dan nyeri pada ligamen (Tarwaka, 2015). Ilustrasi terjadinya hernia ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan ilustrasi terjadinya nyeri pada *ligament* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



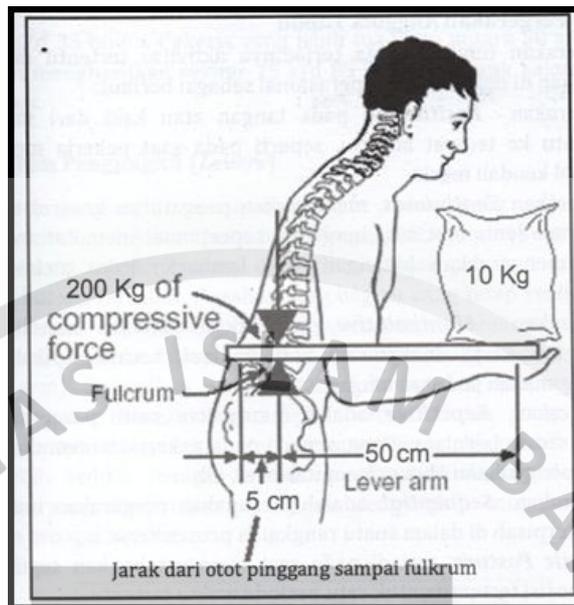
Gambar 2.6 Ilustrasi terjadinya hernia (Tarwaka, 2015)



Gambar 2.7 Ilustrasi terjadinya nyeri pada *ligament* (Tarwaka, 2015)

Pinggang diibaratkan sebagai titik fulkrum dimana badan berputar mengelilinginya. Anggota tubuh bagian atas dapat dipikirkan sebagai sebuah ‘lengan pengungkit’ dan pinggang sebagai ‘titik fulkrum’ yang ketika badan berputar mengelilinginya. Nyeri pinggang dapat disebabkan oleh pekerjaan dimana pekerja diperlukan membungkukan badannya ke depan dan kerusakan *disc* pada tulang belakang karena adanya tekanan kompresif yang besar (*comorepressive force*) (Tarwaka, 2015). Jika diibaratkan, apabila ada kekuatan menekan secara kompresif pada tulang belakang yang terbesar terjadi pada daerah tersebut, konsekuensinya dapat menyebabkan kerusakan *disc*. Kekuatan yang menekan secara kompresif pada

tulang belakang merupakan terbesar terjadi pada daerah tersebut dan konsekuensinya dapat mengakibatkan kerusakan pada *disc* (Tarwaka, 2015). Ilustrasi tekanan kompresif yang diterima pinggang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Ilustrasi tekanan kompresif yang diterima pinggang (Tarwaka, 2015)

2.4 Manual Material Handling (MMH)

Manual material handling adalah kegiatan memindahkan beban oleh tubuh manusia yang dilakukan secara manual dalam rentang waktu tertentu. Penanganan cedera *manual material handling* dapat terjadi dimana saja pada saat orang bekerja di pertanian, situs bangunan, pabrik, kantor, gudang, rumah sakit, bank, laboratorium, dan saat melakukan pengiriman. Pekerjaan mengangkat barang yang berisiko atau berat, postur canggung, penanganan bahan secara manual, dan cedera sebelumnya atau yang ada adalah semua faktor risiko dalam mengembangkan MSD (*Musculoskeletal Disorders*). Aktivitas kerja yang membutuhkan pembungkukan berulang dan pengangkatan beban berat dapat menyebabkan kompresi cakram, sambungan facet atau kerusakan ligamen. Memutar dan membungkuk secara bersamaan merupakan tekanan terbesar yang terjadi di tulang belakang (Smith, 2012).

2.4.1 Batasan Beban yang Boleh Diangkat

Batasan beban yang boleh diangkat secara resmi di berbagai negara bagian benua Australia untuk proses industri digunakan sebagai batasan beban yang boleh angkat secara internasional. Batasan beban yang boleh diangkat, yaitu (Suhardi, 2008):

1. Pria dengan usia di bawah 16 tahun, memiliki beban angkat maksimum yang diperbolehkan sebesar 14 kg.
2. Pria dengan rentang usia 16 - 18 tahun, memiliki beban angkat maksimum yang diperbolehkan adalah 18 kg.
3. Pria dengan usia lebih dari 18 tahun, tidak memiliki batasan beban angkat.
4. Wanita dengan rentang usia 16 - 18 tahun, beban angkat maksimum yang diperbolehkan adalah 11 kg.
5. Wanita dengan usia lebih dari 18 tahun, beban angkat maksimum yang diperbolehkan adalah 16 kg.

Batasan beban yang boleh diangkat wanita digunakan untuk meminimalisir rasa nyeri, ngilu pada tulang belakang (*back injuries incidence to women*) dan untuk mengurangi rasa ketidaknyamanan pada saat bekerja pada bagian tulang belakang, terutama untuk pekerja yang melakukan pekerjaan berat. Sesuai dengan batasan beban yang boleh diangkat, tindakan yang harus dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tindakan yang harus dilakukan sesuai dengan batasan angkat

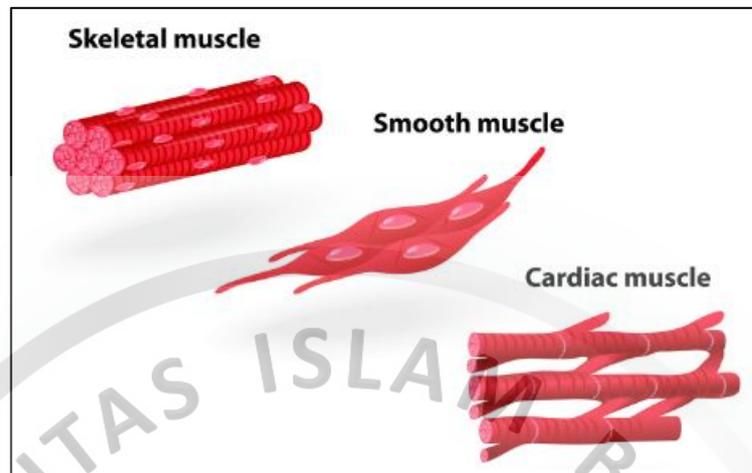
Batasan Angkat (Kg)	Tindakan
Di bawah 16	Tidak diperlukan tindakan khusus.
16 – 34	Prosedur administrasi diperlukan dalam proses pengidentifikasi ketidak mampuan seseorang dalam pengangkatan beban tanpa penanggung risiko yang berbahaya kecuali dengan perantaraan alat bantu tertentu.
34 – 55	Operator haruslah terpilih dan terlatih dalam penggunaan sistem pemindahan material dan harus di bawah pengawasan supervisor.
Di atas 55	Dalam pelaksanaannya harus menggunakan peralatan mekanis. Operator sebaiknya terpilih dan terlatih serta pernah mengikuti pelatihan kesehatan dan keselamatan kerja dalam industri. Pelaksanannya pun harus di bawah pengawasan yang ketat.

Sumber: Suhardi (2008)

2.5 Musculoskeletal Disorders

Kegiatan penanganan material yang dilakukan secara manual dan tidak tepat dapat menyebabkan kerugian hingga kecelakaan pada karyawan saat bekerja dan mengakibatkan keluhan *musculoskeletal disorders*. Keluhan *musculoskeletal disorders* dapat dikeluhkan dengan rasa nyeri mulai dari sangat ringan hingga sangat sakit pada bagian otot rangka skeletal. Penyebab keluhan kerusakan pada

sendi, ligamen, dan tendon yaitu karena otot yang menerima beban statis secara berulang dan dalam jangka waktu yang lama (Prawira, dkk., 2017). Gambar 2.9 tipe-tipe otot.



Gambar 2.9 Tipe-tipe otot (Berlin dan Adams, 2017)

2.6 Rapid Entry Body Assesment (REBA) dan Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Rapid Entry Body Assesment (REBA) adalah metode yang dapat digunakan secara cepat dan tepat untuk menilai postur seorang pekerja. Input metode REBA adalah pengambilan data postur pekerja menggunakan alat bantu rekam, penentuan sudut pada tubuh, leher, kaki, lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan. Metode REBA adalah salah satu metode tepat untuk menganalisa aktivitas *manual material handling* yang dominan menggunakan tubuh bagian atas karena tubuh bagian atas dianalisa secara detail (Budiman dan Setyaningrum, 2012).

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) adalah metode cepat untuk melakukan penilaian postur tubuh bagian atas. Input metode RULA adalah telapak tangan, lengan atas, lengan bawah, punggung, leher, beban yang diangkat, tenaga yang dipakai (statis/dinamis), jumlah pekerjaan. RULA menyertakan perlindungan yang cepat dalam pekerjaan seperti risiko pada pekerjaan yang berhubungan dengan *upper limb disorders*, mengidentifikasi usaha yang dibutuhkan otot yang berhubungan dengan postur tubuh saat kerja. Input postur metode RULA dibagi menjadi 2 grup yaitu grup A (lengan atas dan bawah dan pergelangan tangan) dan grup B (leher, tulang belakang dan kaki). Metode RULA sangat efektif untuk mengidentifikasi aktivitas *manual material handling*, khususnya aktivitas yang banyak melibatkan anggota tubuh bagian atas (Budiman dan Setyaningrum, 2012).

2.7 Recommended Weight Limit (RWL) dan Lifting Index (LI)

NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*), sebuah lembaga riset yang menangani aspek kesehatan dan keselamatan kerja di Amerika Serikat, pada tahun 1991 mengeluarkan sebuah tata cara mengenai batas maksimum beban yang boleh diangkat oleh pekerja untuk berbagai kondisi pengangkatan. Penetapan batas beban didasari oleh hasil-hasil penelitian yang menggabungkan pendekatan biomekanika, fisiologi, dan psikofisik. Batas pengangkatan tersebut dikenal dengan *Recommended Weighted Limit* (RWL) (Iridiastadi dan Yassierli, 2016).

Terdapat enam faktor yang menentukan besaran RWL, yakni empat faktor yang dipengaruhi sikap saat pengangkatan, satu faktor berkaitan dengan frekuensi pengangkatan, dan satu faktor lagi berkaitan dengan kondisi pegangan benda yang diangkat (Iridiastadi dan Yassierli, 2016).

RWL : Batas beban yang direkomendasikan

LC : Konstanta pembebanan (*load constant*) = 23 kg

HM : Faktor pengali horizontal (*horizontal multiplier*)

VM : Faktor pengali vertikal (*vertikal 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*)

Lifting Index (LI) adalah perbandingan antara batas beban yang direkomendasikan untuk diangkat terhadap beban yang seharusnya diangkat (Iridiastadi dan Yassierli, 2016).

2.8 Fisiologi Kerja

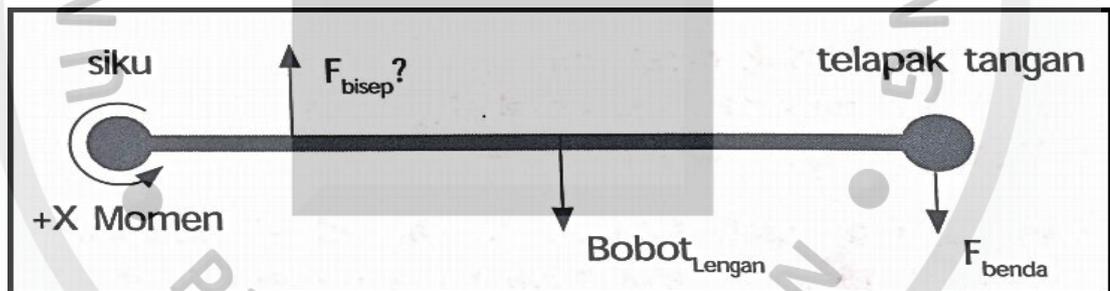
Fisiologi Kerja adalah ilmu yang mempelajari fungsi tubuh manusia pada saat bekerja yang merupakan dasar berkembangnya ergonomi. Fisiologi kerja dapat dikatakan juga fokus dengan respon tubuh terhadap kebutuhan metabolisme pada saat kerja dengan mengukur aktivitas dari *cardiovaskular respiratory* dan sistem otot pada saat kerja kita bisa mendapatkan informasi untuk mencegah kelelahan (Ruslani dan Nurfajriah, 2015).

2.9 Biomekanika

Biomekanika adalah ilmu yang menjelaskan gerakan pada bagian tubuh (kinematik) dan memahami efek gaya dan momen yang terjadi pada tubuh (kinetik) dengan berlandaskan pada hukum-hukum fisika dan mekanika teknik. Biomekanika kerja adalah salah satu subdisiplin ilmu biomekanika yang mempelajari tentang interaksi fisik antara pekerja dan peralatan, mesin, dan material untuk meminimalkan risiko gangguan pada sistem otot rangka yang terkait dengan pekerjaan (Iridiastadi dan Yassierli, 2017). Model-model biomekanika, biomekanika terbagi menjadi 2 model yaitu, model statis dan model dinamis. Model statis yaitu:

- **Model Siku Tangan**

Model siku tangan diperlukan untuk mengetahui apakah pekerjaan tersebut aman dilakukan atau tidak. Pemodelan biomekanika dapat dilakukan tanpa perlu melakukan uji coba secara riil/nyata. Model statis dari siku hingga pergelangan tangan dengan fokus analisis hanya satu lengan-tangan. Besarnya gaya pada otot biceps dan momen yang terjadi pada sendi siku merupakan respons internal tubuh terhadap pekerjaan. Gambar 2.10 model analisis tangan siku dalam menahan sebuah beban.



Gambar 2.10 Analisis tangan siku dalam menahan sebuah beban (Iridiastadi dan Yassierli, 2017)

Model siku tangan dalam kondisi statis maka resultan momen yang timbul akibat gaya eksternal (momen eksternal) terkompensasi oleh kerja otot (momen internal). Adapun formulasi untuk model siku tangan dalam kondisi statis yaitu:

$$\sum M_{siku} = 0 = \bar{M}_{siku} + siku \dots\dots\dots (II.1)$$

Dengan:

$$\bar{M}_{siku} = siku$$

- Perhitungan momen eksternal berdasarkan gaya eksternal.

$$M_{siku} = M_A + M_B = (F_A \times d) + (F_B \times d) \dots\dots\dots (II.2)$$

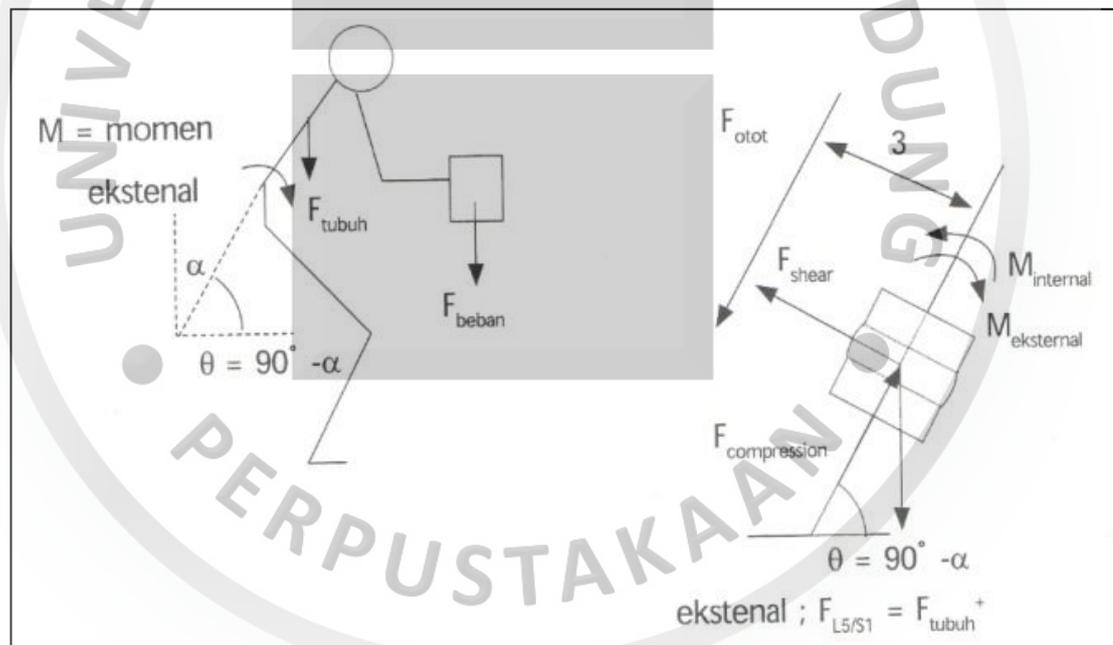
- Perhitungan momen internal berdasarkan gaya internal

$$\bar{M}_{siku} = - M_{siku} \dots\dots\dots (II.3)$$

- **Model Punggung Bawah**

Permodelan biomekanika diperlukan untuk mengevaluasi suatu rencana pekerjaan sebelum pekerjaan tersebut diujicobakan. Dalam kasus pengangkatan benda atau material, dibutuhkan suatu model yang lebih menggambarkan keseluruhan tubuh, model yang dapat digunakan yaitu model punggung bawah secara sederhana (statis dalam 2-Dimensi) yang menampilkan seseorang sedang melakukan pengangkatan suatu benda. Terdapat beberapa parameter dan gaya yang harus dipertimbangkan, yaitu:

- a. Beban bagian tubuh di atas pinggang.
- b. Beban pada tangan sesuai benda yang diangkat.
- c. Gaya otot punggung.
- d. Momen pada titik tulang belakang.
- e. Gaya pada titik tulang belakang, terdiri atas gaya tekan gaya geser.
- f. Tekanan intra-abdominal (namun diabaikan untuk memudahkan)



Gambar 2.11 Diagram benda bebas aktivitas pengangkatan beban (Iridiastadi dan Yassierli, 2017)

Ruas L5/S1 (ruas sendi antara *lumbar* ke-5 dan *sacrum* ke-) adalah momen yang diukur pada tubuh bagian tulang belakang. Ruas ini dipilih karena menjadi bagian tubuh yang paling kritis saat mendapatkan beban sangat tinggi pada saat proses pengangkatan dengan posisi umum membungkuk. Kriteria dapat dikatakan aman dalam suatu aktivitas bergantung pada besar tidaknya gaya tekan dan gaya geser yang ditimbulkan pada tulang bagian belakang, ada 2 kriteria

pengangkatan menurut para ahli, yaitu $F_{compression} < 3.400 \text{ N}$ dan $F_{shear} < 500 \text{ N}$. Jika salah satu dari 2 kriteria tersebut tidak terpenuhi maka pekerjaan yang dilakukan dapat dikatakan berisiko. Adapun formulasi untuk menghitung beban yang dihasilkan dari proses pengangkatan dengan biomekanika yaitu:

- Menghitung besaran momen menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sum M_{L5/S1} = 0 = \bar{M}_{L5/S1} + \dots \dots \dots (II.4)$$

Dengan:

$$M_{L5/S1} \bar{M}_i = - \dots \dots \dots$$

$$M_{L5/S1} = (-M_{tubuh}) + (-M_{beban})$$

- Menghitung momen kerja otot menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\dots \dots \dots (II.5)$$

- Menghitung gaya tekan ($F_{compression}$) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{compression} = F_{tubuh} \sin \phi + F_{beban} \sin \phi + F_{otot} \dots \dots \dots (II.6)$$

- Menghitung gaya geser (F_{shear}) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{shear} = F_{tubuh} \cos \phi + F_{beban} \cos \phi \dots \dots \dots (II.7)$$

2.10 Antropometri

Antropometri adalah ilmu yang mempelajari ukuran fisik manusia. Ilmu yang dibahas tidak hanya pada ukuran fisik di dimensi linier, melainkan berat badan juga. Antropometri juga membahas mengenai metode pengukuran, memodelkan dimensi tubuh manusia, dan mengenai teknik aplikasi untuk merancang (Iridiastadi dan Yassierli, 2017). Antropometri terbagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Antropometri Statis

Antropometri statis adalah membahas pengukuran yang mencakup keadaan dan ciri-ciri fisik manusia. Pengukuran tersebut meliputi dimensi-dimensi dasar fisik seperti panjang segmen (bagian tubuh), lingkaran bagian tubuh, massa bagian tubuh, dan sebagainya pada posisi diam.

2. Antropometri Dinamis

Antropometri dinamis adalah pengukuran yang mencakup keadaan dan ciri-ciri fisik manusia ketika melakukan gerakan-gerakan atau pengukuran dimensi fungsional yang meliputi tinggi duduk, panjang jangkauan, dan sebagainya pada saat bekerja.

2.10.1 Faktor yang Mempengaruhi Antropometri

Antropometri dapat dilakukan secara mudah dan sederhana karena hanya membahas mengenai pengukuran tubuh manusia. Faktor-faktor lainnya yang perlu dipertimbangkan dalam proses perancangan adalah adanya keberagaman individu baik dalam ukuran dan dimensi tubuh (Iridiastadi dan Yassierli, 2017). Keberagaman ini dipengaruhi beberapa faktor, di antaranya:

1. Usia

Usia mempengaruhi proses pertumbuhan tinggi tubuh manusia. Proses tumbuh ini terjadi secara terus-menerus hingga pada usia sekitar 20-25 tahun. Pada perempuan proses berhentinya tumbuh kembang tinggi tubuh lebih dini dibandingkan laki-laki.

2. Jenis Kelamin

Pada pengamatan kita sehari-hari memperlihatkan adanya perbedaan antropometri di antara laki-laki dan perempuan. Pada usia dewasa, laki-laki umumnya memiliki tinggi 10% lebih tinggi daripada perempuan.

3. Ras dan Etnis

Ras dan etnis juga mempengaruhi proses pertumbuhan tinggi. Setiap ras dan etnis tentunya mempunyai ciri khas yang menjadi daya tarik. Perbedaan terjadi pada ras dan etnis seperti Negroid (Afrika), Kaukasoid (Amerika Utara dan Eropa), Mongoloid atau Asia, dan Hispanik (Amerika Selatan).

4. Pekerjaan dan Aktivitas

Faktor lain yang mempengaruhi adalah pekerjaan dan aktivitas. Perbedaan ini dapat mudah ditemukan berdasarkan aktivitas setiap individu. Contoh kasusnya adalah petani di desa yang telah biasa melakukan pekerjaan berat memiliki antropometri yang berbeda dengan orang yang bekerja di kota sebagai pegawai kantor yang hanya duduk di depan komputer.

5. Kondisi Sosio-ekonomi

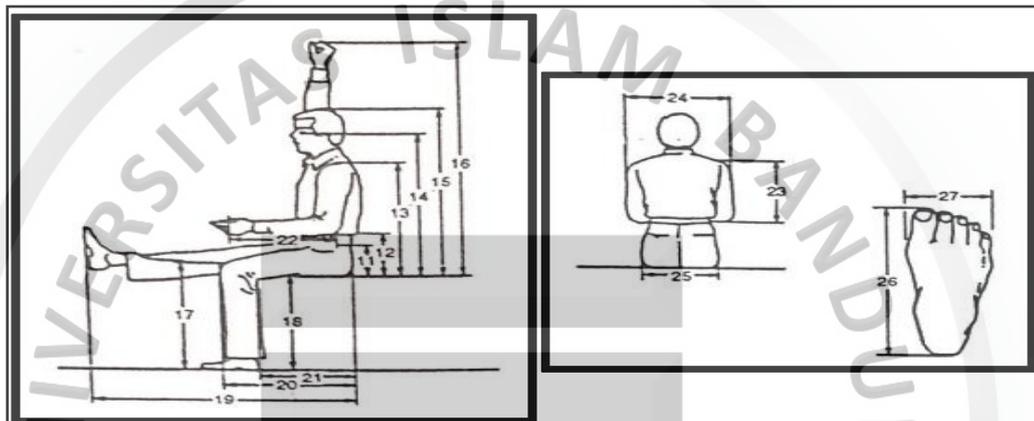
Faktor kondisi sosio-ekonomi memiliki dampak yang cukup signifikan. Masyarakat yang memiliki keadaan sosio ekonomi yang baik cenderung memberikan nutrisi yang cukup sehingga berpengaruh pada tingkat pertumbuhan badan.

2.10.2 Dimensi Tubuh Antropometri

Ada beberapa bagian dimensi tubuh antropometri, di antaranya antropometri tubuh manusia, dimensi antropometri saat berdiri, dan dimensi antropometri bagian tangan. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing bagian dimensi antropometri:

1. Antropometri Tubuh Manusia

Data antropometri pada tubuh manusia yang disajikan dalam gambar dimensi tubuh manusia ditunjukkan pada Gambar 2.12 dan keterangan gambar pada Tabel 2.2.



Gambar 2.12 Antropometri tubuh manusia (Sanders, 2004)

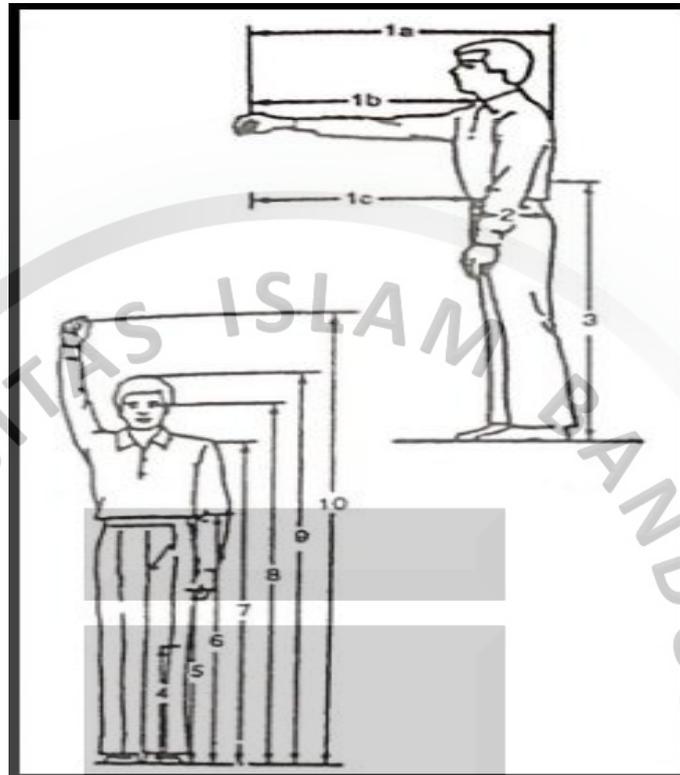
Tabel 2.2 Antropometri tubuh manusia

Angka dan Deskripsi Pengukuran		Persentil		
		5	50	95
11	Tinggi <i>Clearance</i> Paha	4.3	5.3	6.5
12	Tinggi Siku	7.3	9.3	11.4
13	Tinggi Bahu Tengah	21.4	23.6	26.1
14	Tinggi Mata	27.4	29.9	32.8
15	Tinggi Duduk Normal	32.0	34.6	37.4
16	Jangkauan <i>Overhead</i>	43.6	48.7	54.8
17	Tinggi Lutut	18.7	20.7	22.7
18	Tinggi Poplitea	15.1	16.6	18.4
19	Panjang Kaki	37.3	40.5	43.9
20	Panjang Kaki Atas	21.1	23.0	24.9
21	Panjang Bokong Ke Poplitea	17.2	19.1	20.9
22	Panjang Siku Ke Depan	12.6	14.5	16.2
		(11.4)	(13.8)	(16.2)
23	Panjang Lengan Atas	12.9	13.8	15.5
		(12.1)	(13.8)	(16.0)
24	Lebar Bahu	14.3	16.7	18.8
25	Lebar Pinggul	12.8	14.5	16.3
26	Panjang Kaki	8.9	10.0	11.2
27	Lebar Kaki	3.2	3.7	4.2

Sumber : Sanders (2004)

2. Antropometri Saat Berdiri

Data antropometri saat berdiri yang disajikan dalam gambar dimensi antropometri saat berdiri ditunjukkan pada Gambar 2.13 dan keterangan beserta nomor dari dimensi tubuh saat berdiri ditunjukkan pada Tabel 2.3.



Gambar 2.13 Antropometri saat berdiri (Sanders, 2004)

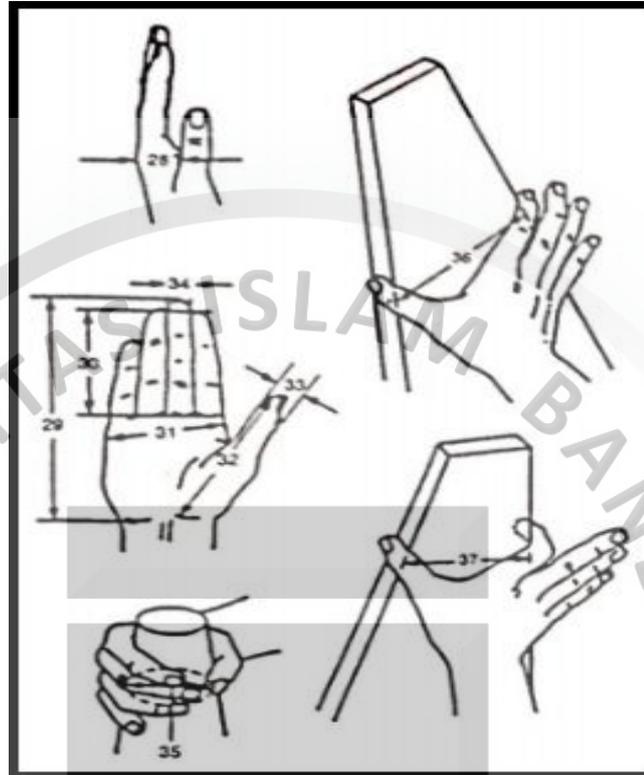
Tabel 2.3 Antropometri saat berdiri

Angka dan Deskripsi Pengukuran		Persentil		
		5	50	95
1	Jangkauan Fungsional Ke Depan	27.2	30.7	35.0
1a	Genggaman Fungsional Kembali	(25.7)	(29.5)	(34.1)
1b	Bahu Ke Genggaman Fungsional	22.6	25.6	29.3
1c	Perut Ke Genggaman Fungsional	(19.1)	(24.1)	(29.3)
2	Kedalaman Perut	7.1	8.7	10.2
3	Tinggi Pinggang	37.4 (35.8)	40.9 (39.9)	44.7 (44.5)
4	Tinggi Lutut	15.3	17.2	19.4
5	Tinggi Buku Jari	25.9	28.8	31.9
6	Tinggi Siku	38.0 (39.5)	42.0 (43.6)	45.8 (48.6)
7	Tinggi Bahu	48.4 (49.8)	54.5 (55.3)	59.7 (61.6)
8	Tinggi Mata	56.8	62.1	67.8
9	Perawakan	60.8 (61.1)	66.2 (67.1)	72.0 (74.3)
10	Jangkauan <i>Overhead</i> Fungsional	74.0	80.5	86.9

Sumber : Sanders (2004)

3. Antropometri Bagian Tangan

Data antropometri bagian tangan yang disajikan dalam gambar dimensi antropometri tangan ditunjukkan pada Gambar 2.14 dan keterangan beserta lambang dari dimensi tubuh bagian tangan ditunjukkan pada Tabel 2.4.



Gambar 2.14 Antropometri bagian tangan (Sanders, 2004)

Tabel 2.4 Antropometri bagian tangan

Angka dan Deskripsi Pengukuran		Persentil		
		5	50	95
28	Ketebalan Tangan	1.0	1.2	1.4
29	Panjang Tangan	6.7	7.4	8.0
30	Panjang Dua Digit	2.3	2.8	3.3
31	Lebar Tangan	2.8	3.2	3.6
32	Panjang Satu Digit	3.8	4.7	5.6
33	Luas Sendi dalam Phalangeal Satu Digit	0.7	0.8	1.0
34	Luas Sendi dalam Phalangeal Tiga Digit	0.6	0.7	0.8
35	Lebar Pegangan dalam Diameter	1.5	1.8	2.2
36	Sebarkan Digit Satu Hingga Dua Sendi Phalangeal Pertama	3.0	4.3	6.1
37	Sebarkan Digit Satu Hingga Dua Sendi Phalangeal Kedua	2.3	3.6	5.0

Sumber: Sanders (2004)

2.10.3 Pengolahan Data Antropometri

Pada proses pengolahan data antropometri, setiap data akan diolah berdasarkan kebutuhan penelitian dan perancangan produknya. Metode yang digunakan pada proses ini meliputi analisis statistik antara lain uji keseragaman data, uji

kenormalan data, dan uji kecukupan data. Pada tahap perancangan proses perhitungan persentil pada setiap dimensi tubuh sangat diperlukan (Wignjosoebroto, 2008). Adapun penjelasannya sebagai berikut:

1. Uji Keseragaman Data

Pengujian keseragaman data berfungsi mengeliminasi setiap data dan dilakukan dengan cara membuang data yang berada di luar batas kendali atas atau batas kendali bawah yang digunakan untuk memperkecil varian yang ada (Wignjosoebroto, 2008). Dalam proses uji keseragaman data dapat dilakukan beberapa langkah seperti berikut:

- a. Mengitung besarnya rata-rata dari setiap data pengamatan dengan menggunakan rumus berikut :

$$\bar{x} = \frac{(\sum x_i)}{N} \dots\dots\dots (II.8)$$

Dengan :

\bar{x} = Rata – rata data hasil pengamatan

x_i = Data hasil pengukuran

N = Banyak data

- b. Menghitung Standar Deviasi dengan rumus berikut:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (II.9)$$

Dengan :

S = Standar deviasi dari populasi.

N = Banyaknya jumlah data pengamatan.

x = Data hasil pengukuran.

- c. Rumus yang digunakan untuk menentukan batas kontrol atas (BKA) dan batas kontrol bawah (BKB) yang nantinya digunakan sebagai pembatas jika ada data yang tidak seragam dan keluar dari batas BKA dan BKB adalah:

- $BKA/BKB = \bar{x} + Z\sigma \dots\dots\dots (II.10)$

2. Uji Kecukupan Data

Pengujian kecukupan data memiliki fungsi untuk mengetahui kecukupan data yang akan diolah (Perdana, 2010). Tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan derajat kebebasan $s = 0.05$ yang akan menunjukkan penyimpangan maksimum dari hasil program. Selain itu juga ‘ditentukan tingkat kepercayaan 95%

dengan $k = 2$ yang menunjukkan besarnya keyakinan pengukur akan ketelitian data antropometri, artinya bahwa rata-rata data hasil pengukuran diperbolehkan menyimpang sebesar 5% dari rata-rata sebenarnya' (Perdana, 2010). Rumus uji kecukupan data, yaitu:

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}}{(\sum X_i)} \right]^2 \dots\dots\dots (II.11)$$

Dengan :

k = Harga index yang besarnya tergantung dari kepercayaan yang dipakai

- Untuk tingkat kepercayaan 68% $k = 1$
- Untuk tingkat kepercayaan 95% $k = 2$
- Untuk tingkat kepercayaan 99% $k = 3$

s = Tingkat ketelitian

N = Jumlah pengukuran yang dilakukan

N' = Jumlah pengukuran yang seharusnya dilakukan

X_i = Data hasil pengukuran.

Data dianggap telah mencukupi jika memenuhi persyaratan $N' < N$ atau jumlah data secara teotitis lebih kecil daripada jumlah data pengamatan.

3. Uji Normalitas

Pengujian normalitas berfungsi menguji kenormalan distribusi data. Nilai *mean* (rata-rata) dan SD (Standard Deviasi) dari suatu distribusi normal sangat diperlukan ketersediannya pada pengujian normalitas (Perdana, 2010). Salah satu uji statistik normalitas yang dapat digunakan adalah *chi square*. Berikut langkah-langkah untuk menguji kenormalan data menggunakan *chi square*:

- Menentukan jumlah kelas (K)
 $K = 1 + 3,3 \log n \dots\dots\dots (II.12)$

- Menentukan rentang kelas (R)
 $R = \text{data maximum} - \text{data minimum} \dots\dots\dots (II.13)$

- Menentukan panjang kelas interval (I)
 $I = R / k \dots\dots\dots (II.14)$

- Menghitung nilai Z_1 dan Z_2
 $Z_1 = \frac{\text{Batas bawah kelas boundaris} - \bar{x}}{\text{standar deviasi}} \dots\dots\dots (II.15)$

- Menentukan luas kurva
Luas = P (Z₁<Z<Z₂)(II.16)
- Menentukan nilai e_i
e_i = N x Luas Kurva(II.17)

4. Uji Hipotesis

Hipotesis statistik adalah pernyataan atau dugaan mengenai satu atau lebih populasi (Walpole dan Ronald, 2011). Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan uji hipotesis (Walpole dan Ronald, 2011). yaitu :

- H₀ : $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$ (data berdistribusi normal)
- H₁ : $\chi^2_{hitung} \geq \chi^2_{tabel}$ (data tidak berdistribusi normal)
- α : 0,05
- Daerah kritis : $\chi^2_{tabel} \geq \chi^2_{hitung}$
Dengan χ^2_{tabel} dapat dilihat pada tabel chi-kuadrat.
Derajat kebebasan V = k - 1

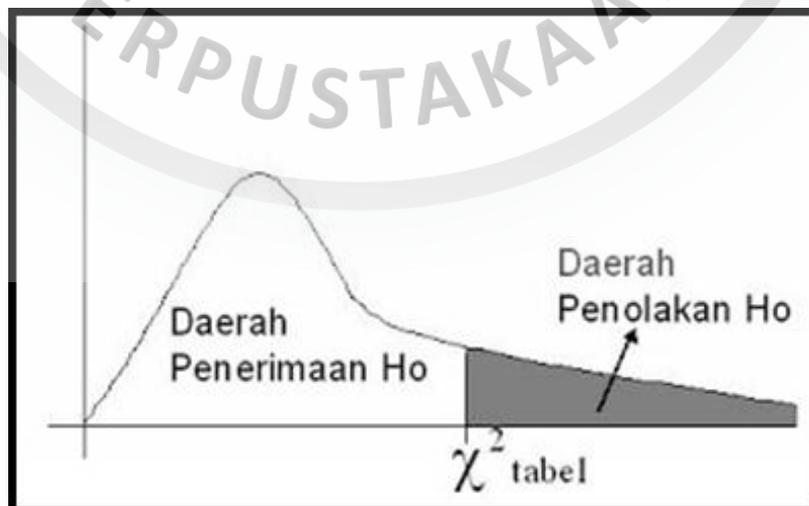
$$\chi^2_{tabel} = \chi^2_{(1-\alpha)(v)} \dots\dots\dots(II.18)$$

e. Perhitungan :

$$\chi^2_{hitung} = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \dots\dots\dots(II.19)$$

e_i = Nilai harapan
o_i = Nilai observasi

- Apabila $\chi^2_{tabel} < \chi^2_{hitung}$ maka dapat dikatakan tidak berdistribusi normal, sedangkan jika $\chi^2_{tabel} > \chi^2_{hitung}$ maka dapat dikatakan data berdistribusi normal. kurva *chi square* yang dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Kurva distribusi normal

5. Perhitungan Nilai Persentil

Pengolahan data antropometri ini digunakan nilai persentil 5, 50 dan 95. Persentil 5 menunjukkan 5%, persentil 5 ini menunjukkan ukuran terkecil. Persentil 50 menunjukkan rata-rata. Sedangkan persentil 95 akan menunjukkan 95% populasi, persentil 95 menggambarkan ukuran terbesar.

- Rumus persentil untuk data normal

$$P_5 = \bar{X} - Z\sigma \dots\dots\dots (II.20)$$

$$P_{50} = \bar{X} \dots\dots\dots (II.21)$$

$$P_{95} = \bar{X} + Z\sigma \dots\dots\dots (II.22)$$

- Rumus persentil untuk data yang tidak normal

$$P_i = L_i + \left[\frac{\frac{in}{100} - \sum f^n}{F} \right] \times k \dots\dots\dots (II.23)$$

Dengan:

L_i = Batas bawah kelas boundaris

k = Panjang kelas interval

i = 1, 2, 3, ..., 99

F = Frekuensi pada kelas persentil

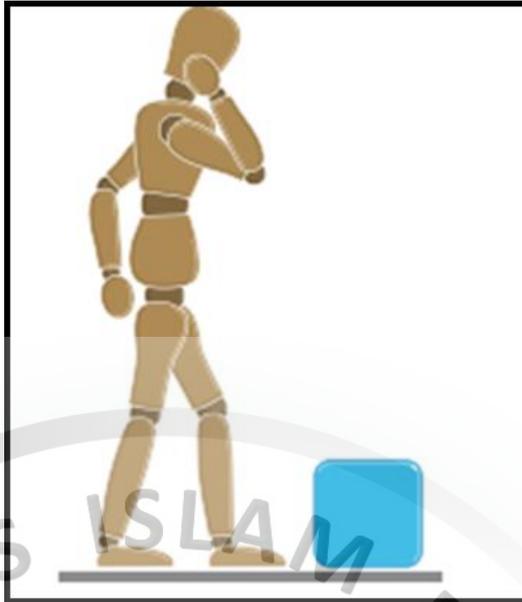
$\sum f$ = Jumlah frekuensi kumulatif persentil

n = Jumlah data

2.11 Teknik Penanganan Pengangkatan Beban Manual

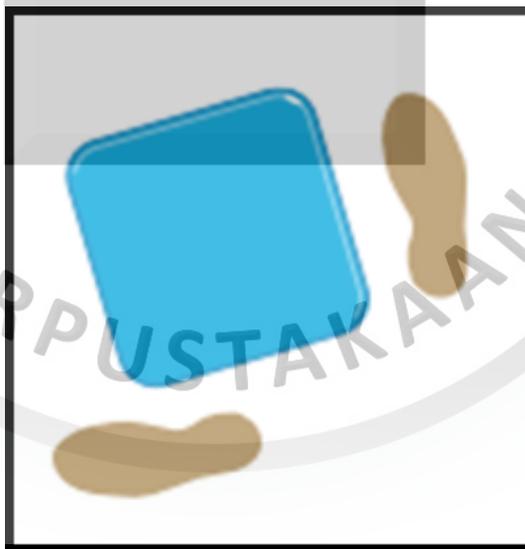
Adapun Teknik penanganan yang baik untuk mengangkat menurut Health and Safety Executive (2011) yaitu:

1. Pikirkan sebelum mengangkat, rencanakan cara mengangkat, bisa alat bantu penanganan digunakan? Di mana beban akan berada ditempatkan? Akankah dibutuhkan bantuan dengan beban? Menghapus penghalang seperti bahan pembungkus yang dibuang. Untuk pengangkatan yang lama, pertimbangkan mengistirahatkan beban di tengah meja atau bangku untuk mengubah pegangan. Berikut adalah ilustrasi pikirkan sebelum mengangkat ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Pikirkan sebelum mengangkat (Health and Safety Executive, 2011)

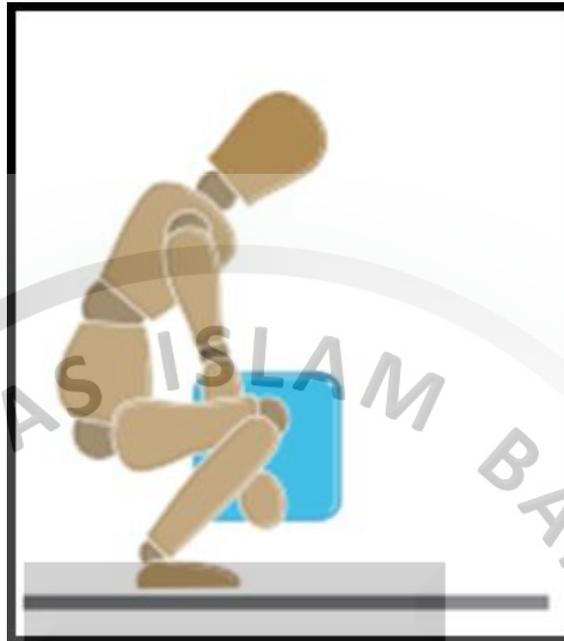
2. Memposisikan posisi yang stabil. Kaki harus pada posisi yang terpisah yaitu dengan satu kaki sedikit ke depan untuk menjaga keseimbangan (di samping beban, jika ada di tanah). Pekerja harus siap untuk menggerakkan kaki mereka selama angkat untuk menjaga stabilitas mereka. Hindari pakaian ketat atau alas kaki yang tidak cocok, yang mungkin membuat ini sulit. Berikut Gambar 2.17 ilustrasi memposisikan posisi yang stabil.



Gambar 2.17 Memposisikan posisi yang stabil (Health and Safety Executive, 2011)

3. Dapatkan pegangan yang bagus. Jika memungkinkan, bebannya seharusnya dipeluk sedekat mungkin dengan tubuh.
4. Mulailah dengan postur yang baik. Di awal pengangkatan, sedikit menekuk punggung, pinggul dan lutut lebih disukai sepenuhnya melenturkan punggung (membungkuk) atau sepenuhnya melenturkan pinggul dan lutut (jongkok).

5. Jangan melenturkan punggung lebih jauh saat mengangkat. Ini dapat terjadi jika kaki mulai tegak sebelumnya mulai menaikkan beban. Berikut Gambar 2.18 ilustrasi memulai Angkatan.



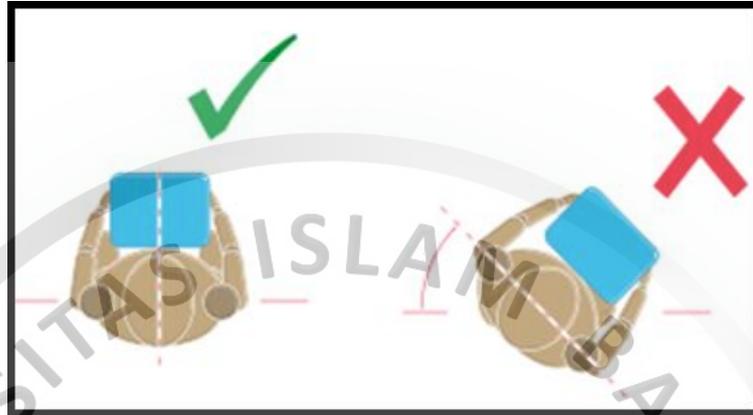
Gambar 2.18 Memulai angkatan (Health and Safety Executive, 2011)

6. Jaga agar muatan tetap dekat dengan pinggang. Jaga muatannya dekat dengan tubuh selama mungkin sambil mengangkat. Jaga sisi beban terberat di sebelah tubuh. Jika pendekatan dekat ke beban tidak memungkinkan, cobalah untuk geser ke arah tubuh sebelum mencoba mengangkatnya. Berikut Gambar 2.19 ilustrasi muatan tetap dekat dengan pinggang.



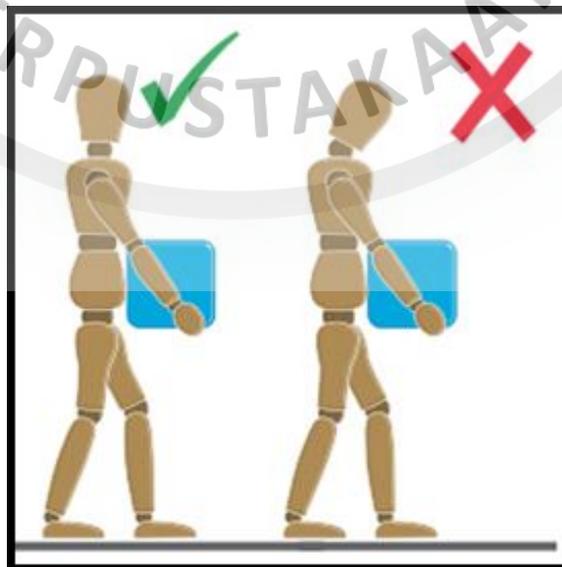
Gambar 2.19 Muatan tetap dekat dengan pinggang (Health and Safety Executive, 2011)

7. Hindari memutar bagian belakang atau condong ke samping, terutama saat bagian belakang bengkok. Seharusnya bahu tetap sejajar dan menghadap pada arah yang sama dengan posisi pinggul. Lebih baik memutar dengan menggerakkan daripada memutar dan mengangkat pada saat bersamaan. Berikut Gambar 2.20 ilustrasi Gerakan memutar yang benar.



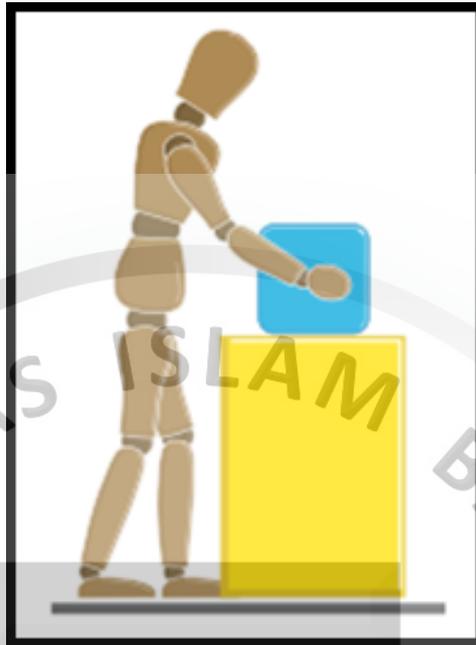
Gambar 2.20 Gerakan memutar yang benar (Health and Safety Executive, 2011)

8. Angkat kepala saat memegang. Lihat ke depan, bukan turun pada beban, setelah dipegang dengan aman.
9. Bergerak dengan lancar. Beban tidak seharusnya tersentak atau disambar karena ini dapat membuat lebih sulit untuk tetap mengontrol dan dapat meningkatkan risiko cedera.
10. Jangan mengangkat atau menangani lebih dari yang bisa dengan mudah digenggam. Ada perbedaan antara apa yang tidak bisa orang angkat dan apa yang bisa mereka angkat dengan aman. Jika ragu, cari saran atau dapatkan bantuan. Berikut Gambar 2.21 ilustrasi posisi saat mengangkat beban.



Gambar 2.21 Posisi saat mengangkat beban (Health and Safety Executive, 2011)

11. Letakkan, lalu sesuaikan. Jika posisi yang tepat dari beban diperlukan, letakkan dulu, lalu geser ke dalam posisi yang diinginkan. Berikut Gambar 2.22 ilustrasi posisi menyimpan beban.



Gambar 2.22 Posisi menyimpan beban (Health and Safety Executive, 2011)