

**REKOMENDASI ALAT BANTU PROSES *UNLOADING* YANG
ERGONOMIS PADA AREA *RAW MATERIAL STORE* PABRIK
FAST MOVING CONSUMER GOODS DENGAN METODE
*VIRTUAL HUMAN MODELING***

SKRIPSI

**HERMAN ADRIAN
06 06 07 71 82**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2010**

**REKOMENDASI ALAT BANTU PROSES *UNLOADING* YANG
ERGONOMIS PADA AREA *RAW MATERIAL STORE* PABRIK
FAST MOVING CONSUMER GOODS DENGAN METODE
*VIRTUAL HUMAN MODELING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**HERMAN ADRIAN
06 06 07 71 82**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Herman Adrian

NPM : 0606077182

Tanda tangan :

Tanggal : Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Herman Adrian
NPM : 0606077182
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Rekomendasi Alat Bantu Proses *Unloading* yang Ergonomis pada Area *Raw Material Store* Pabrik *Fast Moving Consumer Goods* dengan Metode *Virtual Human Modeling*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Erlinda Muslim, MEE ()

Penguji : Ir. Djoko Sihono Gabriel, MT ()

Penguji : Ir. Isti Surjandari, PhD ()

Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2010

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Herman Adrian
NPM : 0606077182
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Rekomendasi Alat Bantu Proses *Unloading* yang Ergonomis pada Area *Raw Material Store* Pabrik *Fast Moving Consumer Goods* dengan Metode *Virtual Human Modeling*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2010

Yang Menyatakan

(Herman Adrian)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga proses penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan selesai tepat pada waktunya. Penelitian ini disusun sebagai bagian dari persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa penelitian ini dapat berlangsung dengan sukses berkat dukungan, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Erlinda Muslim, MEE, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan begitu banyak waktu, tenaga, pikiran, dan kesabaran yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini.
- (2) Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE selaku dosen pembimbing akademis yang sekaligus juga bersama Ibu Arian Dhini, MT menjadi dosen yang begitu banyak memberikan ide-ide, diskusi, dan teori-teori ergonomi yang sangat menolong untuk keberlangsungan penelitian ini.
- (3) Bapak Zulfakar Ali, Bapak Ari, Bapak Suryanto, Mbak Irma, Bapak Pantas dan seluruh karyawan PT. X, atas segala bantuan dan masukan yang diberikan selama proses pengambilan data di sana.
- (4) Papi, Mami, Cici, Emak, Ii Wiwi, dan Ii Kikok serta seluruh keluarga atas seluruh perhatian dan kasih sayang yang tanpa batas sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan seluruh proses pendidikan sampai saat ini.
- (5) Jennifer Heryanto dan keluarga atas dukungan, masukan-masukan dan semangat yang diberikan selama menjalani proses penelitian ini.
- (6) Bapak Agung Prehadi dan Mas Acil yang sangat membantu dalam mempersiapkan *software* dan peralatan yang digunakan untuk penelitian ini.
- (7) Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri terutama Mas Iwan dan Pak Mursyid atas kesediaannya menunggu tim ergonomi yang terkadang memakai laboratorium hingga malam hari.

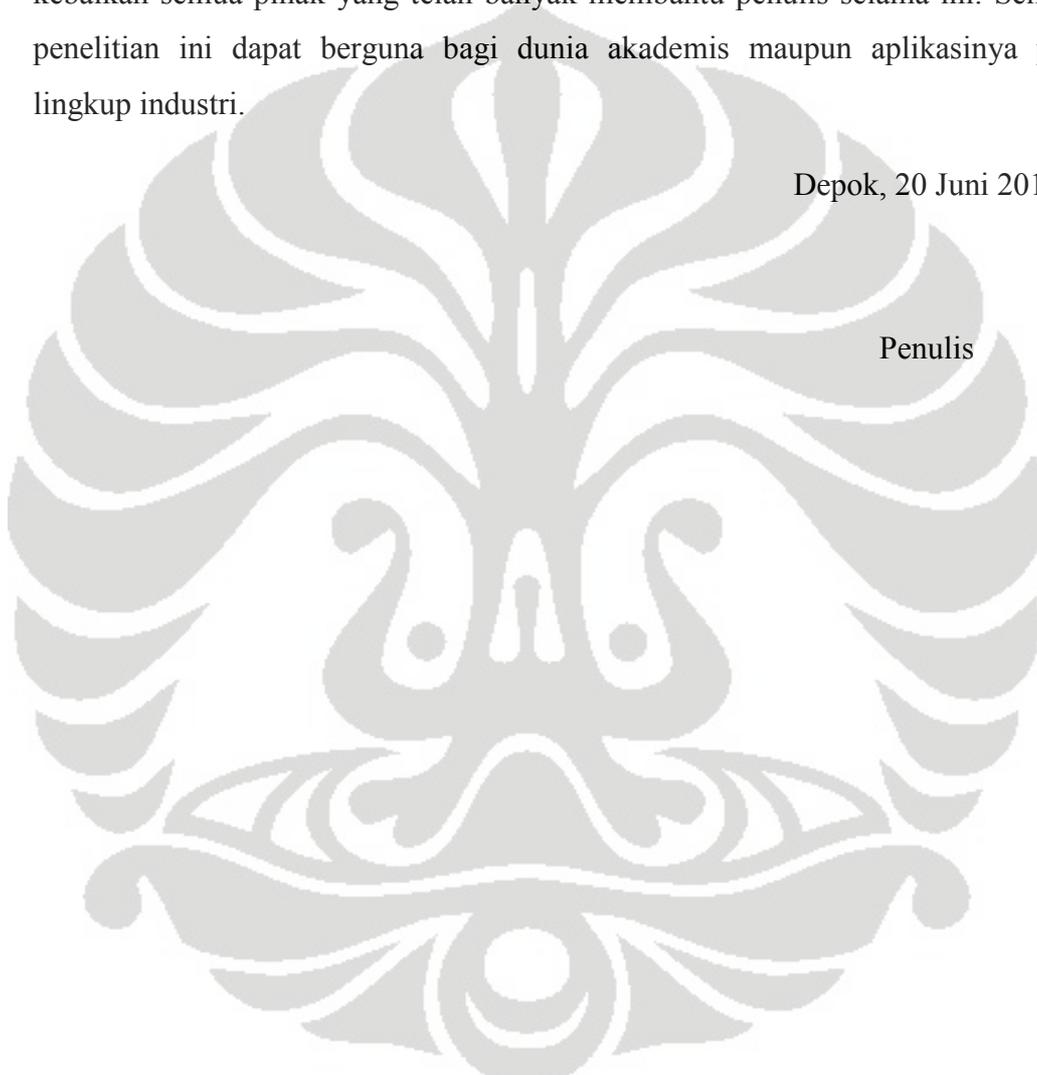
(8) Herbert, Herian, Fero, Venita, Igay, Arya, Aldi, Budink, Yunika, Novi, Sanny, Amenk dan Sarah atas kerjasama dan hari-hari penuh perjuangan yang telah dilalui selama pembuatan skripsi ergonomi ini.

(9) Teman-teman TI 2006 yang telah bersama-sama melalui 4 tahun kuliah dengan berbagai suka dan duka.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa akan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini. Semoga penelitian ini dapat berguna bagi dunia akademis maupun aplikasinya pada lingkup industri.

Depok, 20 Juni 2010

Penulis



ABSTRAK

Nama : Herman Adrian
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Rekomendasi Alat Bantu Proses *Unloading* yang Ergonomis pada Area *Raw Material Store* Pabrik *Fast Moving Consumer Goods* dengan Metode *Virtual Human Modeling*

Proses *unloading* yang dilakukan pada area *raw material store* suatu pabrik *fast moving consumer goods* berlangsung dalam tingkat kecepatan dan frekuensi yang tinggi. Di sisi lain, kondisi barang yang dikirim seringkali membuat pekerja harus melakukan proses *unloading* secara manual tanpa alat bantu sehingga rentan menyebabkan timbulnya *musculoskeletal disorders*. Penelitian ini ingin menganalisis kondisi tersebut dengan menggunakan metode *virtual human modeling*. Proses analisis terhadap *output* simulasi yang dibuat dilakukan dengan metode *Lifting Index (LI)* dan *Posture Evaluation Index (PEI)* yang mengintegrasikan *Low Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture (OWAS)*, dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*. Selain kondisi aktual tersebut, simulasi juga dibuat dengan menggunakan alat bantu yang memungkinkan. *Output* simulasi tersebut akan dibandingkan untuk memperoleh rekomendasi alat bantu yang paling ergonomis untuk proses *unloading* tersebut.

Keywords:

Ergonomi, *Virtual Human Modeling*, Area *raw material store* pabrik *fast moving consumer goods*, *Posture Evaluation Index*

ABSTRACT

Name : Herman Adrian
Study Program: Industrial Engineering
Title : Recommendation of Unloading Process Equipment in Raw Material Store Area of Fast Moving Consumer Goods Plant With Virtual Human Modeling Methodology.

The unloading process in raw material store of fast moving consumer goods plant works in high speed and frequency. In other side, the boxes that were sent sometimes make the workers have to do the unloading process manually (without helping equipment) that increase the musculoskeletal disorders disease. This research analyze the condition with virtual human modeling method. The analyzing process of the simulation's output is done with Lifting Index (LI) method and Posture Evaluation Index (PEI) method which integrates the Low Back Analysis (LBA), Ovako Working Posture (OWAS), and Rapid Upper Limb Assessment (RULA).

Key words:
Ergonomics, Virtual Environment, Cutting Division of Garment Industry, Posture Evaluation Index

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH	3
1.3 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.4 TUJUAN PENELITIAN	4
1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN	4
1.6 METODOLOGI PENELITIAN	5
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN	9
2. DASAR TEORI.....	11
2.1 ERGONOMI.....	11
2.2 ANTROPOMETRI.....	12
2.3 <i>MUSCULOSKELETAL DISORDERS</i>	17
2.4 <i>SOFTWARE JACK</i>	19
2.5 <i>OUTPUT ANALISIS SOFTWARE JACK</i>	22
2.5.1 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	22
2.5.2 <i>Low Back Analysis (LBA)</i>	26
2.5.3 <i>Ovako Working Posture Analysis (OWAS)</i>	27
2.5.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i>	30
2.6 <i>METODE POSTURE EVALUATION INDEX</i>	33
2.7 <i>METODE LIFTING INDEX</i>	37

3. METODE PENELITIAN.....	41
3.1 TINJAUAN UMUM PT. X.....	41
3.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan.....	41
3.1.2 Departemen Gudang.....	42
3.1.3 Divisi <i>Raw Material Store</i>	45
3.1.4 Proses Aliran Material di <i>Raw Material Store</i>	45
3.1.5 Proses <i>Unloading</i>	46
3.1.6 Mesin dan Peralatan.....	46
3.2 PENGUMPULAN DATA.....	47
3.2.1 Data Permasalahan Pekerja.....	47
3.2.2 Data Antropometri Pekerja.....	48
3.2.3 Pendefinisian Area Kerja.....	50
3.2.4 Alat Bantu yang Disimulasikan.....	51
3.2.4.1 <i>Electrical High Lifter</i>	51
3.2.4.2 <i>Adjustable Conveyor</i>	52
3.2.4.3 <i>Vacuum Grip</i>	53
3.2.5 Data Bentuk dan Dimensi Objek Penelitian.....	54
3.3 PEMBUATAN MODEL AKTUAL.....	55
3.3.1 Pembuatan <i>Virtual Environment</i>	55
3.3.2 Pembuatan <i>Virtual Human</i>	56
3.3.3 Memposisikan Model Manusia.....	58
3.3.4 Pemberian Tugas Simulasi pada Model Manusia.....	60
3.3.5 Melakukan Analisis Ergonomi dengan Menggunakan <i>Jack Task Analysis Toolkit (TAT)</i>	63
3.3.6 Melakukan Uji Validasi Model Simulasi.....	67
3.4 PENENTUAN KONFIGURASI SERTA PERHITUNGAN <i>POSTURE EVALUATION INDEX</i> DAN <i>LIFTING INDEX</i>	73
3.4.1 Penentuan Konfigurasi.....	73
3.4.2 Perhitungan <i>Posture Evaluation Index</i>	75
3.4.3 Perhitungan <i>Lifting Index</i>	79
4. ANALISIS.....	83
4.1 ANALISIS KONDISI AKTUAL.....	83

4.1.1	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 1	84
4.1.2	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 2	90
4.2	ANALISIS KONFIGURASI 3 DAN 4	96
4.2.1	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 3	97
4.2.2	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 4	103
4.3	ANALISIS KONFIGURASI 5 DAN 6	109
4.3.1	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 5	110
4.3.2	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 6	113
4.4	ANALISIS KONFIGURASI 7 DAN 8	117
4.4.1	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 7	118
4.4.2	Analisis <i>Output</i> Konfigurasi 8	123
4.5	ANALISIS PENGGUNAAN ALAT BANTU.....	128
4.5.1	Perbandingan Nilai PEI untuk Seluruh Konfigurasi.....	128
4.5.2	Penentuan Rekomendasi Alat Bantu	130
KESIMPULAN.....		133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 2.1 Antropometri Statis untuk Orang yang Duduk	13
Gambar 2.2 Dimensi Jarak Ruang (<i>Clearance Dimension</i>) untuk Berbagai Posisi	14
Gambar 2.3 Wilayah Jangkauan Manusia.....	15
Gambar 2.4 Contoh Pengukuran Antropometri	15
Gambar 2.5 Data Distribusi Tinggi Tubuh Pria di Amerika.....	16
Gambar 2.6 Contoh Lingkungan Virtual pada <i>Software Jack</i>	20
Gambar 2.7 Contoh Manusia Digital dengan <i>Percentile 95%, 50% dan 5%</i>	20
Gambar 2.8 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya Pada Persendian	24
Gambar 2.9 Contoh Hasil Analisis SSP pada <i>Software Jack</i>	25
Gambar 2.10 Contoh Hasil Analisis LBA pada <i>Software Jack</i>	27
Gambar 2.11 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh	28
Gambar 2.12 Penjelasan Perincian Nilai OWAS.....	29
Gambar 2.13 Contoh Hasil Analisis OWAS pada <i>Software Jack</i>	30
Gambar 2.14 Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh A.....	31
Gambar 2.15 Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh B.....	31
Gambar 2.16 Contoh Hasil Analisis RULA pada <i>Software Jack</i>	33
Gambar 2.17 Alur Metode PEI	34
Gambar 3.1 Struktur Organisasi Gudang Pabrik <i>Skin Care PT. X</i>	44
Gambar 3.2 Bentuk <i>Manual Hand Pallet</i>	47
Gambar 3.3 Dimensi Detail Tubuh Pekerja dengan <i>Percentile 5</i>	50
Gambar 3.4 Dimensi Detail Tubuh Pekerja dengan <i>Percentile 95</i>	50
Gambar 3.5 Bentuk <i>Electrical High Lifter</i>	52
Gambar 3.6 Bentuk <i>Adjustable Conveyor</i>	52
Gambar 3.7 Bentuk <i>Vacuum Grip</i>	53
Gambar 3.8 Bentuk Kardus yang Disimulasikan.....	54
Gambar 3.9 Bentuk Palet yang Disimulasikan	55

Gambar 3.10 Pembuatan <i>Virtual Environment</i> pada <i>Software Jack</i>	56
Gambar 3.11 <i>Basic Scaling</i> pada <i>Custom Model Software Jack</i>	57
Gambar 3.12 <i>Advanced Human Scaling</i> pada <i>Custom Model Software Jack</i>	58
Gambar 3.13 Contoh Pengaturan Postur Manekin.....	59
Gambar 3.14 Contoh Pengaturan Postur dengan Menggunakan <i>Human Control</i> .59	
Gambar 3.15 Contoh Pengaturan Postur dengan Menggunakan <i>Adjust Joint</i>	60
Gambar 3.16 Tampilan Pembuatan Simulasi dengan Menu TSB.....	61
Gambar 3.17 Tampilan Pembuatan Simulasi dengan Menu <i>Animation System</i>	61
Gambar 3.18 Perbandingan Gerakan Aktual dengan Gerakan Animasi.....	62
Gambar 3.19 Contoh <i>Output Analisis SSP</i>	64
Gambar 3.20 Contoh <i>Output Analisis LBA</i>	64
Gambar 3.21 Contoh <i>Output Analisis OWAS</i>	65
Gambar 3.22 Contoh <i>Output Analisis RULA</i>	66
Gambar 3.23 Contoh <i>Output Analisis NIOSH</i>	67
Gambar 3.24 <i>Output Analisis SSP</i> untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg.....	68
Gambar 3.25 <i>Output Analisis SSP</i> untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban	69
Gambar 3.26 <i>Output Analisis LBA</i> untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg....	69
Gambar 3.27 <i>Output Analisis LBA</i> untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban	70
Gambar 3.28 <i>Output Analisis OWAS</i> untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg 70	
Gambar 3.29 <i>Output Analisis OWAS</i> untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban	71
Gambar 3.30 <i>Output Analisis RULA</i> untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg.72	
Gambar 3.31 <i>Output Analisis RULA</i> untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban	72
Gambar 3.32 <i>Output LBA</i> dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1	75
Gambar 3.33 <i>Output LBA</i> dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1	76
Gambar 3.34 <i>Output OWAS</i> dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1	76
Gambar 3.35 <i>Output OWAS</i> dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1	77
Gambar 3.36 <i>Output RULA</i> dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1	77
Gambar 3.37 <i>Output RULA</i> dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1	78
Gambar 3.38 <i>Output NIOSH</i> dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1	80
Gambar 3.39 <i>Output NIOSH</i> dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1	81
Gambar 4.1 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 1	85
Gambar 4.2 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 1	86

Gambar 4.3 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 2	91
Gambar 4.4 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 2	92
Gambar 4.5 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 3	98
Gambar 4.6 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 3	99
Gambar 4.7 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 4	104
Gambar 4.8 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 4	105
Gambar 4.9 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 5	111
Gambar 4.10 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 6	115
Gambar 4.11 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 7	119
Gambar 4.12 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 7	120
Gambar 4.13 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 8	124
Gambar 4.14 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 8	125
Gambar 4.15 Grafik Rekapitulasi Nilai PEI untuk Setiap Konfigurasi	129
Gambar 4.16 Perbandingan Nilai PEI Alat Bantu yang Direkomendasikan	131

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Metode Perhitungan <i>Frequency Multiplier (FM)</i>	38
Tabel 2.2 Metode Perhitungan <i>Coupling Multiplier (CM)</i>	39
Tabel 3.1 Data Tinggi dan Berat Badan Operator Angkut Barang	48
Tabel 3.2 <i>Percentile 5, 50 dan 95</i> dari Data Tinggi dan Berat Badan	49
Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 1	84
Tabel 4.2 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 1	88
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan <i>Lifting Index</i> Konfigurasi 1	90
Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 2	91
Tabel 4.5 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 2	94
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan <i>Lifting Index</i> Konfigurasi 2	95
Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 3	97
Tabel 4.8 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 3	101
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan <i>Lifting Index</i> Konfigurasi 3	103
Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 4	104
Tabel 4.11 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 4	107
Tabel 4.12 Rekapitulasi Perhitungan <i>Lifting Index</i> Konfigurasi 4	109
Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 5	110
Tabel 4.14 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 5	112
Tabel 4.15 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 6	114
Tabel 4.16 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 6	116
Tabel 4.17 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 7	118
Tabel 4.18 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 7	121
Tabel 4.19 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 8	123
Tabel 4.20 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 8	127

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Upaya peningkatan jumlah produksi dalam dunia industri tentu memiliki keterkaitan yang erat dengan usaha untuk terus juga meningkatkan kemampuan dan produktivitas sumber daya manusia yang bekerja di dalamnya. Proses peningkatan produktivitas pekerja tersebut tentu tidak semata didorong oleh perbaikan kemampuan atau kompetensi melainkan juga harus didukung oleh berbagai faktor penunjang seperti sistem kerja yang efisien, peralatan yang ergonomis, beban kerja yang ideal, serta interaksi yang sehat dengan lingkungan kerja yang dihadapi.

Industri *Fast Moving Consumer Goods* (FMCG) yang memiliki ciri produk-produknya mudah ditemui dengan harga terjangkau serta tingkat penjualan yang tinggi dan cepat merupakan salah satu jenis industri yang mengalami pertumbuhan sangat pesat. Industri FMCG bahkan berhasil membuktikan kemampuan dalam mempertahankan pertumbuhan bisnisnya di tengah penurunan laju pertumbuhan ekonomi global tahun 2008 lalu. Peningkatan penjualan ini tentunya menuntut semakin tingginya jumlah produksi agar mampu mengimbangi permintaan.

Salah satu dampak yang dirasakan dari peningkatan produksi ini tentu semakin tingginya laju perpindahan material di gudang yang sangat cepat dan dalam volume besar. Tingginya pergerakan material di *raw material store* atau gudang bahan baku ini mengharuskan pekerja untuk terus-menerus mengangkut material dengan ritme yang cepat. Padahal di sisi lain material yang diangkut seringkali memiliki bobot yang besar dan tidak ditunjang dengan alat bantu *material handling* yang ergonomis.

Beban pekerjaan yang sangat berat ini termasuk dirasakan oleh pekerja di bagian *unloading* yang sering kali harus melakukan bongkar muat barang dari dalam truk dengan mengandalkan kekuatan fisik semata tanpa alat bantu yang bisa menunjang. Masalah ergonomi pada divisi ini sering kali dipengaruhi oleh postur dan beban kerja ketika harus melakukan pengangkutan manual kardus dari truk untuk disusun di atas palet-palet yang ada secara berulang-ulang (*repetitive action*).

Para pekerja yang melakukan *repetitive action* dengan gerakan dan posisi tubuh yang tidak menunjang dari sisi ergonomi akan sangat rentan mengalami gangguan cedera yang disebut dengan gangguan muskuloskeletal atau WMSD (*Work-Related Musculoskeletal Disorder*). Gangguan muskuloskeletal merupakan gangguan cedera yang menyerang bagian tubuh seperti otot, syaraf, tendon, ligamen, sendi, dan tulang belakang manusia. Selain faktor postur yang tidak baik dan berulang terus menerus, gangguan muskuloskeletal juga dapat dipicu oleh pengeluaran tenaga yang berlebihan dan lamanya waktu kerja.

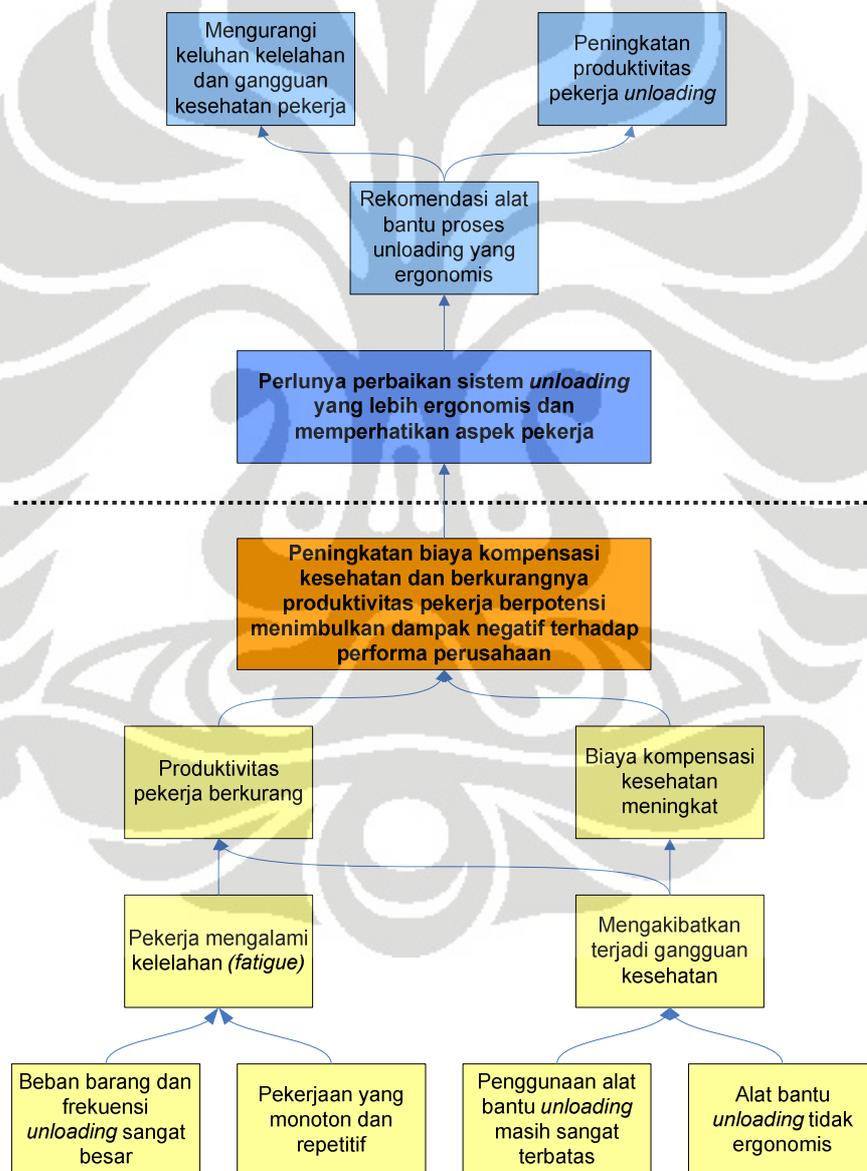
Ergonomi sebagai suatu ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai sering kali masih dipandang sebelah mata dalam sebuah industri. Padahal ilmu ini mampu berperan untuk memecahkan permasalahan yang disebabkan oleh ketidakserasian antara manusia dengan postur, lingkungan kerja dan peralatan yang digunakannya. Ergonomi juga menjadi penunjang bagi peningkatan produktivitas dan kualitas sistem kerja dengan memperhatikan kemampuan dan keterbatasan yang dimiliki oleh manusia.

Dewasa ini salah satu metode dalam menganalisis apakah suatu sistem kerja telah sesuai dengan prinsip-prinsip ergonomi adalah dengan menggunakan *virtual human and environment modeling*. Salah satu alat bantu yang dapat digunakan dalam metode ini ialah *software* Jack yang mampu menganalisis berbagai indikator ergonomi untuk menilai suatu pekerjaan dengan cepat dan akurat. *Software* ini memungkinkan penggunaanya untuk membangun manekin yang merepresentasikan tubuh manusia yang dievaluasi sesuai dengan data antropometri yang dimiliki. Model manekin ini dapat disesuaikan postur dan gerakannya serta diberikan perintah dan beban pekerjaan menyerupai kondisi aktual. Hasil yang diperoleh dari *software* ini berupa analisis dampak yang

ditimbulkan dari pekerjaan tersebut bagi tubuh manusia berdasarkan prinsip ergonomi.

1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, dapat dibuat diagram keterkaitan masalah seperti yang terlihat pada gambar 1.1. Diagram keterkaitan masalah ini akan memberikan gambaran secara keseluruhan mengenai hubungan dan interaksi antara sub-sub masalah yang melandasi penelitian ini.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan diagram keterkaitan masalah pada gambar 1.1 di atas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah perlunya dilakukan analisis secara ergonomi terhadap postur kerja operator bagian *unloading* pada area *Raw Material Store* (RMS). Analisis pekerjaan ini akan dibuat dengan menggunakan bantuan *software* Jack 6.1 untuk mengetahui bagaimana dampak dari proses *unloading* yang saat ini dilakukan terhadap kesehatan pekerja dengan mengacu pada prinsip dan indikator ergonomi. Hasil simulasi dengan *software* Jack yang berupa indikator penilaian kesehatan postur tubuh manusia tersebut akan dianalisis untuk menjadi dasar dalam menentukan alat bantu proses *unloading* yang memungkinkan dan tentunya berdampak positif dari sisi ergonomi. Usulan alat bantu ini juga akan disimulasikan kembali dengan menggunakan *software* Jack sehingga dapat diperoleh berbagai indikator sebagaimana yang dilakukan pada model aktual. Selanjutnya *output* dari seluruh simulasi yang ada akan dibandingkan dan dianalisis sebagai dasar dalam menentukan alat bantu yang direkomendasikan.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. *Output* :
 - Membuat model simulasi kerja dan *output* penilaian postur tubuh pekerja bagian *unloading* divisi *Raw Material Store* (RMS) dengan metode *virtual human and environment modeling* menggunakan *software* Jack 6.1.
2. *Outcome* :
 - Rekomendasi alat bantu yang ergonomis untuk menunjang performa pekerja bagian *unloading* berdasarkan analisis hasil simulasi yang dilakukan.

1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang terarah dan sesuai dengan tujuan awal penelitian, maka dilakukan beberapa batasan terhadap masalah, yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan pada pabrik *skin care* suatu perusahaan *fast moving consumer goods* yakni PT. X yang berlokasi di Cikarang.
2. Penelitian difokuskan hanya pada area *raw material store* (RMS) yang merupakan tempat penyimpanan material untuk produksi baik bahan baku produk (*raw material*) maupun material untuk pengisian dan pengepakan (*packaging material*).
3. Secara lebih spesifik, penelitian ini hanya mengamati proses *unloading* yang dilakukan secara manual (tanpa alat bantu) dari dalam truk di area pelataran RMS. Dalam hal ini proses *unloading* manual yang dimaksud ialah pengangkutan material berupa kardus dari dalam truk hingga penyusunannya ke atas palet yang dilakukan oleh pekerja tanpa menggunakan alat bantu.
4. Penelitian dibatasi hanya memperhatikan aktivitas dan postur pekerja tanpa memperhitungkan faktor eksternal seperti kondisi lingkungan (cahaya, suhu, kebisingan, dll) maupun kondisi psikologis dan emosional pekerja.
5. Penelitian dilakukan dengan berdasarkan prinsip dan disiplin ilmu ergonomi tanpa memperhitungkan aspek ekonomis termasuk dalam pemberian rekomendasi alat bantu untuk proses *unloading*.
6. Metode *virtual human and environment modeling* yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan *software* Jack 6.1 sebagai *tool* utama.

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang digunakan dalam skripsi ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang disusun secara sistematis sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan Penelitian

Pada tahapan awal penelitian, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan tema besar yang akan menjadi dasar dari topik penelitian yang dibuat. Proses penentuan topik penelitian ini juga didukung dengan observasi lapangan untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai berbagai permasalahan yang ada. Berdasarkan tema besar dan dikombinasikan dengan

gambaran-gambaran yang diperoleh selama observasi lapangan dapat ditentukan topik utama untuk penelitian.

Selanjutnya ditentukan dasar teori yang dapat mendukung penelitian ini, disertai perumusan tujuan penelitian dengan cara melakukan observasi, serta wawancara kepada pihak pekerja dan personalia untuk memberikan gambaran perlunya penelitian ini dilakukan.

2. Tahap pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap variabel-variabel yang berpengaruh dan akan diukur dalam penelitian. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data-data yang akan digunakan dengan cara observasi secara langsung disertai dengan pengukuran pada objek penelitian yang bersangkutan dan pengumpulan data dari dokumen-dokumen perusahaan. Data-data yang diperlukan antara lain data jenis dan jumlah alat bantu yang dimiliki, jenis dan jumlah barang yang datang (*unloading*) dalam waktu tertentu, jumlah pekerja *unloading* yang ada, data antropometri pekerja tersebut, dan postur serta gerakan ketika melakukan proses *unloading*. Selain itu pada tahap ini juga dilakukan pencarian referensi beragam jenis alat bantu yang dapat digunakan dalam proses *unloading*.

3. Tahap pengolahan data

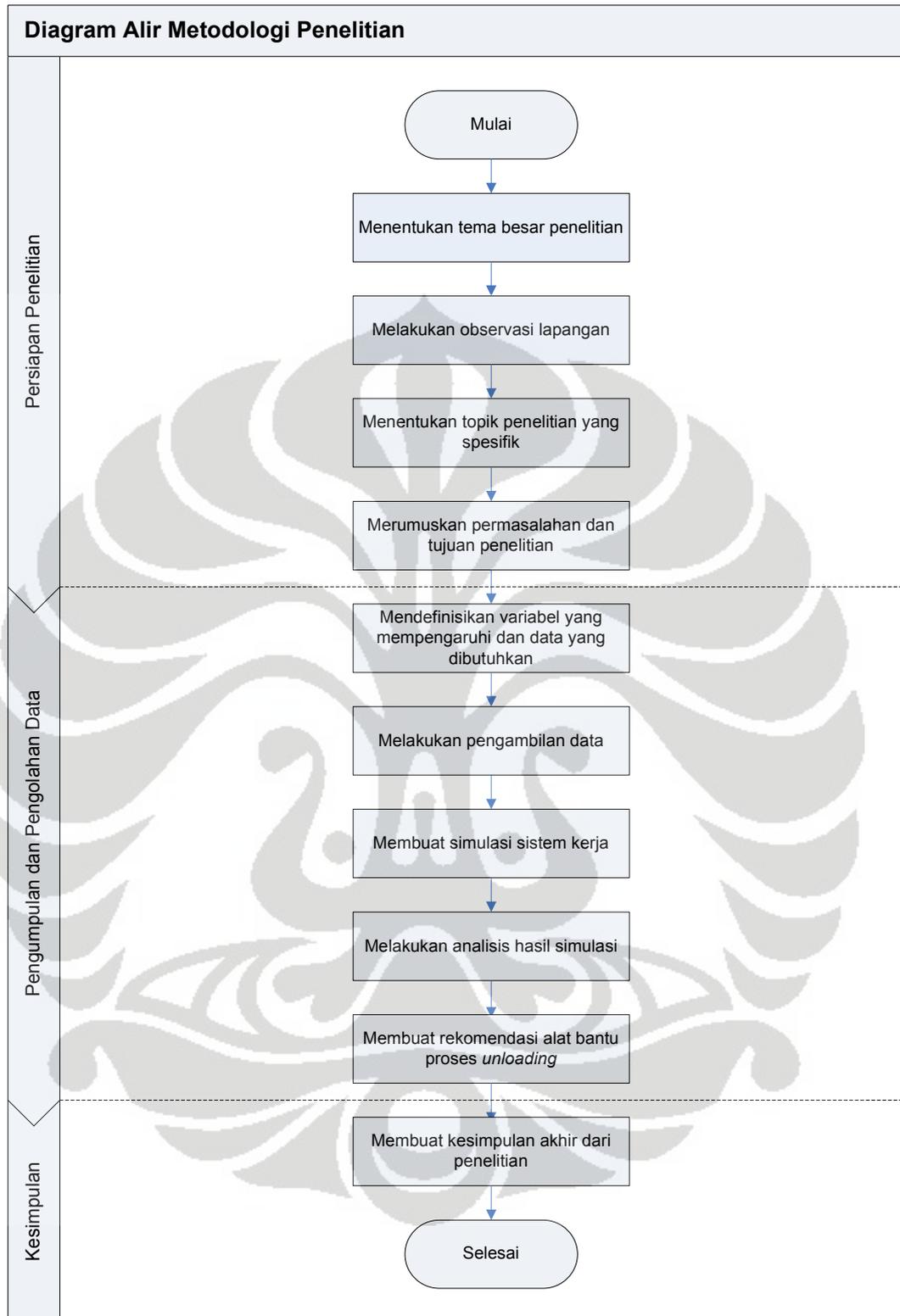
Pengolahan data dilakukan dengan metode simulasi menggunakan *software* Jack 6.1 yang mampu membantu proses analisis secara ergonomi. Data-data yang telah dikumpulkan akan diterjemahkan ke dalam bentuk simulasi virtual diawali dengan pembuatan kondisi lingkungan virtual yang menyerupai kondisi riil di lapangan dan manekin yang merepresentasikan manusia atau operator berdasarkan data antropometri. Selanjutnya dibuat simulasi aktivitas manekin tersebut menyerupai postur tubuh operator ketika melakukan proses *unloading*. Simulasi dengan *software* Jack ini akan menghasilkan *output* berupa nilai-nilai atau indikator evaluasi postur dan pekerjaan yang akan dianalisis secara lebih lanjut dengan menggunakan prinsip ergonomi.

4. Tahap analisis data

Analisis dilakukan dengan cara pengolahan *output* simulasi yang diperoleh dari *software* Jack sehingga didapatkan nilai *Postur Evaluation Index* (PEI) dan *Lifting Index* (LI). Nilai PEI dipergunakan untuk menilai kualitas ergonomi postur kerja yang dihasilkan dari setiap konfigurasi sedangkan nilai LI akan menunjukkan seberapa besar beban yang diangkat oleh pekerja jika dibandingkan dengan beban maksimal yang direkomendasikan. Simulasi ini tidak hanya dibuat untuk kondisi pekerjaan aktual tetapi juga terhadap kondisi pekerjaan dengan menggunakan alat bantu yang direkomendasikan. Dengan demikian dapat dilakukan perbandingan dan analisis nilai PEI dan nilai LI antara kondisi aktual dengan kondisi bila menggunakan alat bantu. Perbandingan inilah yang akan menjadi dasar dalam menentukan usulan atau rekomendasi alat bantu yang paling ideal secara ergonomi untuk proses *unloading* tersebut.

5. Tahap penarikan kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap hasil simulasi pekerjaan yang dibuat maka keseluruhan penelitian ini dapat disimpulkan untuk kemudian diberikan saran dan masukan yang berguna bagi pihak yang terkait dengan penelitian ini. Kesimpulan utama yang diberikan akan berupa rekomendasi alat bantu proses *unloading* yang dapat digunakan agar proses tersebut menjadi lebih ergonomis.



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Secara garis besar, penulisan penelitian ini terbagi ke dalam lima bab yakni bab pendahuluan, landasan teori, metode penelitian, analisis, dan kesimpulan.

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini. Hal tersebut diperjelas dengan menguraikan tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari rumusan permasalahan yang ada beserta ruang lingkup yang membatasi penelitian ini agar jelas dan terarah. Selain itu dalam bab ini juga dijelaskan mengenai metodologi penelitian, dan sistematika penulisan dengan tujuan memberikan gambaran awal tentang langkah-langkah dalam proses penyusunan penelitian.

Bab 2 merupakan landasan teori yang menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian dalam skripsi ini, yaitu mengenai teori *ergonomic design*, alat bantu dalam proses *unloading*, antropometri, *Postur Evaluation Index* (PEI), dan simulasi dengan menggunakan *virtual environment* dan *virtual human modelling* pada *software* Jack, serta teori-teori lain yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan

Bab 3 yang berisi metodologi penelitian diawali dengan tinjauan umum perusahaan mulai dari penjelasan singkat sejarah perusahaan lalu mengarah pada penjelasan struktur divisi *raw material store*, sistem aliran material dan proses *unloading* yang menjadi fokus penelitian, serta alat bantu yang saat ini dimiliki. Tinjauan umum ini bertujuan untuk memberi gambaran awal dari objek penelitian yang digunakan. Selanjutnya akan dijelaskan proses pengumpulan dan teknis pengambilan data yang menunjang penelitian ini termasuk beragam alat bantu yang akan disimulasikan. Dalam ini juga akan dijelaskan tahap-tahap pembuatan simulasi dengan menggunakan *software* Jack berikut *output* yang diperoleh. Pada akhir bab ini akan dijelaskan contoh perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI) dan *Lifting Index* (LI) yang menjadi dasar analisis penelitian ini.

Bab 4 merupakan bagian analisis terhadap seluruh indikator yang digunakan dalam penelitian ini baik berupa *output* simulasi dengan *software* Jack maupun penilaian PEI dan LI yang diperoleh untuk masing-masing operator pada setiap konfigurasi. Pada bab ini juga akan dianalisis perbandingan indikator

ergonomi yang diperoleh dari konfigurasi aktual maupun yang berasal dari konfigurasi dengan menggunakan alat bantu. Hasil analisis inilah yang akan mendasari pemberian rekomendasi alat bantu proses *unloading* yang paling sesuai dan ergonomis untuk digunakan di divisi *raw material store*.

Bab 5 sebagai bagian penutup akan memberikan kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dibuat disertai dengan masukan dan saran berdasarkan hasil yang telah dicapai.



BAB 2

DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini yang meliputi teori seputar ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *software* Jack dan *output* yang digunakan yakni *Static Strength Prediction* (SSP), *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Selain itu juga akan dijelaskan metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dan *Lifting Index* (LI) yang digunakan dalam melakukan analisis penelitian ini.

2.1 ERGONOMI

Kata ergonomi berasal dari bahasa Yunani “*ergo*” yang berarti kerja dan “*nomos*” yang berarti hukum¹. *The International Ergonomics Association* (2000) mendefinisikan ergonomi sebagai disiplin ilmu yang memperhatikan interaksi antara manusia dan elemen-elemen lain dari suatu sistem dan pekerjaan yang menggunakan teori, prinsip, data, dan metode untuk merancang suatu desain yang optimal bagi manusia dan kinerja sistem secara umum².

Ergonomi bertujuan untuk meningkatkan performa dari sistem dengan cara meningkatkan kualitas interaksi antara manusia dan mesin yang digunakan. Hal ini bisa dilakukan dengan “mendesain ke dalam” sebuah antar muka (*interface*) yang lebih baik atau dengan “mendesain ke luar” faktor-faktor yang ada di lingkungan (*environment*), kegiatan kerja (*task*), atau organisasi (*organization*)³.

¹ Martin Helander, *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). Taylor & Francis e-Library. London, 2006, hal.3.

² *Ibid*, hal.6.

³ R.S Bridger, *Introduction to ergonomics*. Taylor & Francis Group, London, 2003, hal.1.

The International Ergonomics Association juga membagi ergonomi menjadi tiga bagian besar yaitu:

- Ergonomi fisik (*physical ergonomics*) yang mempelajari anatomi tubuh manusia, antropometri, fisiologis dan biomekanika yang berhubungan dengan aktivitas fisik manusia.
- Ergonomi kognitif (*cognitive ergonomics*) yang mempelajari proses mental manusia, seperti persepsi, memori, dan respon motorik yang berpengaruh terhadap interaksi antara manusia dan elemen-elemen lain dari sistem.
- Ergonomi organisasi (*organizational ergonomics*) yang mempelajari optimasi dari sistem sosioteknik, termasuk struktur, kebijakan, dan proses dalam suatu organisasi.

2.2 ANTROPOMETRI

Antropometri yang berasal dari bahasa Yunani “*anthropos*” (manusia) dan “*metron*” (mengukur), merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari pengukuran tubuh manusia, khususnya ukuran, bentuk, kekuatan, dan kapasitas kerja tubuh. Data antropometri digunakan dalam kajian ergonomi untuk menentukan dimensi fisik dari tempat kerja, peralatan, perabotan, dan pakaian yang bertujuan untuk memastikan bahwa ketidaksesuaian secara fisik antara dimensi peralatan dan produk dengan dimensi yang berkaitan dengan pengguna dapat dihindari⁴.

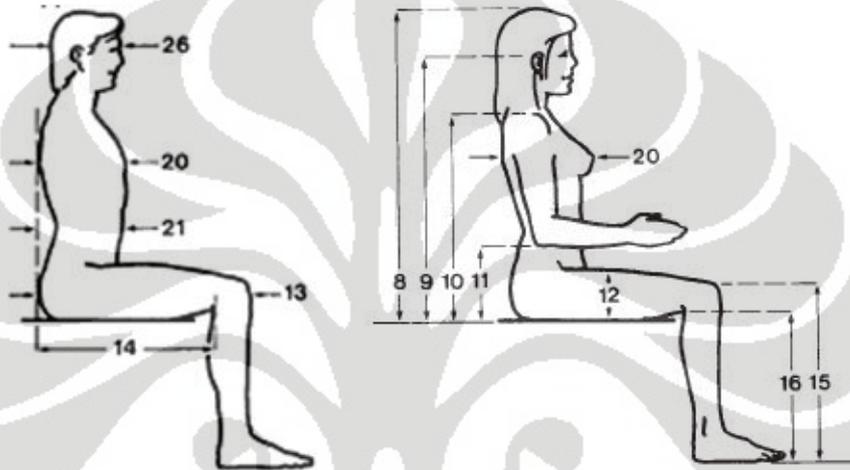
Pengertian antropometri menurut Stevenson (1989) dan Eko Nurmiyanto (1991) adalah kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia mencakup ukuran, bentuk, dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain. Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi-dimensi yang tepat berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan mengoperasikan atau menggunakan produk tersebut.

Pengukuran data antropometri dilakukan dalam dua cara, yaitu:

1. Pengukuran dimensi struktur tubuh (*structural body dimension*)

⁴ *ibid*, hal.58

Pengukuran dilakukan terhadap berbagai posisi standar tubuh dan tidak bergerak (tetap tegak sempurna). Istilah lain dari pengukuran ini adalah *static anthropometry*. Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap antara lain meliputi berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri maupun duduk, ukuran kepala, tinggi/panjang lutut pada saat berdiri maupun duduk, panjang lengan, dan sebagainya. Ukuran tubuh diambil dengan persentil tertentu seperti persentil 5 dan 95.



Gambar 2.1 Antropometri Statis untuk Orang yang Duduk

Sumber: Pheasant, 2003, hal.31 & 34

2. Pengukuran dimensi fungsional tubuh (*functional body dimension*)

Pengukuran dilakukan terhadap posisi tubuh pada saat berfungsi melakukan gerakan-gerakan tertentu yang berkaitan dengan kegiatan yang harus diselesaikan. Hal pokok yang ditekankan dalam pengukuran dimensi fungsional tubuh adalah mendapatkan ukuran tubuh yang nantinya akan berkaitan erat dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan tubuh untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu. Istilah lain dari pengukuran ini adalah *dynamic anthropometry*. Antropometri dalam posisi tubuh melakukan fungsinya yang dinamis banyak diaplikasikan dalam proses perancangan fasilitas maupun ruang kerja. Sebagai contoh, perancangan kursi mobil dimana posisi tubuh pada saat melakukan gerakan mengoperasikan kemudi, tangkai pemindah gigi, pedal serta jarak antara manusia dengan atap mobil dan *dashboard*.

Dalam pembuatan antropometri, ada empat batasan utama yang harus diperhatikan, yaitu⁵:

1. Jarak ruangan (*clearance*)

Dalam merancang stasiun kerja, kita perlu memperhatikan jarak antar ruangan. Lingkungan kerja harus menyediakan ruang akses dan sirkulasi yang memadai. Jarak ruangan merupakan konstrain satu arah (*one-way constraint*) dan menentukan dimensi minimum yang dapat diterima oleh sebuah objek.



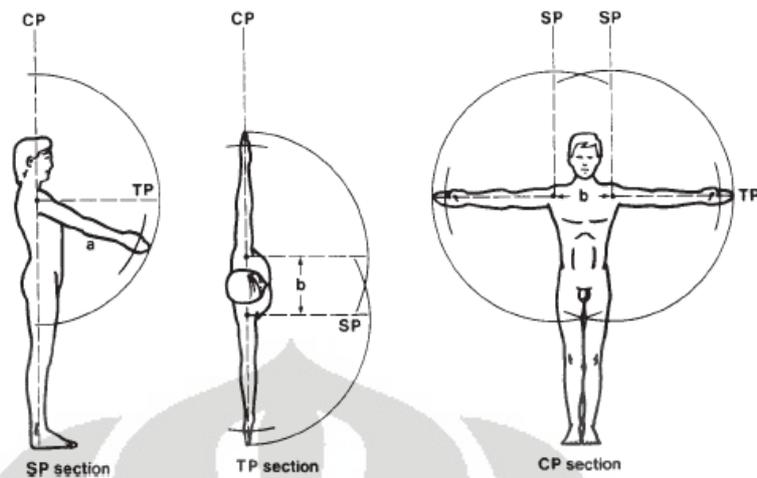
Gambar 2.2 Dimensi Jarak Ruangan (*Clearance Dimension*) untuk Berbagai Posisi

Sumber: Pheasant, 2003, hal.47

2. Jangkauan (*reach*)

Batas jangkauan (*reach constraint*) menentukan dimensi maksimum yang dapat diterima oleh suatu objek. Jangkauan juga merupakan batasan satu arah (*one-way constraint*) dan ditentukan oleh anggota populasi yang kecil seperti persentil 5.

⁵ Stephen Pheasant, *Bodyspace: anthropometry, ergonomics and the design of work*. Taylor & Francis e-Library, London, 2003, hal.22-23



Gambar 2.3 Wilayah Jangkauan Manusia

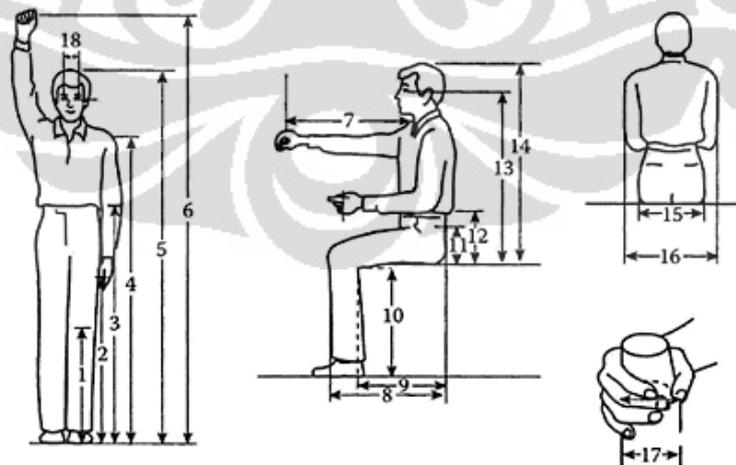
Sumber: Pheasant, 2003, hal.53

3. Postur tubuh (*posture*)

Postur merupakan konstrain dua arah (*two-way constraint*) sehingga lebih kompleks daripada jarak ruangan dan jangkauan. Postur seseorang saat bekerja ditentukan oleh hubungan antara dimensi tubuh dan stasiun kerjanya.

4. Kekuatan (*strength*)

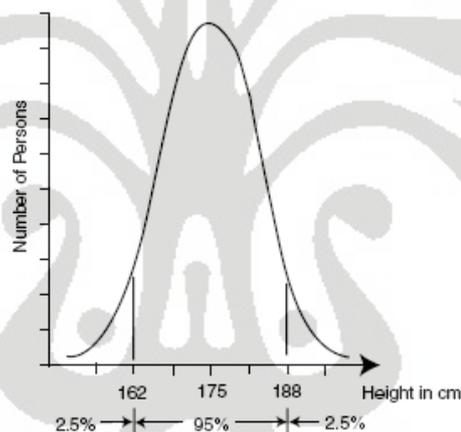
Konstrain ini memperhatikan penggunaan gaya dalam operasi control dan pekerjaan fisik lainnya. Konstrain kekuatan digunakan untuk menentukan tingkat gaya yang dapat diterima oleh pengguna yang lemah.



Gambar 2.4 Contoh Pengukuran Antropometri

Sumber: Helander, 2006, hal.154

Sebagian besar dimensi tubuh manusia umumnya terdistribusi secara normal sehingga setiap data pengukuran biasanya berada dalam kurva “*bell-shape*”. Hanya sedikit orang yang benar-benar pendek atau benar-benar tinggi, tapi sebagian besar lainnya berada di sekitar pusat distribusi atau rata-rata (*mean*). Gambar 2.5 menunjukkan distribusi dari tinggi tubuh pria di Amerika. Pada gambar dapat dilihat bahwa hanya 2,5% populasi yang tinggi tubuhnya lebih rendah daripada tinggi tubuh rata-rata yaitu 162 cm dan 2,5% lainnya mempunyai tinggi tubuh yang melebihi 188 cm. Dengan kata lain dapat disebutkan bahwa sekitar 95% dari populasi berada dalam kisaran tinggi 162 cm sampai dengan 188 cm, karena nilai persentil 2,5 adalah 162 cm dan nilai persentil 97,5 adalah 188 cm⁶.



Gambar 2.5 Data Distribusi Tinggi Tubuh Pria di Amerika

Sumber: Marras & Karwowski, 2006, hal.9-4

Pengukuran data antropometri biasanya dinyatakan dengan menggunakan persentil dimana yang paling banyak digunakan adalah persentil 5, persentil 50, dan persentil 95⁷. Dalam perhitungan persentil, ada dua cara yang dapat digunakan yaitu pertama, dengan langsung melihat distribusi data, dan kedua, dengan menggunakan grafik (pengukuran, perhitungan, atau perkiraan) nilai

⁶ W.S Marras dan W. Karwowski, *Fundamental and assessment tools for occupational ergonomics*, Taylor & Francis Group, London, 2006, hal.9-4

⁷ Martin Helander, *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). Taylor & Francis e-Library. London, 2006, hal 58

persentil⁸. Oleh karena kebanyakan data antropometri terdistribusi secara normal, maka pendekatan yang lebih mudah digunakan adalah cara kedua yang melibatkan standar deviasi, S . Perhitungan persentil, p , dengan pendekatan ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$p = m + k \times S \quad (2.1)$$

dengan p = nilai persentil; m = nilai rata-rata; k = faktor pengali; S = standar deviasi

Jika persentil yang diinginkan di atas persentil 50, maka faktor k , bertanda positif. Sebaliknya, jika persentil yang diinginkan berada di bawah persentil 50, maka faktor k , bernilai negatif⁹.

2.3 MUSCULOSKELETAL DISORDERS

Kondisi kerja yang tidak ergonomis dapat memicu terjadinya *Work related Musculoskeletal Disorders* (WMSD). WMSD merupakan keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari tingkat yang paling rendah hingga yang sangat sakit. Keluhan ini pertama kali ditemukan ketika dilakukan penelitian mengenai pekerjaan yang berulang dengan beban yang terus-menerus. Mekanisme imunologis dan biokimia yang ada tidak memberikan banyak informasi, tetapi satu hal yang pasti ialah terjadinya kerusakan jaringan yang cukup parah sehingga menyebabkan tidak berfungsinya beberapa substansi pada tubuh.

Musculoskeletal disorders biasanya terjadi karena otot menerima beban statis secara berulang dalam jangka waktu yang lama sehingga menimbulkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligament dan tendon.¹⁰ Secara garis besar, keluhan otot muskuloskeletal dikelompokkan menjadi dua¹¹:

1. Keluhan sementara dimana keluhan hanya terjadi pada saat otot menerima beban statis dan akan segera menghilang apabila pembebanan tersebut dihentikan.

⁸ W.S Marras dan W. Karwowski, *Op.Cit.*

⁹ *Ibid.*

¹⁰ Garndjean, E., *Fitting the task to the man 4th edition*, London and Francis Inc., 1993, hal 132

¹¹ Tarwaka. Bakri, Solichul, HA. Sudiajeng, Lilik, *Ergonomi untuk keselamatan, kesehatan kerja dan produktivitas*, UNIBA Press, 2004, hal.117.

2. Keluhan menetap dimana keluhan pada otot tetap terasa sekalipun pemberian beban kerja telah dihentikan. Keluhan ini cenderung berat dan akan sangat membebani orang tersebut saat beraktivitas.

Secara umum, keluhan otot skeletal terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Oleh karena itu, kontraksi otot perlu dijaga hanya pada level antara 15% hingga 20% dari kekuatan otot maksimum untuk meminimalisir timbulnya keluhan. Apabila level kontraksi otot telah lebih dari 20% maka peredaran darah ke otot akan berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Penurunan suplai oksigen ke otot ini akan menyebabkan proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang mengakibatkan timbulnya rasa nyeri otot¹².

Timbulnya *musculoskeletal disorders* dapat disebabkan oleh beberapa faktor primer, di antaranya :

- Peregangan otot yang berlebihan.
- Aktivitas atau pekerjaan yang berulang-ulang.
- Sikap kerja yang tidak sesuai atau tidak alamiah.

Di samping itu, ada juga faktor-faktor sekunder seperti :

- Tekanan yang bersifat langsung pada jaringan otot lunak.
- Mikrolimat atau paparan udara panas dan dingin yang tidak sesuai.
- Getaran dengan frekwensi tinggi yang menyebabkan kontraksi otot bertambah. Akibatnya proses peredaran darah tidak lancar sehingga terjadi penimbunan asam laktat yang berujung pada timbulnya rasa nyeri otot¹³.

Faktor-faktor kombinasi penyebab terjadinya WMSD meliputi :

- Umur. Pada umumnya keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 25 – 60 tahun¹⁴.
- Jenis kelamin. Secara fisiologis kemampuan otot wanita hanya sekitar dua per tiga daripada kekuatan otot pria¹⁵.

¹²P.K. Suma'mur, *Ergonomi untuk produktivitas kerja*, Yayasan Swabhawa Karya, Jakarta, 1982

¹³ *Ibid*

¹⁴ D.B., Choffin, *Localized muscle fatigue, definition and measurement. Journal of Occupational Medicine*, 1979, hal.346

- Kebiasaan merokok. Semakin lama dan semakin tinggi frekuensi merokok akan berdampak pada semakin tingginya tingkat keluhan otot yang dirasakan.
- Kesegaran jasmani. Laporan NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) menyatakan bahwa untuk tingkat kesegaran tubuh yang rendah maka risiko terjadinya keluhan adalah 7.1%, tingkat kesegaran tubuh sedang adalah 3.2% dan tingkat kesegaran tubuh tinggi adalah 0.8%.
- Kekuatan fisik.
- Ukuran tubuh (antropometri).

Proses pengukuran untuk mengenali penyebab keluhan muskuloskeletal dapat dilakukan dengan membuat *checklist*, model biomekanik, fisik, psikofisik, pengamatan, dan analitik.

2.4 SOFTWARE JACK

Jack merupakan sebuah *software* ergonomi yang dapat digunakan untuk menganalisis postur kerja dari suatu aktivitas yang disimulasikan dengan menggunakan bantuan lingkungan kerja virtual (*virtual environment*) dan postur tubuh manekin yang merepresentasikan manusia (*virtual human*). Pembuatan simulasi dengan bantuan keduanya akan mampu menciptakan interaksi antar elemen dalam lingkungan grafis yang mendekati kondisi dunia yang nyata (*real-world*). Dengan demikian manusia digital yang digunakan dalam simulasi dengan menggunakan *software* Jack akan bertindak dan bergerak layaknya manusia di dunia nyata. *Software* Jack juga memiliki keunggulan dalam menciptakan simulasi manusia dengan karakteristik ergonomi, biomekanik, dan antropometri yang tepat.

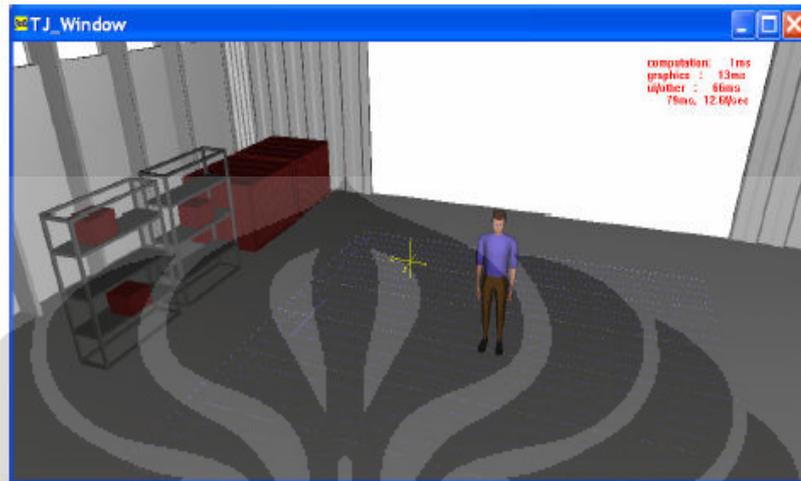
Pembuatan simulasi dengan menggunakan *software* Jack terdiri dari beberapa tahapan yakni :

1. Pembuatan lingkungan virtual

Proses pembuatan lingkungan virtual dapat dilakukan dengan memanfaatkan berbagai objek yang telah tersedia di dalam *software* Jack maupun dengan mengimpor objek yang telah dibuat dengan berbagai *software* grafis yang ada.

¹⁵P.O. Astrand, *Textbook of Working Physiology, 2th ed.*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1977

Proses impor gambar diawali dengan konversi format gambar tersebut ke dalam format yang *compatible* dengan *software* Jack.

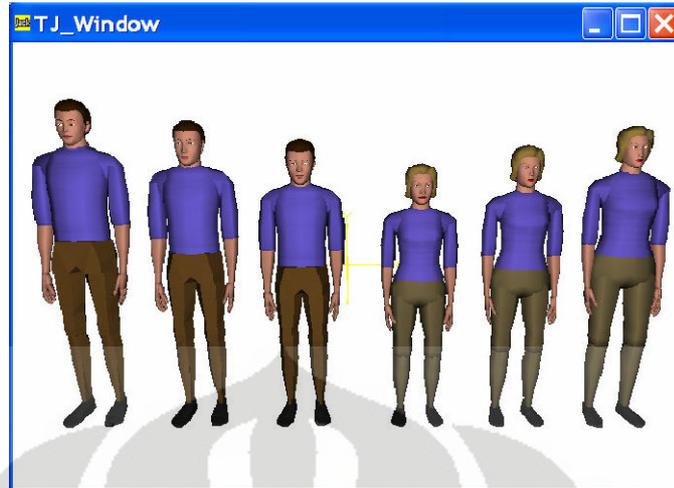


Gambar 2.6 Contoh Lingkungan Virtual pada *Software* Jack

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.15

2. Pembuatan manekin atau manusia digital

Dalam membuat manekin yang digunakan sebagai dasar analisis ergonomi, Jack menggunakan database antropometri ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*) sebagai acuan. Selain dengan menggunakan data yang telah tersedia tersebut, *software* Jack juga memungkinkan pembuatan model manusia digital dengan berdasarkan data antropometri yang dimiliki. Proses pembuatan ini dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *advanced human scaling*.



Gambar 2.7 Contoh Manusia Digital dengan Persentil 95%, 50% dan 5%

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.65

3. Mengatur postur dan gerakan manusia digital

Animasi yang disediakan oleh Jack sangat memungkinkan pembuatan mekanisme gerakan sehingga manusia digital dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Di samping itu, postur tubuh manekin juga dapat disesuaikan dengan fungsi *human control* dan *adjust joint*.

Setelah seluruh simulasi selesai dibuat maka tahap selanjutnya ialah analisis ergonomi terhadap manekin yang disimulasikan. Untuk menjalankan fungsi ini, *software* Jack memiliki menyediakan beberapa *tools* yang disebut sebagai *Jack Task Analysis Toolkit* (TAT).

TAT merupakan alat analisis ergonomi yang akan membantu penggunaanya dalam mendesain area kerja yang lebih baik dan juga memperbaiki eksekusi dari sebuah operasi pekerjaan. Alat ini akan sangat berguna terutama ketika seorang desainer sedang mengembangkan model desain tempat kerja dan operasi pekerjaan karena aspek manusia dapat diperhitungkan dalam proses desain sehingga dapat lebih dipastikan tingkat keamanan pekerja dan menghasilkan produktivitas maksimum. Dengan menggunakan TAT ini, seseorang dapat secara interaktif melakukan evaluasi ergonomi dari suatu desain. TAT akan membantu

mengurangi risiko kecelakaan kerja terutama yang berkaitan dengan timbulnya penyakit pada tubuh bagian atas.¹⁶

TAT ini menyediakan 9 alat analisa yang memiliki keunggulan dan fungsi masing-masing :

- *Low Back Spinal Force Analysis* untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu.
- *Static Strength Prediction (SSP)* untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan tertentu berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan antropometri.
- *NIOSH Lifting Analysis* untuk mengevaluasi proses pengangkatan yang dilakukan berdasarkan standar NIOSH.
- *Predetermined Time Analysis* untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*.
- *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan pada tubuh bagian atas sebagai akibat dari pekerjaan yang dilakukan.
- *Manual Handling Limits* untuk mengevaluasi dan mendesain pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang.
- *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)* untuk menyajikan analisis tingkat kenyamanan dari suatu pekerjaan atau postur tertentu dengan mengukur beberapa bagian tubuh standar.
- *Metabolic Energy Expenditure* untuk memprediksi kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan yang dimiliki.
- *Fatigue and Recovery Time Analysis* untuk memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia dalam suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja.

¹⁶ Siemens PLM Software. *Task Analysis Toolkit for Jack*, 2008, <www.siemens.com/plm>.

2.5 OUTPUT ANALISIS SOFTWARE JACK

Sebagaimana yang telah disinggung pada sub bab 2.4 di atas, *software* Jack menghasilkan beberapa *output* analisis ergonomi. Dalam penelitian ini digunakan 5 dari 9 buah *output* tersebut yakni *Static Strength Prediction* (SSP), *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA).

2.5.1 *Static Strength Prediction* (SSP)

SSP adalah sebuah *tool* yang digunakan untuk mengevaluasi persentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Evaluasi yang dilakukan SSP dilakukan dengan mempertimbangkan postur, tenaga yang dibutuhkan dan antropometri. Prinsip dasar SSP adalah¹⁷:

$$\begin{array}{l} \text{[Each Joint Load Moment]} < \text{[Population Strength Moments]} \\ \text{(Predicted from model)} \quad \quad \quad \text{(Statistically defined norms)} \end{array}$$

SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika tersebut adalah dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit (fungsi tulang) dan bergerak (fungsi otot). Pergerakan otot akan membuat tulang untuk cenderung berotasi pada setiap persendian yang ada dimana besarnya kecenderungan berotasi ini disebut dengan momen rotasi pada suatu sendi. Selama terjadi pergerakan, maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal lainnya. Secara matematis hal ini dituliskan dalam persamaan:

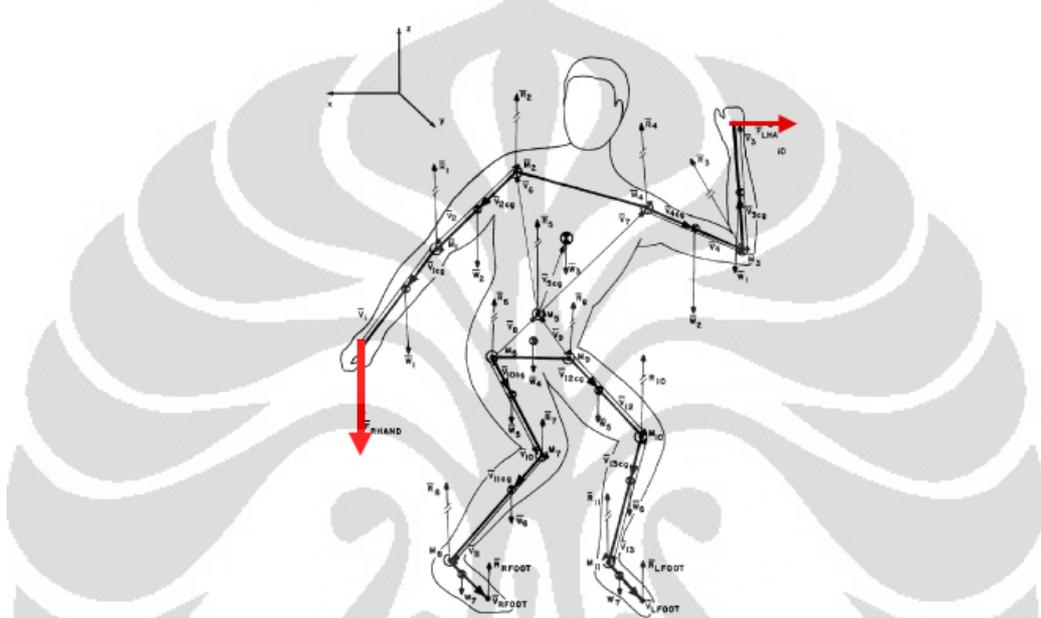
$$M_j = S_j \tag{2.2}$$

dimana M_j adalah gaya eksternal di setiap persendian dan S_j adalah gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Nilai dari M_j dipengaruhi oleh tiga faktor:

- Beban yang dialami oleh tangan (contohnya: beban mengangkat, gaya dorong, dan lain-lain).
- Postur kerja ketika seseorang mengeluarkan usaha terbesarnya .
- Antropometri tubuh manusia tersebut.

¹⁷ Don B. Chaffin, G Lawton, and Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, University of Michigan, 2003.

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul maka data-data tersebut dioleh dengan mekanika Newton. Gaya yang diperoleh tubuh dari luar akan dikalikan dengan jarak antara titik tempat tubuh menerima gaya luar tersebut dengan persendian. Yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Gambar 2.8 berikut ini akan memberikan gambaran model biomekanika manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan suatu aktivitas.



Gambar 2.8 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya Pada Persendian

Sumber: Don B. Chaffin, G Lawton, dan Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, 2003

SSP memiliki beberapa fungsi, di antaranya :

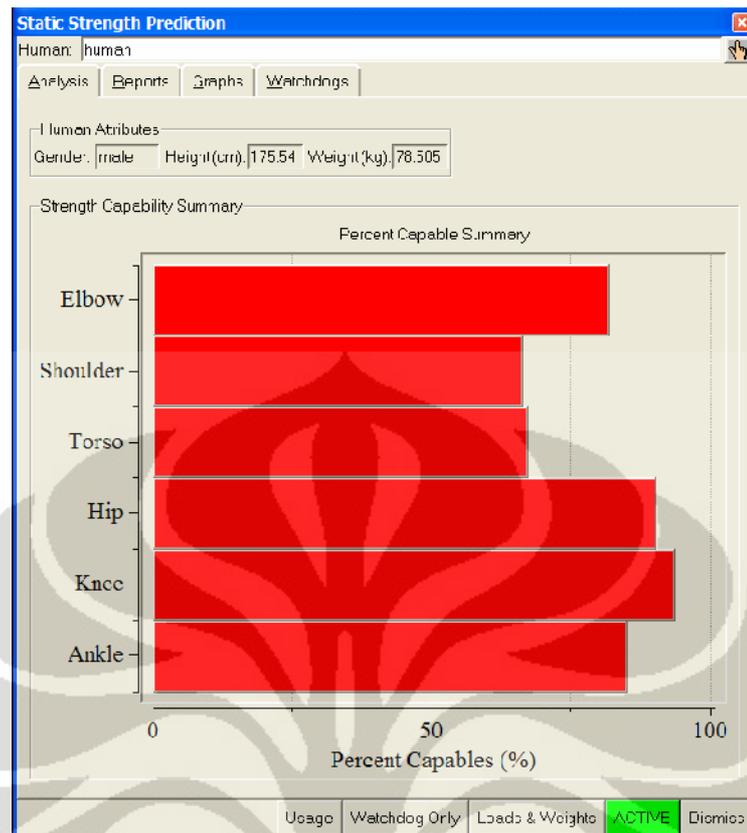
- Membantu menganalisa pekerjaan yang berhubungan dengan penanganan material seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, dan menarik yang membutuhkan penggunaan tenaga tangan yang rumit, gerakan memutar bagian tubuh dan penekukan bagian tubuh tertentu.
- Memprediksi persentase pria dan wanita yang memiliki kekuatan statis dalam melaksanakan pekerjaan tertentu.
- Mengevaluasi pekerjaan secara *real-time* sehingga dapat diketahui pekerjaan-pekerjaan yang melebihi standar NIOSH atau batas kemampuan pekerja.

Hasil analisis SSP yang dikeluarkan oleh *software* Jack dapat berupa:

- Persentase pekerja yang memiliki kekuatan statis untuk melakukan pekerjaan tertentu yang disimulasikan.
- Sudut lengan yang tepat dengan mempertimbangkan siku, bahu, rotasi tulang humerus, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki; serta memprediksi sudut tubuh dengan mempertimbangkan lekukan fleksi, rotasi, dan lateral.
- Torsi lengan dan tubuh, disertai dengan efek otot (fleksi, ekstensi, abduksi atau aduksi), nilai rata-rata (*mean*) kekuatan dari suatu populasi, dan standard deviasi kekuatan.

SSP dapat digunakan untuk membantu mencari solusi terhadap permasalahan-permasalahan sebagai berikut:

- Menganalisa apakah semua pekerja akan memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan tertentu.
- Mengidentifikasi rangkaian pekerjaan yang membutuhkan kekuatan yang melebihi kemampuan populasi pekerja.
- Menjalankan skenario “*what-if*” untuk pekerjaan manual dengan memodifikasi variasi parameter yang mempengaruhi kemampuan kekuatan postur dan beban yang dapat ditanggung tangan pekerja.
- Mendemonstrasikan postur yang sebaiknya dilakukan untuk sebuah pekerjaan.



Gambar 2.9 Contoh Hasil Analisis SSP pada *Software Jack*

Sumber: *Jack Training Manual*, 2008, hal.12

2.5.2 Low Back Analysis (LBA)

LBA adalah sebuah tool untuk mengevaluasi kekuatan tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu. Dalam Jack, maka postur dan kondisi yang dimaksud adalah postur dan kondisi yang diciptakan melalui manipulasi persendian (*joint*). Proses analisis LBA pada Jack TAT dilakukan secara *real-time* terhadap aktivitas yang berhubungan dengan operasi suatu pekerjaan pada suatu manusia digital.

Nilai dari *Low Back Analysis* (LBA) ini didapatkan berdasarkan perbandingan dengan tugas mengangkat (*lifting*) yang diberikan oleh standar NIOSH.

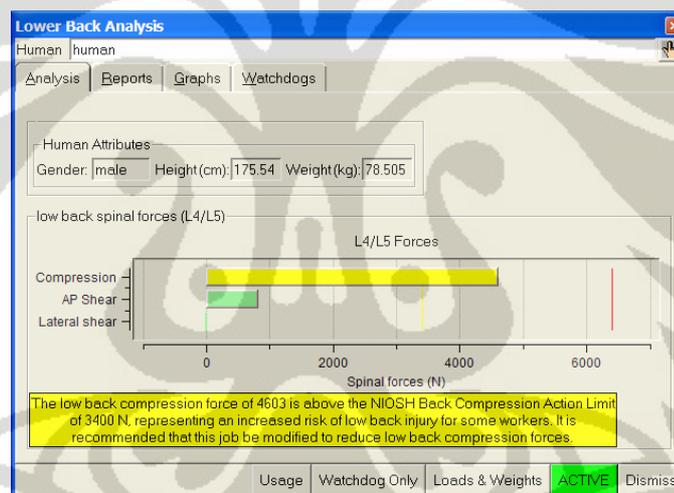
Hasil LBA yang dikeluarkan *software Jack* memberikan informasi berupa:

- Kompresi dan pergeseran pada L4 dan L5 bagian lumbal tulang belakang dan bagaimana perbandingannya dengan standar yang direkomendasikan oleh NIOSH.

- Momen-reaksi (torsi) yang terjadi pada bidang axial, sagittal, dan lateral L4 dan L5 bagian lumbal tulang belakang sebagai hasil representasi efek yang diterima oleh tubuh bagian atas terhadap berat yang ditopangnya.
- Aktivitas yang terjadi pada otot tubuh ketika mencoba untuk menyeimbangkan momen pada tulang belakang.

Hasil yang dikeluarkan oleh LBA dapat dimanfaatkan untuk hal-hal sebagai berikut:

- Menentukan apakah tempat kerja yang telah ada atau akan sudah sesuai dengan standard NIOSH atau sebaliknya meningkatkan risiko kecelakaan dan penyakit pada tulang belakang.
- Mengevaluasi pekerjaan secara *real-time* sehingga dapat ditelusuri waktu ketika tekanan yang terjadi pada tulang belakang melebihi standar yang direkomendasikan oleh NIOSH.



Gambar 2.10 Contoh Hasil Analisis LBA pada *Software Jack*

Sumber: *Jack Training Manual*, 2008, hal.4

Permasalahan-permasalahan yang dapat diatasi dengan menggunakan hasil dari LBA adalah:

- Pembuatan desain *layout* tempat kerja dan pekerjaan yang bersifat manual (*manual-task*) yang meminimalisasi risiko terjadinya gangguan pada tulang belakang.
- Mengevaluasi pekerjaan yang ada untuk menentukan risiko gangguan pada tulang belakang yang disesuaikan dengan standard NIOSH.

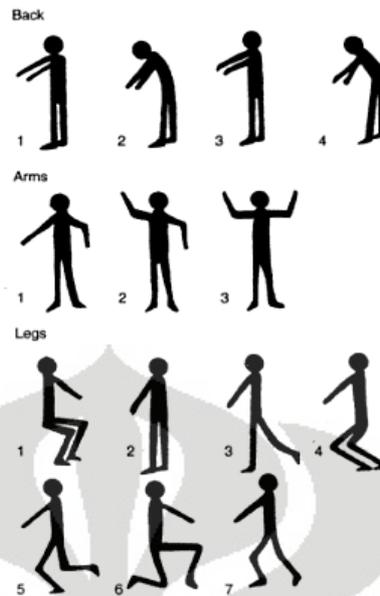
- Membuat prioritas pekerjaan yang paling membutuhkan modifikasi ergonomi.
- Menjalankan skenario untuk memodifikasi pekerjaan dengan berbagai parameter yang berpengaruh pada postur tulang belakang.

2.5.3 *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*

Menurut Karhu (1977), *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengatur postur tubuh pekerja yang tidak baik dalam industri (Kumar, 2006). Prinsip dari OWAS adalah menganalisis dan mengelompokkan postur tubuh saat bekerja (*working posture*). McAtamney dan Hignett (1997) menyatakan bahwa OWAS menunjukkan validitas yang konvergen apabila dibandingkan dengan metode analisis postur tubuh saat bekerja (*working posture*) lainnya seperti *Rapid Entire Body Assessment (REBA)* (Kumar, 2006). Dalam analisa postur OWAS, sejumlah observasi dari berbagai kode postur akan dihitung kemudian digambarkan distribusi relatifnya. Hasil OWAS menunjukkan persentase distribusi berdasarkan criteria observasi yang dikelompokkan ke dalam 4 faktor postur: tulang belakang (*back*), tangan (*arm*), kaki (*leg*), dan beban (*load/effort*).

Aktivitas yang akan dinilai harus diobservasi selama 30 detik. Pengumpulan data dan analisis yang dilakukan memungkinkan kita untuk melakukan perancangan ulang terhadap prosedur kerja yang bertujuan untuk mengurangi atau mengeliminasi postur yang kemungkinan besar berbahaya. Dalam OWAS, hasil analisa dari aktivitas-aktivitas yang dilakukan akan dikelompokkan ke dalam empat kelas utama, yaitu tidak berbahaya (*no harmful effect*), sedikit berbahaya (*a limited harmful effect*), berbahaya (*recognized harmful effect on wealth*), dan sangat berbahaya (*highly harmful effect on wealth*) (Di Gironimo, Monacellia, & Patalano, 2004). Pengelompokan ini adalah berdasarkan estimasi para ahli dengan mempertimbangkan risiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem muskuloskeletal¹⁸.

¹⁸Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal.3299.

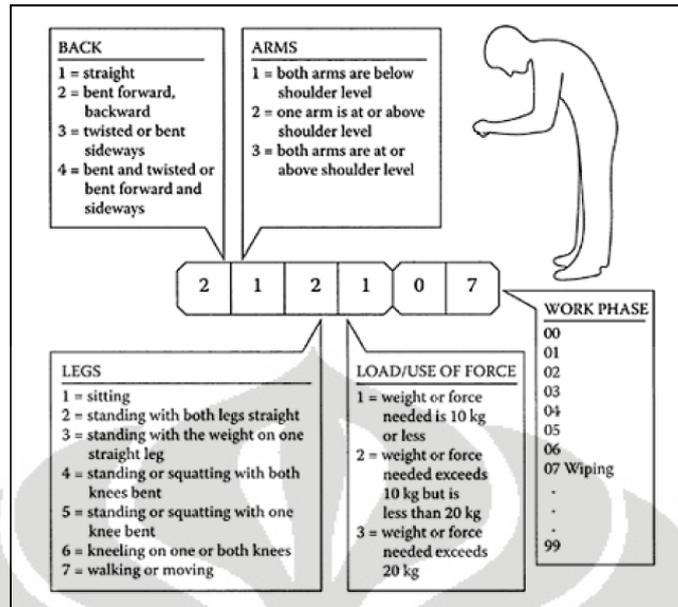


Gambar 2.11 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, 2001, hal.3299

Dalam *software* Jack, OWAS digunakan untuk memeriksa apakah postur yang digunakan dalam bekerja sudah memberikan kenyamanan bagi manusianya. Dengan menggunakan OWAS, pengguna dapat:

- melakukan evaluasi terhadap ketidaknyamanan relatif dari sebuah postur berdasarkan posisi punggung, lengan, dan kaki sesuai dengan kebutuhan
- memberikan skor kepada postur yang dinilai yang menunjukkan urgensi dari pengukuran korektif untuk mengurangi risiko cedera pada pekerja

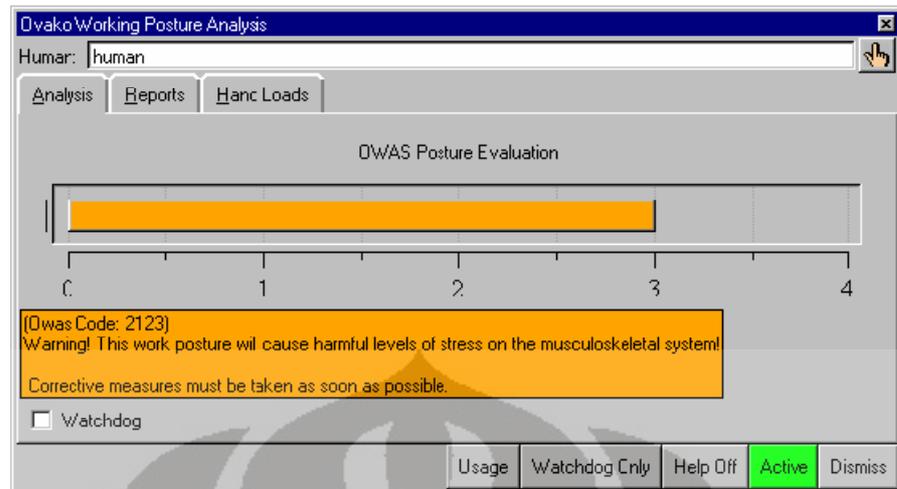


Gambar 2.12 Penjelasan Perincian Nilai OWAS

Sumber: Helander, *A Guide to Human Factors and Ergonomics Second Edition*, 2006, hal.182

Hasil OWAS keseluruhan yang dikeluarkan oleh Jack adalah berupa skor tunggal yang disertai dengan rekomendasi perlu tidaknya perbaikan terhadap postur tersebut. Skor tunggal yang ditampilkan Jack adalah berdasarkan 4 kelas utama aktivitas seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu:

- Level 1: postur normal; tidak perlu tindakan perbaikan
- Level 2: postur kemungkinan memiliki efek berbahaya; tidak perlu tindakan perbaikan dalam waktu dekat tapi mungkin dibutuhkan di masa yang akan datang
- Level 3: postur memiliki efek berbahaya; tindakan perbaikan harus diambil dalam waktu dekat
- Level 4: postur memiliki efek sangat berbahaya; tindakan perbaikan harus diambil secepatnya



Gambar 2.13 Contoh Hasil Analisis OWAS pada *Software Jack*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.37

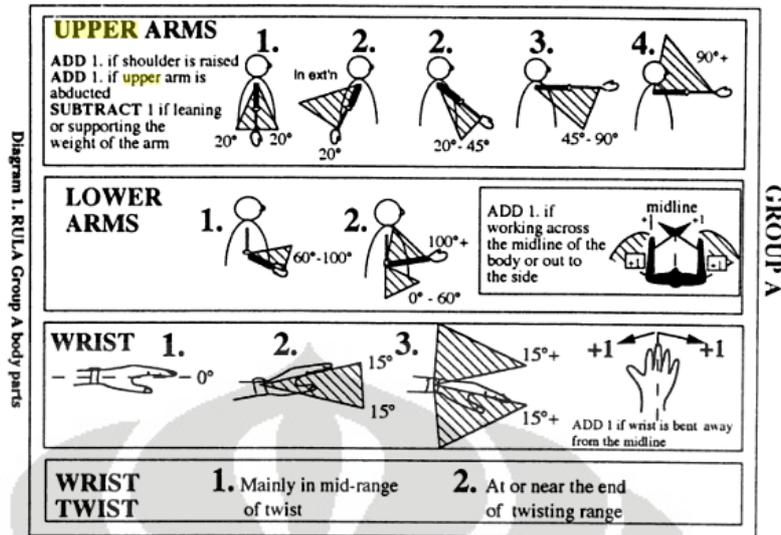
2.5.4 *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

RULA merupakan metode untuk mengevaluasi tekanan beban kerja terhadap risiko cedera pada tubuh bagian atas (*upper limb*) pekerja. Metode RULA terdiri dari dua hal yaitu:

- Mengukur risiko cedera pada tubuh bagian atas terhadap postur kerja dan penggunaan otot, berat beban, durasi, serta frekuensi kerja
- Menempatkan suatu skor penilaian yang mengindikasikan derajat intervensi yang dibutuhkan untuk mengurangi risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas.

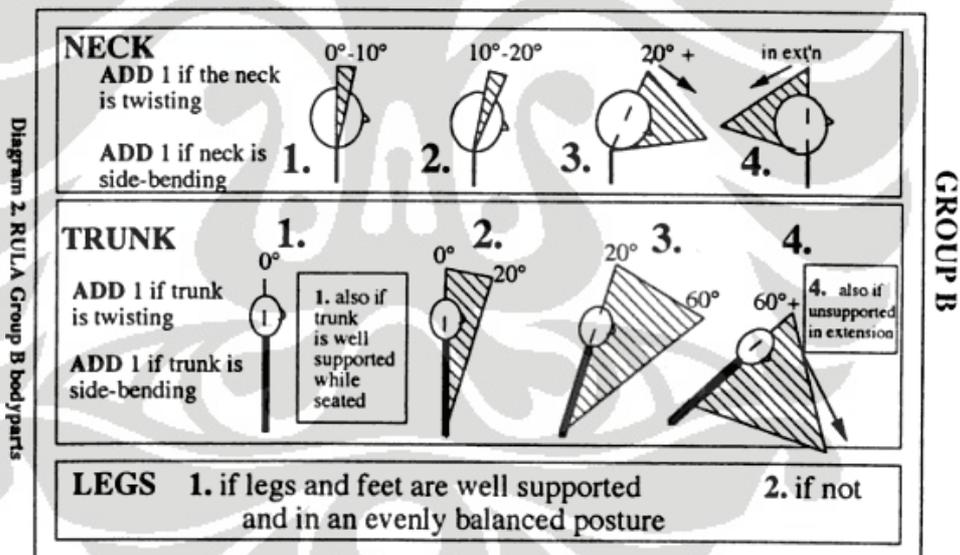
Pendekatan yang dilakukan pada teknik evaluasi ini biasanya menggunakan pembobotan, dimana semakin tinggi bobot yang diberikan menjelaskan resiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan¹⁹. RULA memberikan output atau hasil evaluasi berupa bobot nilai. Bobot nilai ini mampu mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi resiko cedera.

¹⁹ R. Lueder, *A Proposed RULA for Computer Users in Occupational and Environmental Health*, UC Berkeley Center, San Fransisco, 1996.



Gambar 2.14 Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh A

Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, 2001, hal.1462



Gambar 2.15 Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh B

Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, 2001, hal.1462

Metode RULA dapat digunakan untuk tiga hal yaitu: mengidentifikasi secara cepat potensi beban kerja yang memungkinkan cedera pada tubuh bagian atas, sebagai panduan desain untuk manual kerja yang baru, ataupun sebagai

pedoman perancangan ulang manual kerja yang telah ada, serta sebagai bahan identifikasi skala prioritas dari postur kerja yang paling membutuhkan modifikasi secara ergonomi.

Pada analisis RULA terdapat lima faktor utama yang mempengaruhi penilaian²⁰ :

1. Pengulangan (frekuensi)

menampilkan kejadian yang diulang dalam waktu tertentu, dan dilakukan dengan cara yang sama untuk setiap pengulangan. Semakin tinggi frekuensi pekerjaan tersebut, semakin tinggi pula resiko cedera yang bisa terjadi

2. Gaya

Gaya atau tenaga menjelaskan usaha yang dilakukan untuk melakukan suatu kegiatan atau suatu urutan aksi. Kebutuhan untuk memperbesar gaya selama pekerjaan dilakukan berhubungan pergerakan atau pertahanan posisi akan kegiatan tersebut. Sedangkan penggunaan gaya berhubungan dengan aksi statis atau aksi dinamis yang harus dilakukan dalam kegiatan tersebut.

3. Postur dan tipe pergerakan

Postur dan tipe pergerakan pada anggota tubuh bagian atas yang saling menyesuaikan agar dapat melakukan satu urutan aksi teknis sehinggakan menciptakan satu putaran kegiatan.

4. *Recovery period*

Periode waktu ini berada diantara putaran kegiatan. Periode waktu ini meliputi waktu berhentinya kegiatan setelah dilakukan satu putaran penuh, dimana metabolisme dan mekanisme otot kembali ke keadaan awal, yaitu ketika otot sedang tidak bekerja. Kurangnya melakukan *recovery period* ini dapat meningkatkan resiko cedera bagi operator.

5. Faktor resiko tambahan

Faktor ini disebut sebagai faktor tambahan bukan karena tidak sama penting dengan faktor yang lain, namun faktor ini tidak selalu ada pada setiap pekerjaan. Hal ini sangat bergantung dengan jenis pekerjaan apa yang dilakukan, mekanisme pekerjaan itu sendiri, lingkungan tempat pekerjaan itu

²⁰ E. Occhipinti and D. Colombini, *Assessment of Exposure to Repetitive Upper Limb Movement: an IEA Consensus Document*, TU TB Newsletter, 1999, hal.11-12.

dilakukan dan bentuk organisasi yang terbentuk untuk membantu terlaksananya pekerjaan tersebut.

Gambar 2.16 Contoh Hasil Analisis RULA pada *Software Jack*

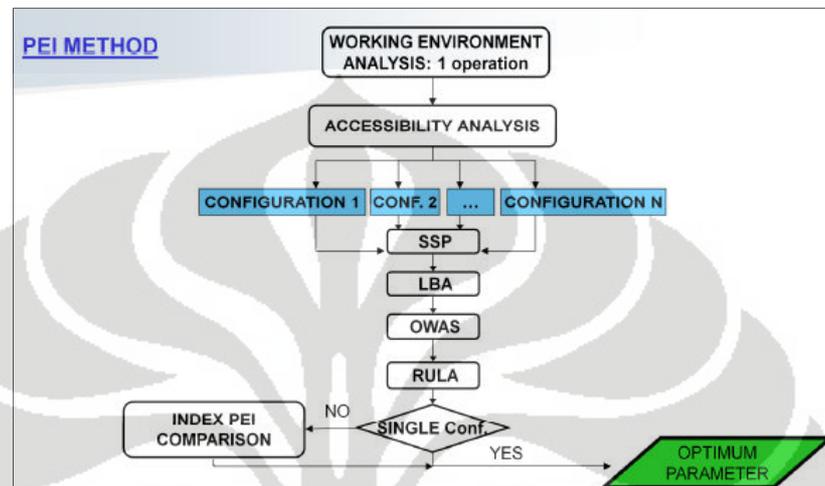
Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.41

2.6 METODE *POSTURE EVALUATION INDEX (PEI)*

Suatu operasi pekerjaan merupakan rangkaian dari sejumlah sub operasi yang lebih sederhana dimana setiap sub operasi tersebut dapat dikerjakan dengan postur kerja tertentu. Namun, sebuah operasi tidak bisa diidentifikasi melalui satu postur tunggal atau satu gerakan tulang sendi tunggal, melainkan harus dilihat sebagai rangkaian gerakan yang konsisten dan harmonis yang diasumsikan oleh operator. Dalam rangkaian gerakan operasi tersebut maka akan didapatkan satu *critical posture* yakni titik yang paling berbahaya secara ergonomis.

Critical posture dari setiap rangkaian gerakan akan sangat menentukan tingkat kenyamanan seseorang ketika bekerja. Tantangan yang terbesar ialah bagaimana cara menentukan *critical posture* yang tepat agar dapat meningkatkan

kenyamanan pekerja. Untuk mengatasi hal ini dapat digunakan metode *Posture Evaluation Index (PEI)* yang mengukur kualitas dari suatu postur tunggal dengan mengandalkan *output* yang diperoleh dari TAT yang tersedia pada *software Jack*²¹.



Gambar 2.17 Alur Metode PEI

Sumber: Fransesco Caputo, Giuseppe Di Girinimo and Adelaide Marzano, *Ergonomic Optimization of Work Cell of Manufacturing Systems in Virtual Environment*, 2006, hal.5

Tahapan dalam membuat penilaian dengan menggunakan PEI terdiri dari 7 fase, yaitu :

1. Analisis lingkungan Kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan berbagai alternatif pergerakan yang memungkinkan. Secara umum, pada fase ini peneliti harus mencoba untuk memahami faktor-faktor yang akan berkontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil, mencakup: rute alternatif, postur dan kecepatan eksekusi pekerjaan. Dalam simulasi di *Virtual Environment (VE)*, sangatlah penting melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternatif gerakan. Hal ini bertujuan untuk memverifikasi kelayakan tugas yang dilakukan operator. Diantara seluruh fase dalam metode PEI

²¹Giuseppe Di Gironimo, G Monacellia and S.Patalano, *A Design Methodology For Maintainability of Utomotive Components in Virtual Environment*, International Design Conference-Design 2004, Dubrovnik, 2004.

ini, fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena pada fase ini peneliti harus membuat *real-time simulation* dalam jumlah yang sangat banyak dengan adanya kemungkinan beberapa simulasi yang telah dibuat tersebut tidak akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

2. Analisis jangkauan dan aksesibilitas

Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu memerlukan studi pendahuluan untuk mengevaluasi aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul ialah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Misalkan pada kegiatan pengangkatan suatu benda oleh operator, terdapat kemungkinan rak tempat meletakkan benda terlalu tinggi sehingga tidak dapat dijangkau oleh operator. Akibatnya operator tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang tidak memuaskan pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Dari analisa lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas, konfigurasi yang akan dianalisa pada fase berikutnya dapat ditentukan.

3. *Static Strength Prediction (SSP)*

Pada tahapan ini maka akan dinilai apakah pekerjaan yang dilakukan dapat dipertimbangkan dalam analisis selanjutnya. Pengukuran SSP dilakukan untuk mengetahui apakah pekerjaan yang dilakukan memang benar-benar memungkinkan untuk manusia dengan kondisi dan antropometri tersebut.

4. *Low Back Analysis (LBA)*

Analisis ini mengevaluasi secara *real time* beban yang diterima oleh bagian tulang belakang model manekin saat melakukan tugas yang diberikan. Dalam perhitungan nilai PEI, nilai LBA yang digunakan ialah nilai pada *critical posture*. Nilai tekanan yang diperoleh dari output LBA kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standar NIOSH sebesar 3400 N.

5. *Ovako Working Posture (OWAS)*

Pada tahap ini maka akan dievaluasi tingkat kenyamanan pekerja ketika melakukan suatu pekerjaan. Analisis yang dikeluarkan oleh OWAS juga

memberikan rekomendasi perlunya perbaikan postur kerja atau tidak. Indeks tingkat kenyamanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimal yang ada pada OWAS yaitu 4.

6. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Pada Tahap ini akan dievaluasi kualitas postur tubuh bagian atas serta diidentifikasi risiko kerusakan atau gangguan pada tubuh bagian atas. Indikator RULA berusaha menggabungkan berbagai bagian tubuh yang disatukan untuk memperoleh sebuah nilai total. Nilai total RULA yang dihasilkan ini kemudian dibandingkan dengan nilai total maksimum RULA yaitu 7.

7. Perhitungan skor PEI

PEI mengintegrasikan *output* analisis dari LBA, OWAS, dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. PEI menjumlahkan tiga variabel dimensional I1, I2, dan I3. Variabel I1 didapatkan dengan menormalisasi skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia. Nilai batas aman yang digunakan dalam metode ini merujuk pada nilai yang dikeluarkan oleh NIOSH yaitu sebesar 3400 N. Variabel I2 dan I3 adalah sama dengan indeks OWAS dinormalisasi dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4 dan indeks RULA dinormalisasi dengan angka 7 (batas maksimum tingkat ketidaknyamanan bagian tubuh atas manusia). Namun khusus untuk I3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* "mr".

$$PEI = I1 + I2 + I3 \cdot Mr$$

$$I1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I2 = \frac{OWAS}{4} \quad I3 = \frac{RULA}{7}$$

$$PEI = (\text{Skor LBA}/3400) + (\text{Skor OWAS}/4) + (\text{Skor RULA}/7 \times 1,42) \quad (2.3)$$

Definisi PEI dan penggunaan LBA, OWAS dan RULA adalah berdasarkan konsep faktor risiko dari operasi kerja. Suatu operasi kerja memiliki lima faktor risiko, yaitu: repetisi (*repetition*), frekuensi (*frequency*), postur (*posture*), usaha (*effort*), dan waktu pemulihan (*recovery time*). Berdasarkan konsep tersebut maka hal-hal yang perlu diperhatikan ketika menganalisis suatu postur adalah evaluasi kekuatan kompresi terhadap L4 dan L5 *lumbar disks* (penentuan I1), evaluasi

tingkat ketidaknyamanan postur kerja (penentuan I2), dan evaluasi tingkat kelelahan dari tubuh bagian atas. Jika dilihat dari pertimbangan yang digunakan maka tubuh bagian atas menjadi perhatian utama, hal ini disebabkan karena tubuh bagian atas mengeluarkan usaha terbesar ketika seseorang melakukan suatu gerakan. Karena mengeluarkan usaha terbesar maka tubuh bagian atas juga sangat rentan mengalami luka dan juga lebih mudah terkena penyakit muskuloskeletal. Alasan ini pula yang membuat adanya faktor amplifikasi “mr” sebesar 1,42 dalam rumus PEI (Colombini et al 2000). Postur optimal yang didapatkan adalah postur dengan nilai PEI paling rendah. Sebaliknya, semakin besar nilai I1, I2, dan I3 maka akan semakin besar pula nilai PEI yang menunjukkan semakin tidak nyamannya postur kerja yang dilakukan.

2.7 METODE *LIFTING INDEX* (LI)

Seringkali tanpa disadari seseorang melakukan proses pengangkatan yang jauh melebihi beban maksimal yang seharusnya. Hal ini tentu akan berdampak negatif terhadap kondisi tubuhnya mengingat beban yang sangat besar akan memberikan tekanan terhadap tubuh terutama terhadap tulang belakang. Namun seringkali seseorang tidak mengetahui batas maksimal dari barang yang boleh diangkatnya.

Permasalahan yang paling mendasar dalam suatu proses pengangkatan ialah bahwa gaya tekan yang dialami oleh tulang belakang akan mencapai 10 kali lebih besar dari berat benda yang diangkatnya²². Tulang belakang ini terdiri dari 24 ruas *vertebrae* dengan sebuah tulang besar di bawahnya yang disebut sebagai *sacrum*. Di antara setiap ruas tulang belakang terdapat lapisan yang berfungsi sebagai penahan guncangan (*shock absorbers*). Beban yang sangat berat akan menekan bagian tersebut sehingga dapat menimbulkan gangguan kesehatan terutama pada daerah tulang belakang.

Pada tahun 1981, *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) membuat suatu rumusan untuk menghitung berat maksimal benda yang direkomendasikan dalam suatu proses pengangkatan. Rumusan ini

²² Martin Helander, *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). Taylor & Francis e-Library. London, 2006, hal 190

telah diperbarui pada tahun 1991 dan dikenal dengan *recommended weight limit* (RWL).

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

$$RWL = 23 \times (25/H) \times (1 - 0,003 | V - 75 |) \times (0,82 + 4,5/D) \times (1 - 0,0032A) \times FM \times 1(2.4)$$

dimana :

- LC merupakan berat konstan yakni 23 kg
- HM ialah *Horizontal Multiplier* yang besarnya 25 dibagi jarak antara lutut dengan tangan ($HM = 25/H$)
- VM merupakan *Vertical Multiplier* yang besarnya dipengaruhi oleh ketinggian titik awal pengangkatan. ($VM = 1 - 0,003 | V - 75 |$)
- DM adalah *Distance Multiplier* dengan D merupakan jarak vertikal pengangkatan. ($DM = 0,82 + 4,5/D$)
- AM ialah *Assymetric Multiplier* ($AM = 1 - 0,0032A$)
- FM atau *Frequency Multiplier* memiliki sistem perhitungan dengan menggunakan tabel 2.1 di bawah ini

Tabel 2.1 Metode Perhitungan *Frequency Multiplier* (FM)

Frequency (F) (Lifts/min)	Work duration (D in hours)					
	D ≤ 1		1 < D ≤ 2		2 < D ≤ 8	
	V < 30	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30
F ≤ 0.2	1.00	1.00	.95	.95	.85	.85
0.5	.97	.97	.92	.92	.81	.81
1	.94	.94	.88	.88	.75	.75
2	.91	.91	.84	.84	.65	.65
3	.88	.88	.79	.79	.55	.55
4	.84	.84	.72	.72	.45	.45
5	.80	.80	.60	.60	.35	.35
6	.75	.75	.50	.50	.27	.27
7	.70	.70	.42	.42	.22	.22
8	.60	.60	.35	.35	.18	.18
9	.52	.52	.30	.30	.00	.15
10	.45	.45	.26	.26	.00	.13
11	.41	.41	.00	.23	.00	.00
12	.37	.37	.00	.21	.00	.00
13	.00	.34	.00	.00	.00	.00
14	.00	.31	.00	.00	.00	.00
15	.00	.28	.00	.00	.00	.00
>15	.00	.00	.00	.00	.00	.00

Values of V are in inches. For lifting that occurs less than once every 5 minutes, F = 0.2 lifts/minute.

Sumber: Letho and Buck, Introduction to Human Factors and Ergonomics for Engineers, hal.273

- CM atau *Coupling Multiplier* memiliki sistem perhitungan dengan menggunakan data yang ada pada tabel 2.2 di bawah ini dimana terdapat 3 kriteria dan 2 jarak pengangkatan. Kriteria *good* diberikan jika kontainer atau box memiliki pegangan yang tidak licin, benda yang berada di dalamnya tidak mudah tumpah dan tangan dapat dengan nyaman meraih box tersebut. Kriteria *fair* diberikan bila box tidak memiliki pegangan sehingga tangan tidak dapat meraihnya dengan mudah. Sedangkan benda yang tergolong kriteria *poor* ialah box yang tidak memiliki pegangan, sulit dipegang, berisi barang yang tidak stabil, dan memerlukan sarung tangan untuk mengangkutnya.

Tabel 2.2 Metode Perhitungan *Coupling Multiplier* (CM)

Coupling type	Coupling Multiplier	
	$V < 30$ inches (75 cm)	$V \geq 30$ (75 cm)
Good	1.00	1.00
Fair	0.95	1.00
Poor	0.90	0.90

Sumber: Letho and Buck, Introduction to Human Factors and Ergonomics for Engineers, hal.273

Persamaan RWL yang disampaikan hanya berlaku pada keadaan :

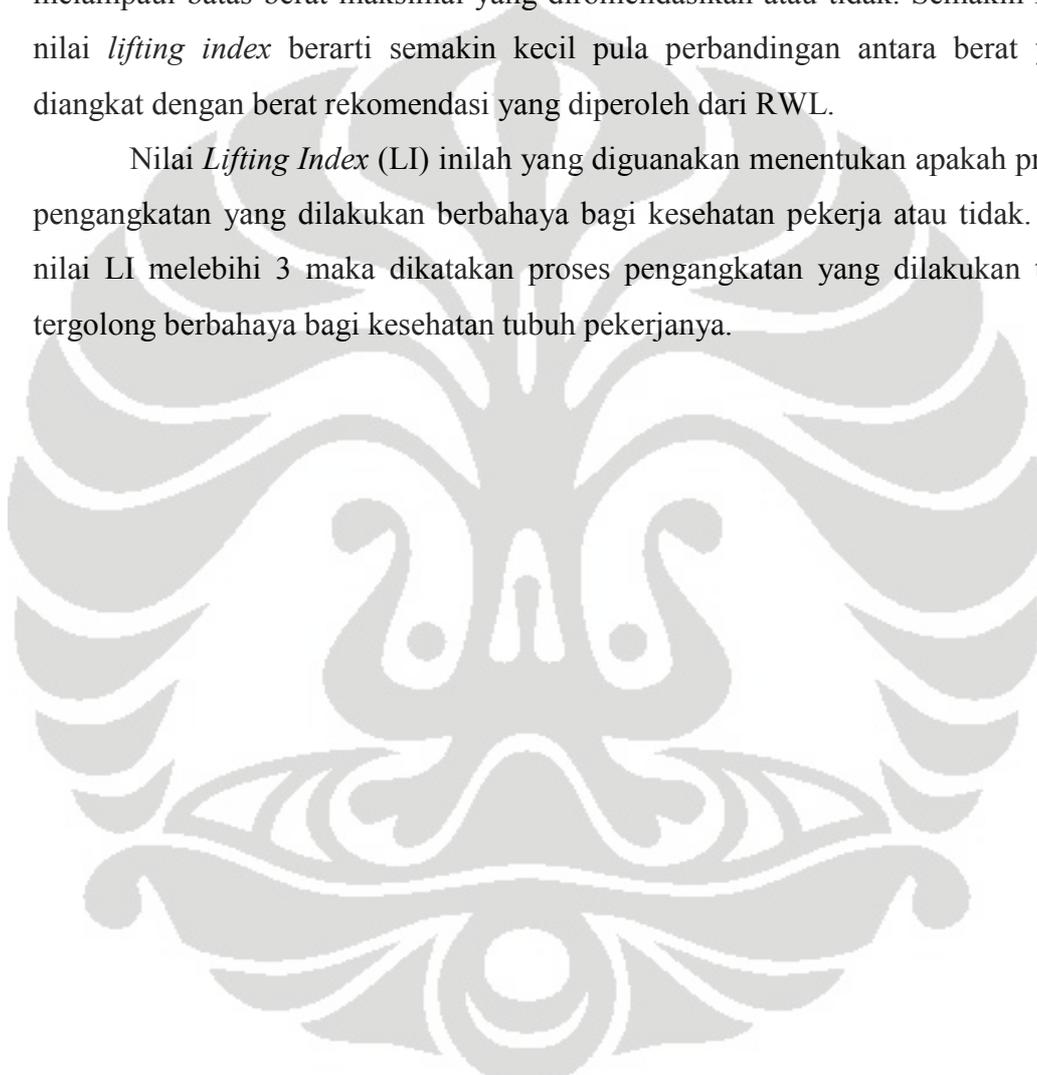
- Beban yang diberikan adalah beban statis, tidak ada penambahan ataupun pengurangan beban di tengah-tengah pekerjaan.
- Beban diangkat dengan menggunakan kedua tangan.
- Proses pengangkatan atau penurunan hanya dilakukan dalam waktu maksimal 8 jam.
- Pengangkatan atau penurunan benda tidak boleh dilakukan saat duduk atau berlutut.
- Tempat kerja yang digunakan cukup luas.

Setelah memperoleh nilai RWL dengan menggunakan rumusan yang disampaikan, tahap selanjutnya untuk menghitung *Lifting Index* (LI) ialah dengan membagi beban yang diangkat dengan nilai RWL.

$$LI = \text{Berat Benda} / \text{RWL} \quad (2.5)$$

Berdasarkan rumusan di atas dapat diketahui bahwa *lifting index* berusaha untuk mengukur apakah berat benda yang diangkat pada kondisi aktual telah melampaui batas berat maksimal yang diromendasikan atau tidak. Semakin kecil nilai *lifting index* berarti semakin kecil pula perbandingan antara berat yang diangkat dengan berat rekomendasi yang diperoleh dari RWL.

Nilai *Lifting Index* (LI) inilah yang digunakan menentukan apakah proses pengangkatan yang dilakukan berbahaya bagi kesehatan pekerja atau tidak. Bila nilai LI melebihi 3 maka dikatakan proses pengangkatan yang dilakukan telah tergolong berbahaya bagi kesehatan tubuh pekerjanya.



BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini. Penjelasan ini akan diawali dengan tinjauan umum perusahaan tempat penelitian ini untuk memberi gambaran kondisi yang ada di lapangan. Selanjutnya dijelaskan pula proses pengumpulan data yang dilakukan untuk menunjang proses pembuatan model simulasi dengan *software* Jack. Proses pembuatan simulasi ini diawali dengan penentuan konfigurasi yang akan dibuat berdasarkan berbagai kondisi dan usulan yang ada. Setelah model selesai dibuat maka dilakukan analisis ergonomi dengan menggunakan beberapa *output* yang dimiliki oleh *software* Jack dalam *task analysis toolkit*. *Output* ini akan diolah dengan menggunakan metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dan *Lifting Index* (LI) untuk mengetahui model yang paling ergonomis.

3.1 TINJAUAN UMUM PT. X

3.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan

PT X merupakan salah satu perusahaan terbesar di dunia yang beroperasi di sekitar 75 negara. Perusahaan ini bergerak di bidang kebutuhan dasar dengan pasaran utama adalah deterjen, pangan dan barang kosmetika. Cikal bakal berdirinya PT. X dimulai ketika sebuah pabrik sabun dibangun pada 5 Desember 1933 di daerah Angke, Jakarta Kota. Dua tahun kemudian, berdirilah pabrik baru di lokasi yang sama yang menghasilkan margarin. Kedua pabrik inilah yang menjadi awal dari PT.X yang kemudian berkembang pesat.

Produk yang dihasilkan oleh PT. X secara umum dibagi menjadi tiga bagian yakni :

a. Produk perawatan pribadi

Produk perawatan pribadi ini terdiri dari sabun mandi, pasta gigi, deodoran, *shampoo* dan perawatan kulit. Terdapat 9 merek terkenal produk perawatan pribadi di Indonesia pada tahun 2010 yang diproduksi oleh PT.X.

b. Produk Makanan

Produk makanan terdiri dari es krim, *snack*, kecap, bumbu dapur, teh, minuman kotak dan margarin.

c. Produk Perawatan Rumah

Produk yang dihasilkan dalam kategori perawatan rumah antara lain adalah deterjen dan sabun cuci piring.

Semua lini produk tersebut diproduksi di berbagai pabrik yang tersebar di Indonesia dengan pusat pabrik di Cikarang dan Rungkut. Untuk produk perawatan diri, PT. X mempunyai pabrik *skin care* di wilayah Cikarang. Pabrik yang baru diresmikan pada tahun 2008 ini merupakan pabrik *skin care* terbesar di Asia. Lahan yang tersedia adalah seluas 10 hektar dengan luas bangunan 16.590 meter persegi di wilayah Jababeka. Pabrik ini memproduksi produk perawatan kulit seperti sabun pencuci muka, *beauty lotion* dan sebagainya serta produk perawatan personal seperti sabun mandi.

3.1.2 Departemen Gudang

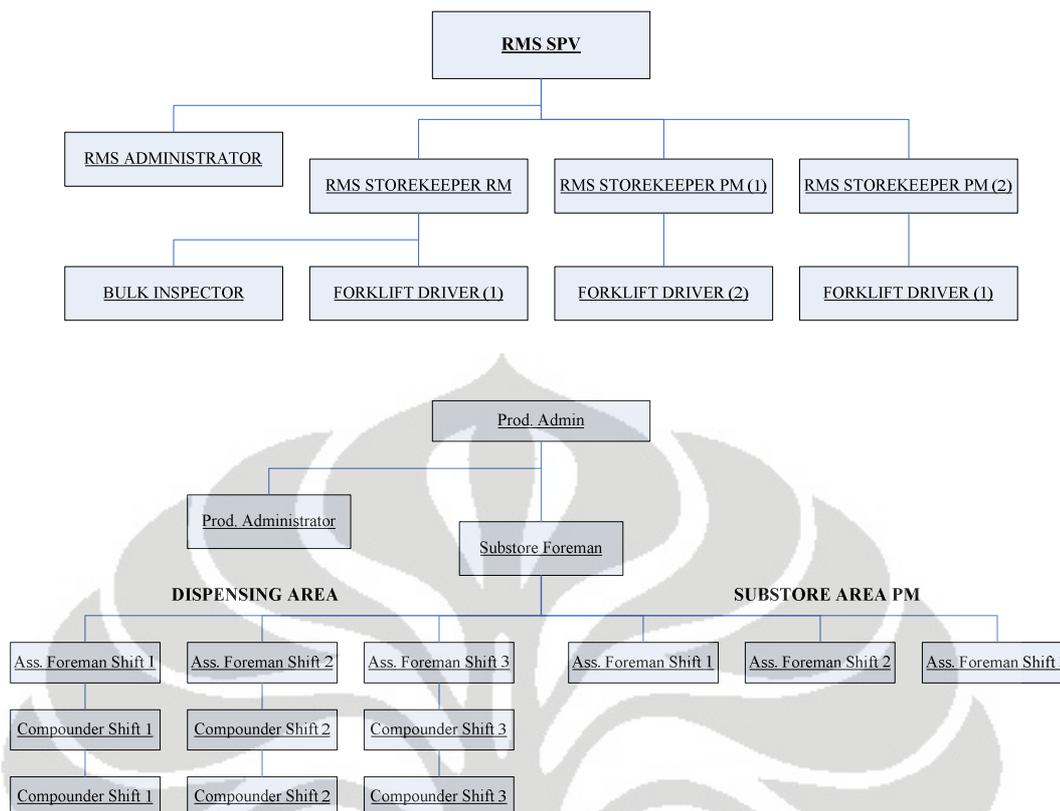
Dalam setiap pabrik industri manufaktur, gudang merupakan divisi yang mutlak ada dan sangat diperlukan untuk mengatur aliran barang yang akan berdampak terhadap lini produksi secara langsung. Gudang ialah divisi yang bertanggung jawab dalam menerima material dari *supplier* dan mengatur pengirimannya ke dalam area produksi agar alur produksi berjalan lancar. Pada pabrik *skin care* yang menjadi tempat penelitian ini, area gudang dibagi menjadi *Raw Material Store* (RMS) atau biasa dikenal pula sebagai gudang bahan baku dan gudang *Sub Store* (SS) yang berada di antara RMS dan area produksi.

Divisi RMS bertugas menerima material atau bahan baku produksi dari *supplier*, mengatur penyimpanannya dan mendistribusikannya ke divisi *sub store* sesuai dengan data permintaan yang dikirimkan. Data permintaan ini dibuat oleh

divisi *sub store* berdasarkan rencana produksi yang akan dilakukan dan pengirimannya ke area produksi pun menjadi tanggung jawab *sub store*. Proses penerimaan barang dari supplier hanya berlangsung pada pagi hingga sore hari sehingga bagian *unloading* RMS hanya terdiri dari 2 *shift* saja. Sedangkan pengiriman material ke *sub store* dilakukan sebanyak 3 kali sehari sesuai dengan *shift* kerja yang ada.

Sebagai bagian dari pabrik suatu industri *fast moving consumer goods*, RMS ini bertanggung jawab terhadap seluruh bahan baku produksi yang dibutuhkan baik berupa *Packaging Material* (PM) maupun *Raw Material* (RM). *Packaging material* yang digunakan pada pabrik ini meliputi kemasan botol, *tube*, *reel* (kemasan isi ulang), karton (sebagai pembatas di dalam kardus barang jadi) dan *fibrate* (kemasan dus untuk mengepak barang jadi). Sedangkan *raw material* merupakan bahan-bahan kimia yang dibutuhkan untuk membuat produk-produk *skin care* yang dihasilkan. Penyimpanan *raw material* dilakukan secara terpisah karena beberapa jenis bahan kimia yang digunakan tergolong mudah menguap dan terbakar.

Berdasarkan struktur organisasi gudang sebagaimana yang terdapat pada gambar 3.1, dapat dilihat bahwa terdapat 1 orang *supervisor* sebagai pimpinan dari gudang, administrator, *bulk inspector*, *storekeeper* dan *forklift driver*. *Supervisor* sebagai pimpinan tertinggi pada gudang tersebut mempunyai tanggung jawab yang besar yakni mengkoordinasikan *storekeeper*, administrator dan *bulk inspector* serta bertanggung jawab atas seluruh keadaan gudang. Administrator memiliki tanggung jawab untuk memonitor aktivitas-aktivitas yang terdapat di RMS.



Gambar 3.1 Struktur Organisasi Gudang Pabrik *Skin Care* PT. X

Supervisor gudang juga membawahi beberapa *storekeeper* RMS yang bertugas mengawasi, mengontrol, dan mencatat aktivitas penerimaan dan pengiriman material dari atau ke gudang. Sebanyak lima orang bertugas menangani PM dan RM. Ada perbedaan struktur organisasi pada bagian *storekeeper* RMS untuk *shift* pagi, sore dan malam. *Shift* pagi dan sore ditangani oleh seorang *storekeeper* PM dan seorang *storekeeper* RM. Namun pada *shift* malam hanya ada satu *storekeeper* yang menangani keduanya.

Seorang *storekeeper* untuk *raw material* membawahi seorang *bulk inspector* dan *forklift driver*. *Bulk inspector* bertugas menimbang material kimia yang dikirim oleh *supplier* serta menimbang sampah yang keluar dari pabrik. *Forklift driver* bertugas untuk mengantarkan dan mengirimkan *raw material* dari area *unloading* ke rak-rak RMS dengan menggunakan *forklift*.

Storekeeper untuk *packaging material* yang berjumlah dua orang masing-masing membawahi seorang *forklift driver*. Tugas *forklift driver* ini adalah mengantarkan dan mengirimkan *packaging material* dari area *unloading* menuju rak-rak PM di RMS dengan menggunakan *forklift*.

3.1.3 Divisi *Raw Material Store*

Raw Material Store (RMS) atau umum juga dikenal sebagai gudang bahan baku merupakan tempat penyimpanan barang yang datang dari *supplier* baik berupa *raw material* maupun *packaging material*. Divisi RMS bertanggung jawab atas penerimaan barang dari *supplier*, sistem dan proses penyimpanannya hingga pendistribusiannya ke *sub store*.

Pada divisi RMS terdapat 3 orang *storekeeper* yang bertanggung jawab atas *raw material* ataupun *packaging material* yang ada. *Storekeeper* ini dibantu oleh beberapa orang *forklift driver* yang bertugas mengangkut barang dari pelataran RMS dan meletakkannya menuju ke rak-rak yang ada serta mengambil barang-barang tersebut dan mengirimkannya ke *sub store* sesuai dengan permintaan.

Gudang RMS memiliki rak-rak yang mampu menampung palet hingga 5 susun ke atas. Kondisi ini menyebabkan *electric forklift* menjadi mutlak diperlukan di dalam RMS. Di samping itu, RMS juga memiliki sebuah *forklift* yang dioperasikan di pelataran parkir truk. *Forklift* ini digunakan untuk mengangkat tumpukan yang sudah tersusun di atas palet dari dalam truk. Selain *forklift*, RMS juga memiliki beberapa *hand pallet* manual yang biasa digunakan untuk menarik barang di pelataran RMS. Pelataran RMS ini memiliki ketinggian 1,2 meter di atas parkir truk. Dengan perbedaan ketinggian ini maka pelataran RMS akan sejajar dengan box truk sehingga memudahkan saat proses *unloading*.

3.1.4 Proses Aliran Material di *Raw Material Store*

Material yang diterima oleh RMS meliputi *raw material* dan *packaging material*. *Raw material* yang berupa bahan kimia baik dalam bentuk sak maupun drum umumnya sudah tertata di atas palet sehingga proses pengangkutannya dapat dilakukan dengan menggunakan *forklift*. Sedangkan untuk *packaging material*, beberapa jenis telah tersusun di atas palet tetapi banyak pula yang datang belum tersusun di atas palet sehingga pengangkutannya dari dalam truk harus dilakukan secara manual. Pengangkutan manual ini juga meliputi proses *palletizing* di pelataran RMS.

Palet yang telah terisi penuh dengan kardus akan ditarik menggunakan *hand pallet* menuju ke bagian pintu atau depan RMS agar tersedia tempat untuk meletakkan palet kosong yang baru di depan truk sehingga dapat digunakan untuk menyusun kardus selanjutnya. Proses ini berlangsung terus-menerus hingga akhirnya kardus di dalam truk habis. Jumlah kardus yang ditumpuk di atas sebuah palet berbeda-beda tergantung jenis dan dimensi dari kardus tersebut.

Penyusunan palet di depan RMS ini juga dilakukan sambil menunggu keluarnya *bar code* tempat peletakan palet tersebut. Pengaturan *bar code* ini mengikuti sistem *warehouse management* yang diterapkan. Setelah *bar code* keluar maka palet tersebut akan diangkat oleh *forklift* menuju rak yang ditunjukkan pada *bar code* tersebut.

Ketika terjadi permintaan dari *sub store* maka *storekeeper* akan memproses permintaan tersebut ke dalam komputer untuk mengeluarkan perintah pengambilan barang dari dalam rak. Perintah ini akan berupa *bar code* atau kode yang menunjukkan letak palet yang harus diambil. Kemudian barang ini akan diambil oleh *forklift driver* dan dikirimkan ke bagian *sub store*.

3.1.5 Proses Unloading

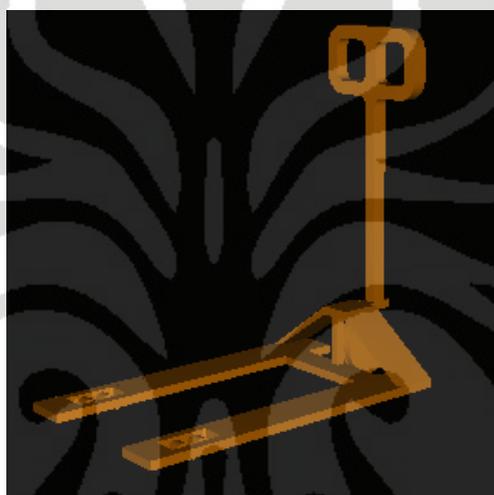
Ketidakteraturan kondisi barang khususnya *packaging material* yang diterima menyebabkan operator harus melakukan *unloading* manual untuk kardus-kardus yang belum tersusun di atas palet. Proses *unloading* manual ini melibatkan paling tidak 2 orang operator. Operator pertama akan masuk ke dalam truk dan mengambil kardus dari tumpukan di dalam truk lalu meletakkannya di depan truk. Sedangkan operator kedua akan mengambil box tersebut lalu menyusunnya di atas palet. Penyusunan kardus ini dilakukan di pelataran RMS.

3.1.6 Mesin dan Peralatan

Divisi RMS memiliki alat bantu berupa *forklift* dan *hand pallet*. *Forklift* yang digunakan meliputi 2 jenis yakni *electric forklift* dan *forklift* berbahan bakar diesel yang biasa digunakan pada berbagai pabrik lain. *Electric forklift* digunakan di bagian dalam RMS untuk mengangkat palet dari pelataran RMS menuju rak maupun saat mengambil palet dari rak dan membawanya ke *sub store*.

Pengoperasian alat bantu *material handling* di dalam RMS harus memperhatikan faktor kebersihan sehingga *forklift* yang digunakan pun harus yang elektrik agar tidak menghasilkan gas buang.

Selain *electric forklift*, ada pula *forklift* berbahan bakar minyak yang dioperasikan di sekitar area parkir truk. *Forklift* ini bertugas mengangkat palet dari dalam truk khususnya palet-palet yang memiliki bobot sangat berat. Selain di area parkir, *forklift* ini juga terkadang dioperasikan di pelataran RMS terutama ketika mengeluarkan barang dari dalam kontainer.



Gambar 3.2 Bentuk Manual *Hand Pallet*

RMS juga memiliki beberapa buah *hand pallet* yang semuanya bekerja secara manual dengan menggunakan hidrolik. *Hand pallet* ini digunakan saat mengeluarkan palet yang tidak terlalu berat dari dalam truk. Selain itu, *hand pallet* ini juga berfungsi untuk mengangkat palet dari depan truk menuju ke dekat RMS.

3.2 PENGUMPULAN DATA

3.2.1 Data Permasalahan Pekerja

Pengumpulan data permasalahan atau keluhan kesehatan yang dialami oleh pekerja dilakukan dengan proses wawancara dan pengisian kuesioner. Proses ini harus dilakukan karena data kesehatan pekerja yang dimiliki oleh perusahaan belum mencakup keluhan-keluhan tersebut. Pengumpulan data ini juga diperkuat dengan observasi di area gudang khususnya bagian *unloading* RMS untuk

mempelajari lebih lanjut cara kerja dan kondisi-kondisi yang mungkin menyebabkan keluhan tersebut.

3.2.2 Data Antropometri Pekerja

Data antropometri yang digunakan adalah data antropometri operator angkut barang di area *unloading* RMS. Total pekerja di area *unloading* berjumlah 11 orang yakni sebanyak 6 orang bekerja pada *shift* pagi dan 5 orang sisanya bekerja pada *shift* siang. Untuk *shift* malam, tidak ada proses *unloading* sehingga tidak ada operator angkut barang yang dipekerjakan. Pengambilan data dilakukan terhadap 100% jumlah objek penelitian seperti yang disajikan pada tabel 3.1 di bawah ini.

Dalam proses pengumpulan data antropometri ini juga dikumpulkan data jenis kelamin dari para pekerja *unloading* RMS. Dari pengumpulan data tersebut diperoleh hasil bahwa seluruh pekerja *unloading* RMS yang berjumlah 11 orang berjenis kelamin pria. Lebih lanjut, keseragaman jenis kelamin pria tersebut merupakan persyaratan dari pabrik untuk posisi operator. Oleh karena itu, penelitian ini hanya fokus pada antropometri pekerja pria.

Tabel 3.1 Data Tinggi dan Berat Badan Operator Angkut Barang

Waktu Bekerja	Pekerja	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
<i>Shift</i> Pagi	1	165	50
	2	169	56
	3	165	50
	4	175	62
	5	168	53
	6	168	51
<i>Shift</i> Siang	7	165	60
	8	160	66
	9	163	58
	10	165	60
	11	165	50

Berdasarkan prinsip ergonomi terdapat 3 jenis *percentile* yang umum digunakan dalam melakukan penelitian yakni *percentile* 5, 50, dan 95. Pemakaian

percentile ini akan membantu merepresentasikan ukuran tubuh yang dibutuhkan dalam suatu penelitian terutama yang terkait perancangan alat atau produk.

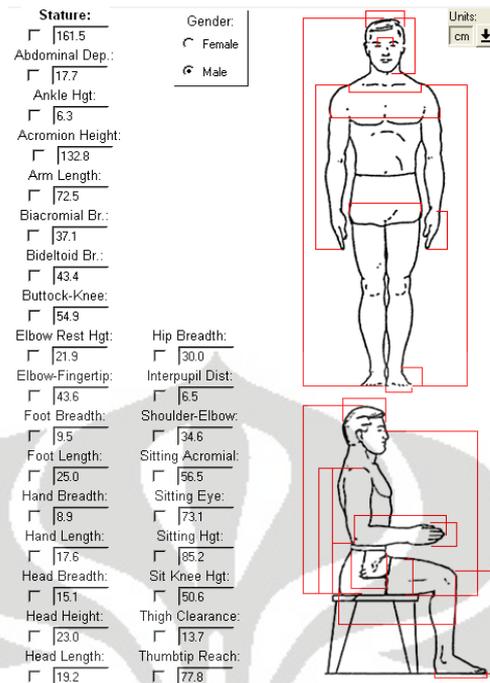
Dalam pembuatan *virtual human modeling* ini, akan diambil nilai acuan untuk meneliti dampak ergonomi terhadap pekerja dengan *percentile* tubuh 5 dan 95. Kedua titik ini diambil karena merupakan titik ekstrim batas atas dan batas bawah tubuh yang umum digunakan sebagai patokan dalam merancang sistem dan alat bantu kerja yang ergonomis.

Tabel 3.2 Persentil 5, 50 dan 95 dari Data Tinggi dan Berat Badan

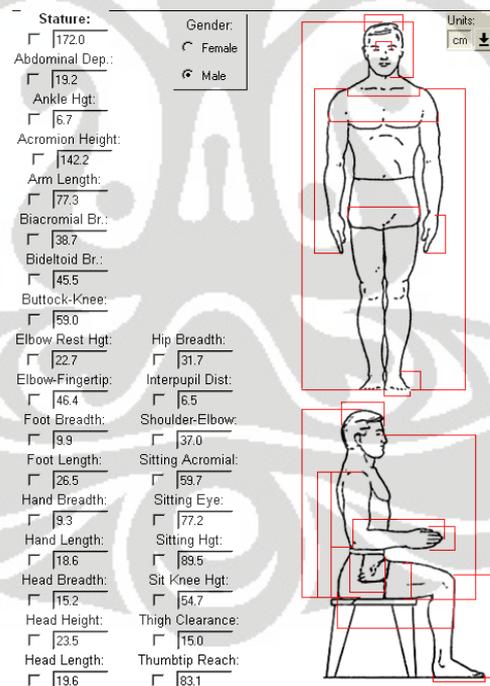
<i>Percentile</i>	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
5	161,5	50
50	165	56
95	172	64

Berdasarkan data *percentile* 5 dan 95 yang ditetapkan sebagai acuan pembuatan model maka dapat dibuat simulasi *virtual human* dengan *software* Jack untuk mendapatkan detail ukuran per komponen tubuh. Database antropometri yang digunakan sebagai standard untuk membuat manekin manusia oleh Jack adalah ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*). Dengan acuan *database* yang dimiliki Jack tersebut terdapat 25 jenis pengukuran detail yang dapat diteliti seperti gambar 3.3 dan gambar 3.4.

Pengambilan *percentile* 5 dan 95 sebagai dasar pembuatan model dalam penelitian ini dilakukan untuk dapat mengevaluasi aktivitas pekerja dengan kondisi tubuh yang ekstrim, dalam hal ini postur tubuh yang tinggi (*percentile* 95) dan postur tubuh yang rendah (*percentile* 5). Kedua kondisi ekstrim ini dipilih karena dalam proses *unloading* yang dievaluasi pada penelitian ini terdapat gerakan pengambilan barang yang sulit bagi pekerja yang secara antropometri rendah, tetapi ada pula gerakan meletakkan barang pada palet di bawah yang menyulitkan bagi pekerja dengan antropometri tinggi. Dengan demikian masing-masing *percentile* yang dipilih tersebut dapat membantu mengetahui dampak paling berat untuk setiap gerakan yang dilakukan pekerja dalam proses *unloading* secara manual.



Gambar 3.3 Dimensi Detail Tubuh Pekerja dengan *Percentile 5*



Gambar 3.4 Dimensi Detail Tubuh Pekerja dengan *Percentile 95*

3.2.3 Pendefinisian Area Kerja

Penelitian ini hanya difokuskan pada kegiatan atau aktivitas pekerja *unloading* yang melakukan pengangkutan secara manual. Pada kondisi demikian

maka pekerja harus mengangkat kardus dari dalam truk tanpa menggunakan alat bantu apapun lalu menyusunnya di atas palet yang ada. Proses ini juga sering disebut dengan *palletizing*.

Sesuai dengan lokasi aktivitas yang menjadi fokus dari penelitian ini maka area pengamatan atau stasiun kerja dibatasi hanya di area *unloading* yang meliputi pelataran RMS dan parkir truk.

3.2.4 Alat Bantu yang Disimulasikan

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, saat ini proses *unloading* di RMS berjalan secara manual tanpa menggunakan alat bantu apapun. Kondisi ini menyebabkan pekerja harus mengalami beban kerja yang berat dengan postur yang sering kali tidak menunjang. Oleh karena itu pada penelitian ini akan diusulkan beberapa alat bantu *material handling* yang dapat digunakan. Rekomendasi ini didasarkan pada kemampuan alat-alat tersebut dalam membantu aktivitas pekerja agar menjadi lebih ergonomis.

3.2.4.1 *Electrical High Lifter*

Electrical high lifter merupakan alat bantu yang diusulkan untuk mengangkat palet agar ketinggiannya sesuai dengan ketinggian dari *adjustable conveyor*. Dengan ketinggian maksimal garpu *high lifter* sebesar 81 cm dan kapasitas berat maksimal sebanyak 1 ton, maka *high lifter* akan membantu operator sehingga proses pemindahan barang dari *conveyor* ke atas palet dapat berlangsung tanpa harus mengangkat kembali kardus tersebut tetapi cukup dengan menggesernya.

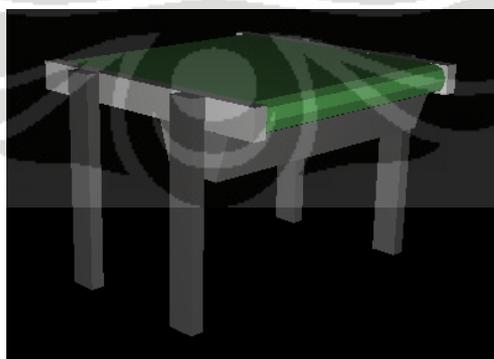
High lifter itu sendiri terbagi menjadi dua yakni manual dan elektrik. *Electrical high lifter* lebih disarankan dari aspek ergonomi karena operator hanya cukup menekan tombol yang ada pada *high lifter* untuk menaikkan garpu sehingga tidak perlu memompa secara manual lagi. Pada gambar 3.5 di bawah ini terdapat gambar bentuk *electrical high lifter* yang digunakan pada simulasi yang akan dibuat.



Gambar 3.5 Bentuk *Electrical High Lifter*

3.2.4.2 *Adjustable Conveyor*

Adjustable conveyor merupakan alat bantu material handling yang bentuknya menyerupai ban berjalan atau *conveyor* pada umumnya tetapi memiliki keistimewaan pada kemampuannya menyesuaikan panjang *conveyor* tersebut mengikuti kebutuhan dari penggunanya. Alat ini diusulkan untuk membantu proses *unloading* yang saat ini dijalankan. Dengan menggunakan alat ini maka operator pertama tidak perlu membungkuk lagi saat meletakkan kardus, mengurangi pergerakan dari operator dan kombinasi alat ini dengan *high lifter* yang diusulkan juga akan membantu operator kedua sehingga tidak perlu mengangkat kardus sebagaimana kondisi semula tetapi cukup dengan menggesernya saja.

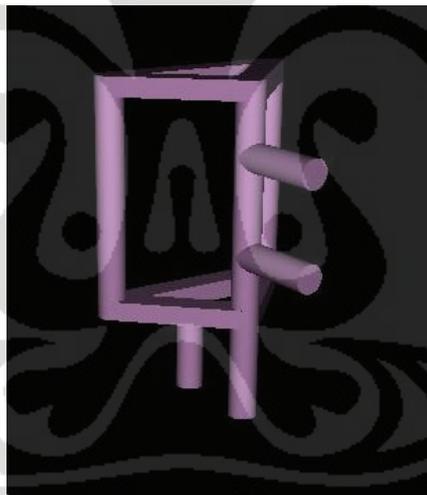


Gambar 3.6 Bentuk *Adjustable Conveyor*

Adjustable conveyor dipilih sebagai salah satu alat rekomendasi karena alat ini sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan dimana proses pengambilan barang dari dalam truk memiliki jarak yang bervariasi. Dengan alat ini maka operator dapat dengan mudah mengatur panjang *conveyor* mengikuti panjang dari truk tersebut.

3.2.4.3 *Vacuum Grip*

Vacuum grip atau *vacuum lifter* merupakan alat bantu *material handling* yang dapat mengangkat suatu benda (dalam hal ini kardus) dengan menggunakan gaya hisap dari *vacuum* tersebut. Penggunaan *vacuum grip* dapat meringankan pekerjaan karena sebagian besar beban telah ditanggung oleh *vacuum* tersebut dan juga memudahkan pekerja ketika harus mengambil barang yang letaknya cukup tinggi atau rendah.



Gambar 3.7 Bentuk *Vacuum Grip*

Alat ini diusulkan untuk digunakan oleh operator pertama yang bertugas mengambil kardus satu per satu dari tumpukannya di dalam truk. Selama ini proses pengambilan yang berlangsung manual tanpa alat bantu apapun menyebabkan pekerja harus membungkuk saat mengambil kardus yang berada di bawah padahal beban dari kardus tersebut bisa mencapai 22 kg. Kondisi ini jelas sangat beresiko dan tidak baik dari segi ergonominya. Oleh karena itu, *vacuum grip* akan diusulkan sebagai alat bantu bagi aktivitas ini. Usulan ini akan

disimulasikan dan dilakukan analisis perbandingannya dengan proses yang manual tanpa alat bantu.

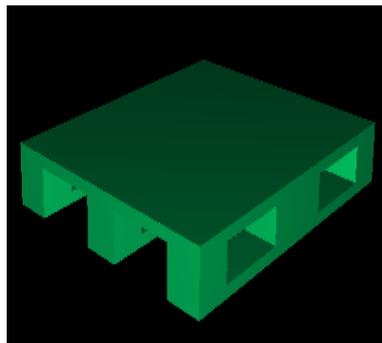
3.2.5 Data Bentuk dan Dimensi Objek Penelitian

Pada penelitian ini objek yang juga diukur ialah truk pengangkut, jenis-jenis kardus yang diangkat secara manual dan palet yang digunakan untuk menyusun kardus-kardus tersebut. Dari segi truk pengangkut, proses *unloading* manual ini memiliki 2 jenis truk yakni truk besar dengan dimensi box 540 cm x 240 cm x 220 cm dan truk ukuran sedang dengan dimensi box 440 cm x 195 cm x 200 cm. Sedangkan dari segi kardus yang diangkat, terdapat 4 jenis kardus tetapi untuk penelitian ini hanya dilakukan pengujian terhadap kardus yang memiliki berat paling besar yakni 22 kg dengan dimensi 69,5 cm x 49,5 cm x 46,5 cm. Kardus jenis ini dipilih karena memiliki beban dan dimensi yang paling besar sehingga secara sederhana dapat dinyatakan bahwa kardus ini akan memberi dampak yang paling signifikan pula terhadap tubuh pekerja jika ditinjau dari segi ergonomis.



Gambar 3. 8 Bentuk Kardus yang Disimulasikan

Selain jenis truk dan kardus yang diangkat, objek penelitian yang juga diukur ialah palet. Dalam hal ini terdapat 2 jenis palet yang digunakan yakni palet kayu dan palet plastik. Keduanya memiliki dimensi yang sama yakni 120 cm x 100 cm dengan ketebalan 16 cm.



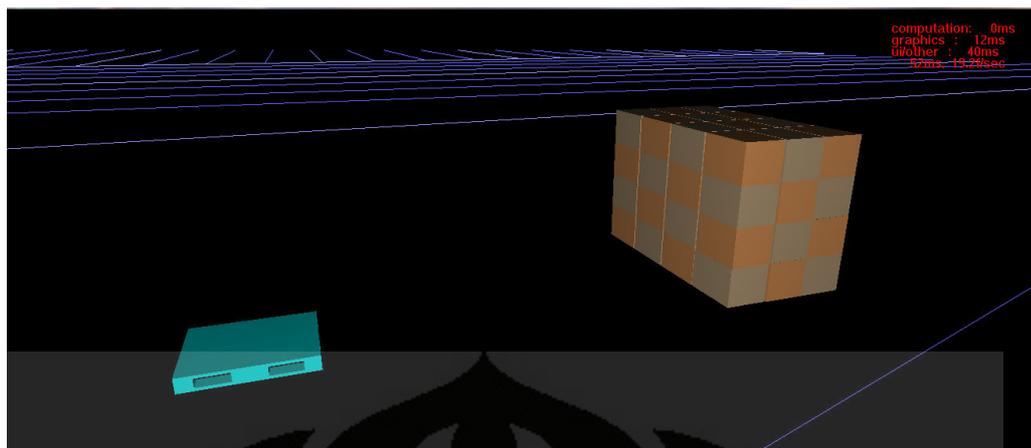
Gambar 3.9 Bentuk Palet yang Disimulasikan

3.3 PEMBUATAN MODEL AKTUAL

3.3.1 Pembuatan *Virtual Environment*

Virtual Environment adalah objek-objek penelitian yang menjadi sarana bekerja bagi model manekin. Objek-objek ini dapat disusun dengan menggunakan pilihan *object library* dari Jack. Namun bila bentuk dan dimensi objek tidak sesuai dengan *library* Jack, dapat dilakukan pembuatan objek penelitian dari *software* pembuatan gambar grafis seperti AutoCAD, SolidWorks, NX dan sebagainya. Objek-objek ini harus ditransfer terlebih dahulu menjadi format file yang *compatible* dengan Jack sebelum diimpor. Dalam penelitian kali ini, pembuatan objek penelitian dilakukan sendiri dengan menggunakan *software* AutoCAD karena tidak ada objek pada *library* dari Jack yang dapat merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Objek yang dibuat dengan *software* AutoCAD ini akan menghasilkan format (.DWG) sehingga harus dilakukan proses konversi menjadi format (.STL) yang dapat diimpor pada Jack. Proses konversi ini dijalankan dengan *software Autodesk Mechanical Desktop* menggunakan perintah AMSTLOUT.

Setelah melakukan impor objek ke dalam Jack, kegiatan penyusunan posisi dan lokasi objek penelitian dapat dilakukan. Objek *virtual environment* tersebut dapat dirotasi posisinya, diubah derajat kemiringannya, diletakkan pada ketinggian tertentu dan sebagainya. Dimensi dari objek yang diimpor harus sesuai dengan skala yang sudah didefinisikan dalam Jack agar tidak terjadi kesalahan dimensi. Contoh *virtual environment* yang sudah selesai didefinisikan dapat dilihat pada Gambar 3.10 di bawah ini



Gambar 3.10 Pembuatan *Virtual Environment* pada *Software Jack*

Gambar di atas merupakan representasi dari kondisi kerja yang disimulasikan dimana terdapat tumpukan dus yang berada dalam truk dan palet yang digunakan dalam penyusunan di gudang. Kondisi ini menjadi dasar atau kondisi standar dari simulasi yang dibuat dengan beragam konfigurasi.

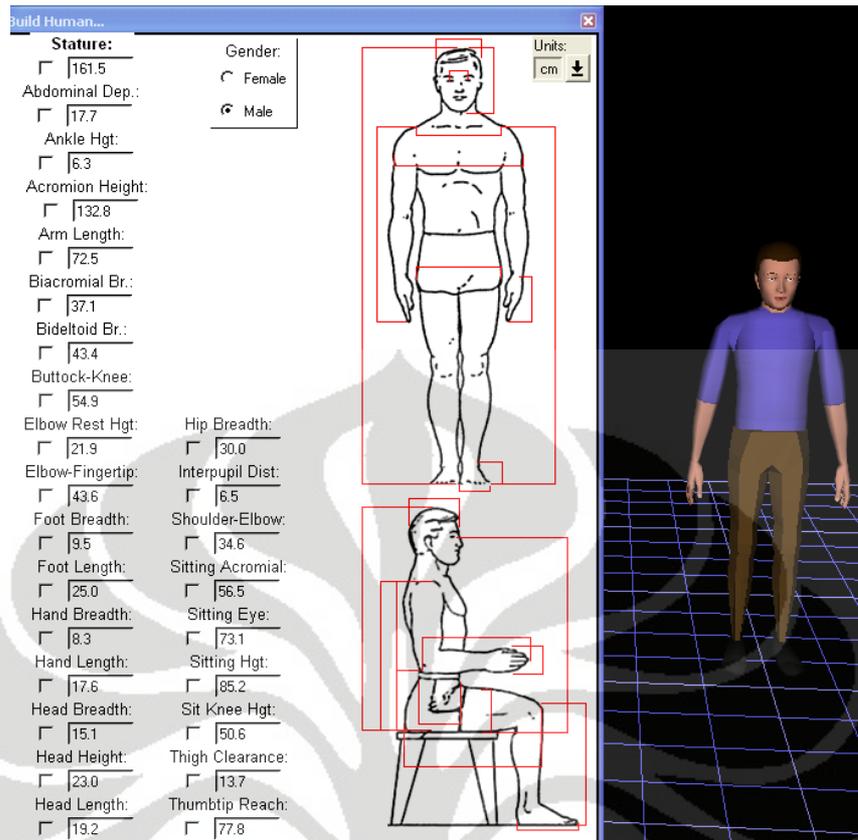
3.3.2 Pembuatan *Virtual Human*

Setelah membuat *virtual environment*, langkah yang harus dilakukan adalah membuat model manekin. Model manekin dapat dibuat menggunakan data yang diinginkan atau membuat dengan model *default*. *Default human* tersebut menggunakan ukuran pria dan wanita Amerika Serikat pada *percentile 50* berdasarkan survei ANSUR-88 (*US Army Anthropometric Survey* tahun 1988).

Dalam penelitian ini, digunakan menu *custom model* untuk *human scaling* agar lebih mewakili kondisi antropometri pekerja proses *unloading* yang sesungguhnya. Dengan *custom model* ini, data antropometri yang dimasukkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan. *Software Jack* juga menyediakan dua metode untuk *input* pembuatan model manusia digital, yaitu dengan *basic human scaling* sebagaimana yang tampak pada gambar 3.11 di bawah ini atau dengan *advanced human scaling* seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.12.

Gambar 3.11 Basic Scaling pada Custom Model Software Jack

Pada kolom basic *scaling* ini, data yang harus dimasukkan adalah jenis kelamin dan data tinggi dan berat badan model manekin. *Percentile* 99, 95, 50, 05 dan 01 yang tertera di atas merupakan data *percentile* model ANSUR-88. Data *percentile* ini tidak dapat digunakan pada penelitian ini karena perbedaan antropometri yang signifikan antara masyarakat Amerika Serikat dan Indonesia. Oleh karena itu, data *percentile* yang ingin diteliti dicari terlebih dahulu melalui perhitungan lain misalnya dengan menggunakan Microsoft Excel untuk mencari *percentile* 5 dan 95 operator area *unloading*. Setelah itu data tinggi dan berat badan tersebut dimasukkan ke dalam kolom *custom human*. Dengan adanya *input* tinggi dan berat badan, Jack dapat melakukan kalkulasi perhitungan setiap detail bagian tubuh pekerja dengan menu *advanced human scaling*.



Gambar 3.12 *Advanced Human Scaling* pada *Custom Model Software Jack*

Menu *advance human scaling* ini juga memungkinkan pembuatan manekin berdasarkan data 25 indikator utama yang dapat diatur masing-masing. Dengan demikian jika memang diperoleh data antropometri yang lebih lengkap lagi terutama terkait ukuran masing-masing indikator tersebut maka ukuran manekin yang dibuat akan lebih presisi atau menyerupai kondisi antropometri pekerja di lapangan. Namun jika hanya memiliki data yang sangat standard yakni data tinggi dan berat badan maka *software Jack* akan mengatur secara otomatis keseluruhan ukuran tubuh manekin tersebut berdasarkan indikator utama tinggi dan berat badan tersebut.

3.3.3 Memposisikan Model Manusia

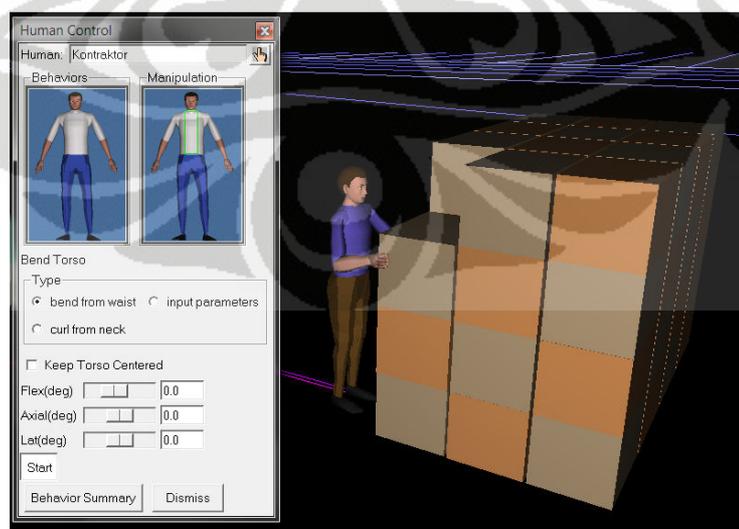
Proses memposisikan model manekin dilakukan dengan pembentukan postur tubuh terlebih dahulu. Penyesuaian postur tubuh dapat juga dilakukan untuk mengintegrasikan tubuh pekerja dengan *virtual environment*. Untuk menyesuaikan postur tubuh model manekin, *software Jack* memiliki *posture*

library yang menyimpan berbagai macam postur standard yang biasa digunakan dalam posisi bekerja.



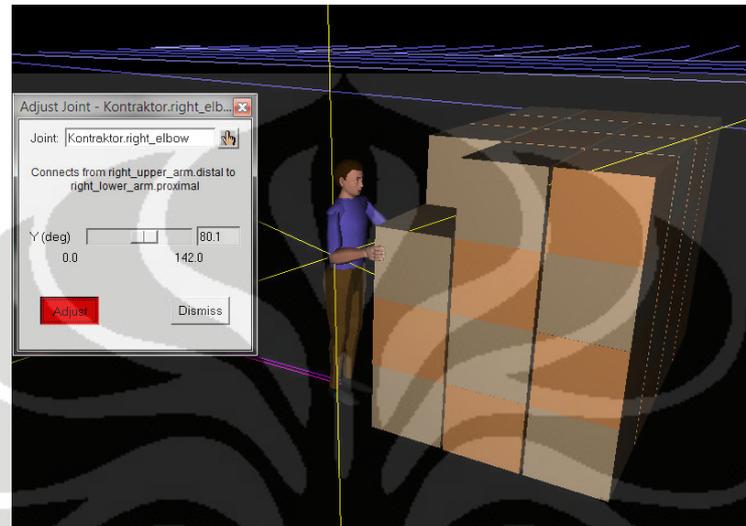
Gambar 3.13 Contoh Pengaturan Postur Manekin

Bila postur kegiatan yang dimaksudkan tidak ada di dalam *library* Jack, dapat dilakukan kegiatan memposisikan model manekin dengan menu *human control*. Memposisikan manekin dengan *human control* akan mengubah sekelompok sendi (*joint*) pada tubuh model manusia digital. *Human control* dapat digunakan untuk memposisikan bagian tangan, kaki, kepala dan mata, serta bahu.



Gambar 3.14 Contoh Pengaturan Postur dengan Menggunakan *Human Control*

Sedangkan untuk memposisikan postur yang lebih detail untuk satu sendi saja dapat dilakukan dengan menggunakan *adjust Joint*. Fungsi ini membantu dalam pengaturan bagian-bagian tubuh yang kecil seperti posisi masing-masing jari tangan, bahu bahkan arah mata sekalipun.



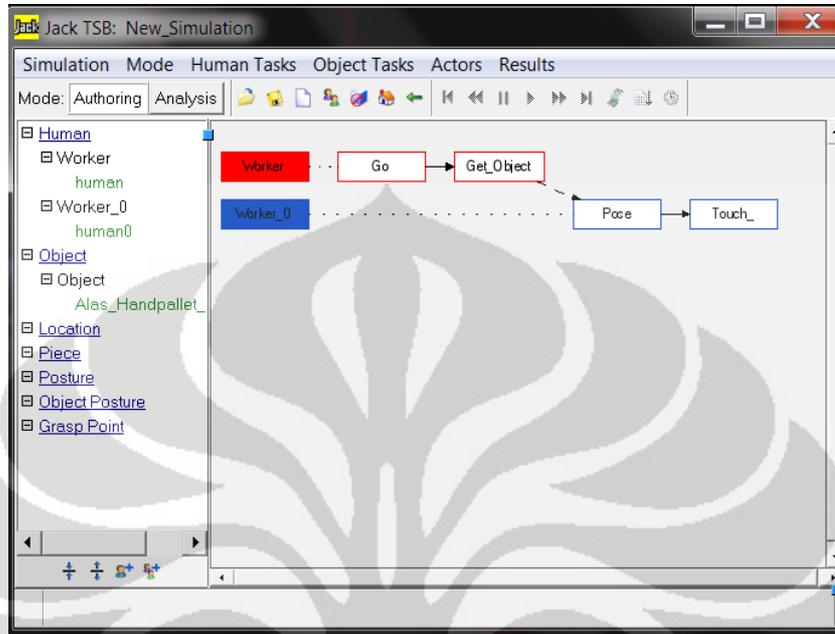
Gambar 3.15 Contoh Pengaturan Postur dengan Menggunakan *Adjust Joint*

3.3.4 Pemberian Tugas Simulasi pada Model Manusia

Setelah memposisikan postur yang sesuai, objek penelitian siap untuk diberikan tugas simulasi. Pembuatan gerakan simulasi dalam *software* Jack dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan *Task Simulation Builder* (TSB) atau dengan *animation system*.

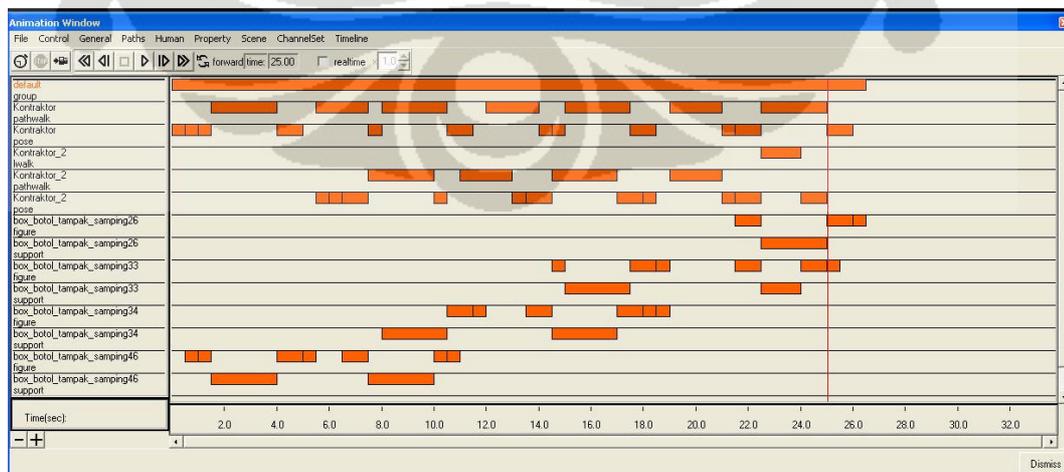
Task simulation builder merupakan metode simulasi rangkaian gerakan kerja yang sudah menyediakan pilihan-pilihan aktivitas pada model manusia, seperti mengambil, mengangkat, meletakkan, berjalan, dan sebagainya. TSB akan membuat simulasi rangkaian gerakan dengan membagi proses pembuatan simulasi dalam dua bagian yaitu mendefinisikan simulasi dan memberikan perintah simulasi. Dalam pendefinisian simulasi, beberapa komponen utama simulasi harus didefinisikan seperti model manusia, objek yang akan terlibat di dalam simulasi, lokasi perpindahan objek dan sebagainya. Pada bagian perintah simulasi, TSB yang tampak pada gambar 3.16 akan menganalisis apakah *simulation definition*

yang telah dibuat dapat dilaksanakan atau tidak, berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakannya, serta bagaimana cara pengerjaannya.



Gambar 3.16 Tampilan Pembuatan Simulasi dengan Menu TSB

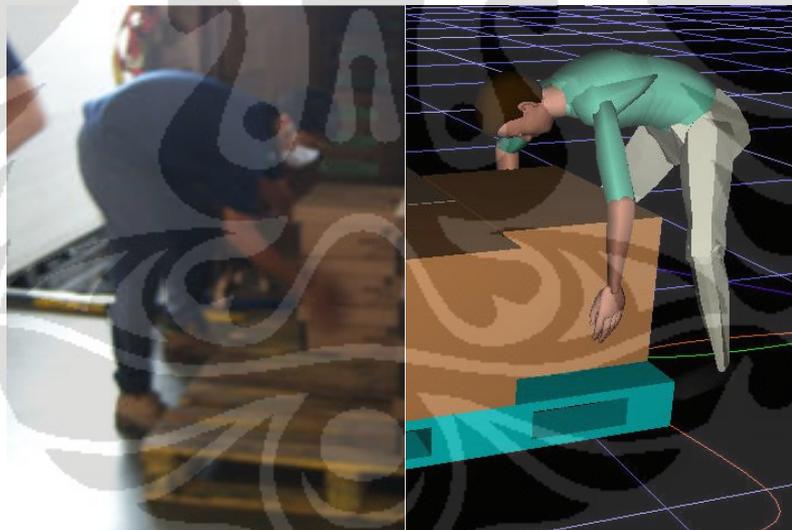
Namun TSB ini mempunyai kelemahan yakni gerakan kerja yang dapat dilakukan sangat terbatas, sehingga tidak dapat terbentuk gerakan rangkaian kerja tepat seperti yang diinginkan. Peran ini dapat digantikan oleh fungsi menu simulasi yang lain yaitu *animation system* yang tampilannya dapat dilihat pada gambar 3.17 di bawah ini.



Gambar 3.17 Tampilan Pembuatan Simulasi dengan Menu *Animation System*

Pembuatan gerakan dalam *animation system* membutuhkan sejumlah parameter seperti nama gerakan, penambahan berat, kecepatan, waktu mulai suatu gerakan, durasi gerakan, dan tujuan akhir. Bila sudah tersedia video kondisi aktual stasiun kerja, hal tersebut akan lebih memudahkan pembuatan *animation system* dalam Jack. Gerakan model manusia dapat diatur satu persatu dengan memilih anggota tubuh yang akan digerakkan, menyesuaikan posisi yang diinginkan, lalu menetapkan waktu mulai pergerakan dan durasinya. Gerakan yang berbeda setiap stasiun kerja pada waktu yang bersamaan juga dapat diintegrasikan sehingga membentuk simulasi yang serupa dengan kondisi aktual.

Berdasarkan perbandingan dari kedua fungsi tersebut maka pembuatan model untuk penelitian ini menggunakan fungsi *animation system*. Pilihan fungsi ini akan membantu dalam pembuatan simulasi agar gerakan dari manekin sesuai dengan gerakan dan postur tubuh pekerja ketika beraktivitas. Salah satu contoh perbandingan gerakan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.18 di bawah ini.



Gambar 3.18 Perbandingan Gerakan Aktual dengan Gerakan Animasi

Dalam gambar di atas dapat dilihat bahwa gerakan animasi dibuat sesuai dengan kondisi aktual yang dialami pekerja ketika menjalankan tugasnya. Gerakan animasi ini dibuat semirip mungkin dengan kondisi aslinya agar dapat memperoleh *output* analisis yang tepat dan sesuai dengan yang diinginkan.

3.3.5 Melakukan Analisis Ergonomi dengan Menggunakan *Jack Task Analysis Toolkit (TAT)*

Setelah postur dan animasi dibuat maka langkah selanjutnya adalah menganalisis setiap postur dari rangkaian gerakan yang tercipta dari proses animasi. Jack TAT memiliki 9 *tools* yang dapat digunakan mengevaluasi aspek *human factor* dari model manusia digital. Namun dalam penelitian ini *tools* yang digunakan untuk menganalisis model manusia digital hanya 5 dari 9 *tools* yang tersedia, yaitu *Static Strength Prediction, Low Back Analysis, Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment* dan *NIOSH Lifting Analysis*.

Analisis dilakukan dengan menjalankan animasi rangkaian kerja model manusia, mengaktifkan tool yang akan digunakan, dan memperhatikan *timing* terjadinya *critical posture*. *Critical posture* menunjukkan titik ekstrim postur kerja yang menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis. Pada titik *critical posture* inilah umumnya terjadi beban puncak dari gaya-gaya yang bekerja. Oleh karena itu, sepanjang proses berjalannya animasi harus diamati dengan seksama untuk dapat mengetahui dengan tepat angka tertinggi dari setiap *output* analisis.

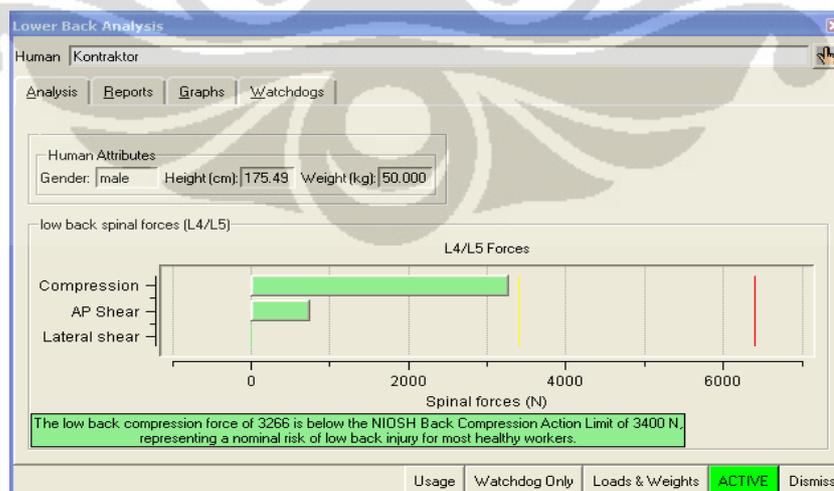
Analisis *Static Strength Prediction* atau SSP digunakan untuk mengetahui berapa persen pekerja yang mampu menjalankan aktivitas sesuai dengan postur dan kondisi yang sedang disimulasikan. Nilai hasil analisis SSP ini berubah-ubah seiring dengan berjalannya simulasi dikarenakan perubahan postur dan aktivitas akan berpengaruh pada kemampuan tubuh pekerja dalam melakukannya.

Berdasarkan definisi SSP sebagaimana yang telah disebutkan di atas maka tolak ukur penilaian SSP yang digunakan dalam penelitian ini ialah lebih besar dari 0%. Dengan demikian dapat dikatakan seluruh rangkaian aktivitas yang disimulasikan memungkinkan untuk dilakukan oleh manusia.



Gambar 3.19 Contoh *Output* Analisis SSP

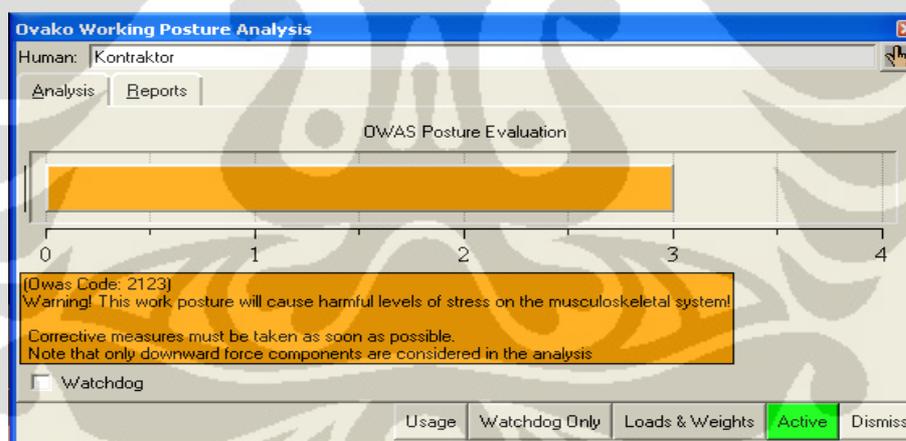
Lower Back Analysis atau LBA digunakan untuk mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia akibat aktivitas yang dilakukan. Analisis LBA menghasilkan output berupa grafik nilai tekanan kompresi yang diterima oleh model yang digunakan dalam simulasi tersebut seperti yang ada pada gambar 3.20 berikut ini.



Gambar 3.20 Contoh *Output* Analisis LBA

Nilai tekanan kompresi ini memiliki 3 buah kategori atau batasan yakni kurang dari 3.400N, antara 3.400N hingga 6.000N, dan di atas 6.000N. Batasan nilai ini didasarkan pada nilai atau standard *NIOSH Back Compression Action Limit* dimana jika nilai kompresi kurang dari 3.400N maka aktivitas tersebut tidak terlalu beresiko untuk dilakukan sedangkan jika nilainya melebihi 3.400N maka grafik akan berwarna kuning yang menunjukkan resiko dari postur dan aktivitas tersebut berbahaya bagi kesehatan. Apabila melampaui 6.000N maka grafik akan berubah menjadi berwarna merah yang mengindikasikan aktivitas dan postur tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh pekerjaanya.

Ovako Working Posture Analysis System atau OWAS dipakai untuk mengukur tingkat kenyamanan dari suatu postur pekerja ketika beraktivitas. *Output* OWAS ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan indikator mulai dari 1 sampai dengan 4. Analisis OWAS sebagaimana yang terdapat pada gambar 3.21 ini menunjukkan kaitan antara tingkat beban dan postur aktivitas yang dilakukan dengan tekanan pada sistem muskuloskeletal tubuh pekerjaanya.



Gambar 3.21 Contoh *Output* Analisis OWAS

Rapid Upper Limb Assessment atau RULA merupakan indikator analisis yang digunakan untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas terkait dengan dampak dari pekerjaan dan beban yang ada. *Output* analisis RULA akan dipengaruhi oleh postur tubuh pekerja ketika melakukan aktivitas tersebut, beban yang diangkat dan jumlah repetisi dari proses tersebut. Tampilan *output* analisis RULA pada *software* Jack dapat dilihat pada gambar 3.22 di bawah ini.

The screenshot displays the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software window. It features a navigation bar with 'Task Entry', 'Reports', and 'Analysis Summary' tabs. The 'Analysis Summary' tab is active, showing a form with the following data:

- Job Title: Unloading Kontraktor 1
- Location: RMS
- Comments: (empty)
- Job Number: (empty)
- Analyst: Herman Adrian
- Date: 26 April 2010

Two posture rating sections are visible:

- Body Group A Posture Rating:** Upper arm: 3, Lower arm: 3, Wrist: 1, Wrist Twist: 2, Total: 8.
- Body Group B Posture Rating:** Neck: 4, Trunk: 3, Total: 10.

Muscle Use and Force/Load sections indicate high risk:

- Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute.
- Force/Load: More than 10 kg static. Shock forces.
- Arms: Supported.

Legs and Feet Rating: Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 7 (highlighted in red)

Action: Investigation and changes are required immediately.

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss.

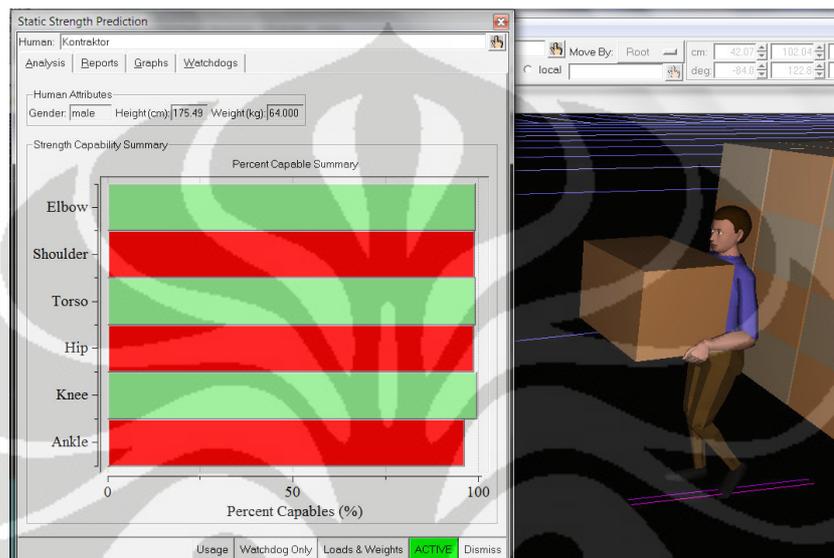
Gambar 3.22 Contoh *Output* Analisis RULA

Analisis RULA memiliki nilai maksimal 7 yang menandakan resiko sangat tinggi dan perlu segera dilakukan investigasi serta perbaikan bagi pekerjaan tersebut.

NIOSH Lifting Analysis adalah sebuah *guideline* yang dikembangkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) dengan *output* satuan beban yang dapat ditangani oleh hampir setiap orang. Satuan beban atau yang biasa disebut *Recommended Weight Limit* (RWL) ini merupakan beban maksimal yang direkomendasikan untuk suatu pekerjaan berdasarkan kondisi-kondisi yang didefinisikan.

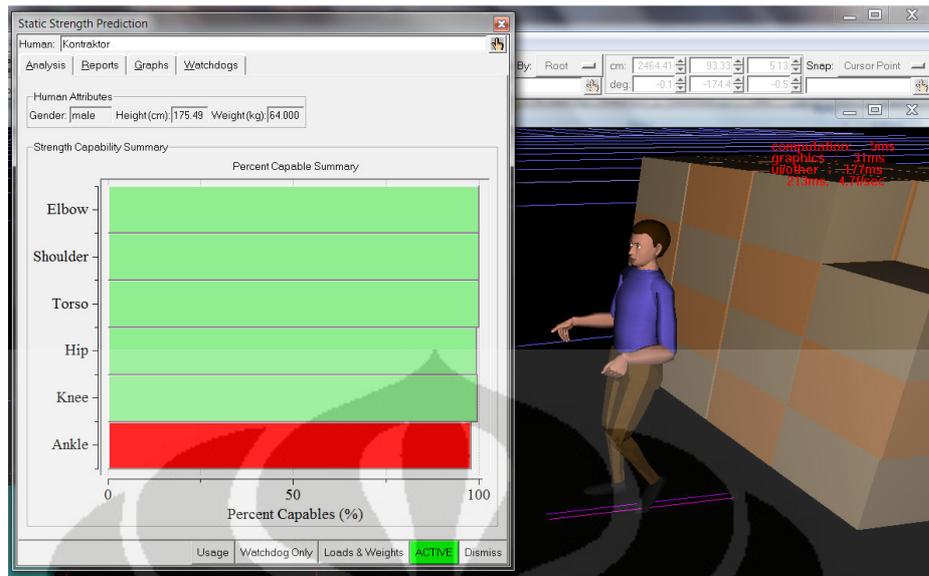
Pada *software* Jack, perhitungan nilai RWL tidak dapat dilakukan secara otomatis sehingga perlu dilakukan perhitungan secara manual. Sedangkan *software* Jack akan memberikan bantuan *output* berupa jarak perpindahan benda dan nilai asimetri yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan RWL.

Hasil pengujian kedua model ini menunjukkan *output* yang berbeda. Untuk *output* yang pertama yakni *static strength prediction* (SSP), pada model yang pertama dimana pekerja membawa beban berupa kardus seberat 22 kilogram maka nilai SSP cenderung jauh lebih buruk dibandingkan dengan pekerja yang tidak membawa beban.



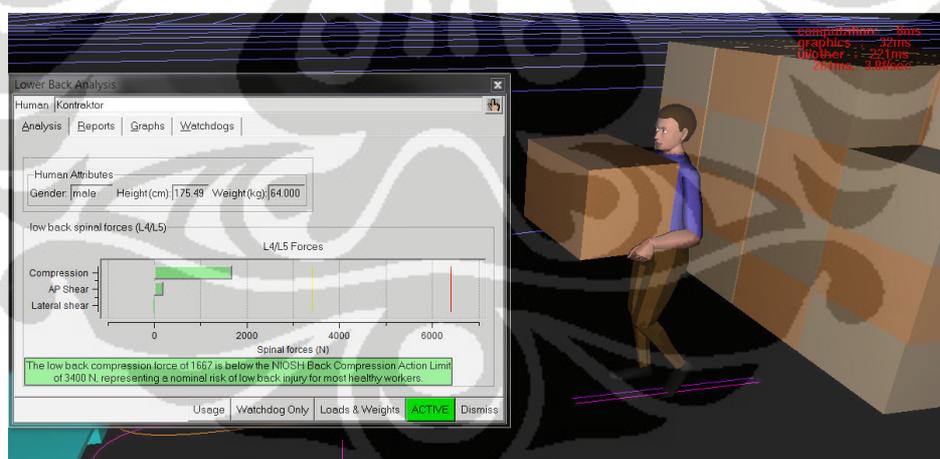
Gambar 3.24 *Output* Analisis SSP untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg

Secara sederhana, kondisi lebih buruk untuk model dengan beban dapat dilihat dari lebih banyaknya indikator bagian atau organ tubuh pekerja pada gambar 3.24 tersebut yang berwarna merah. Hal yang berbeda terjadi untuk posisi berjalan dengan postur yang sama tapi tanpa beban kardus sebagaimana yang ada pada gambar 3.25. Pada kondisi ini hanya sebagian kecil saja yang berwarna merah tetapi jumlahnya jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan kondisi yang menggunakan beban kardus. Secara logis, perbedaan *output* ini dapat diterima mengingat kondisi dengan beban 22 kilogram tentunya akan berdampak signifikan terhadap tubuh pekerja termasuk mengurangi persentase pekerja yang sanggup melakukan aktivitas tersebut.



Gambar 3.25 Output Analisis SSP untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban

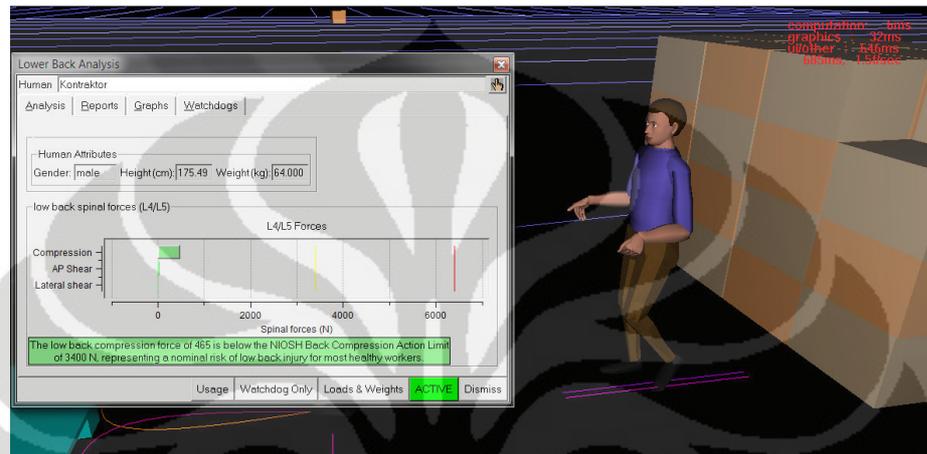
Indikator *output* yang kedua ialah *lower back analysis* (LBA) dimana model dengan beban tentu seharusnya akan memberikan nilai LBA yang lebih besar sebagai manifestasi dari semakin tingginya kompresi yang dialami oleh tubuh pekerja tersebut.



Gambar 3.26 Output Analisis LBA untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg

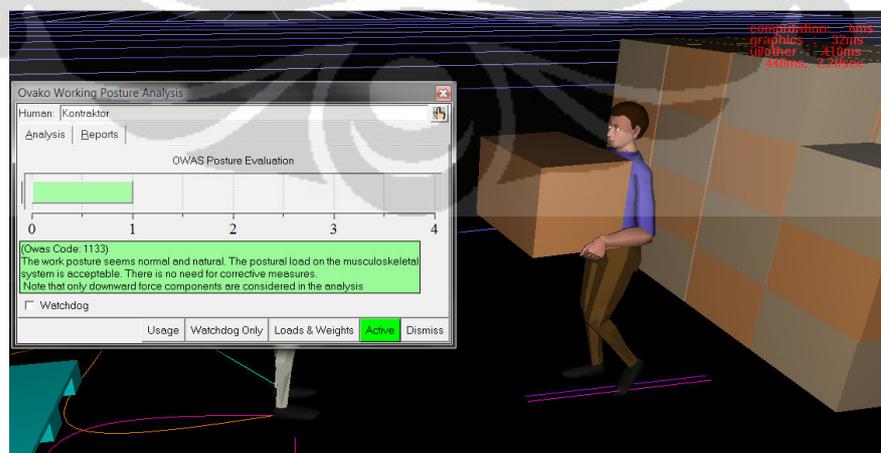
Hasil simulasi yang dijalankan untuk model dengan beban 22 kg menunjukkan besaran nilai LBA untuk posisi tersebut ialah 1667 N. Sementara hasil simulasi untuk model manekin yang tidak diberikan beban pada postur yang sama memberikan output nilai LBA sebesar 465 N.

Dari kedua output tersebut terlihat bahwa perbedaan beban yang diangkat akan berpengaruh pada nilai LBA pekerja. Semakin besar perbedaan beban di antara keduanya maka semakin signifikan pula selisih nilai LBA untuk masing-masing kondisi tersebut. Kenyataan ini menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari berat benda dan ini merupakan sesuatu yang logis.



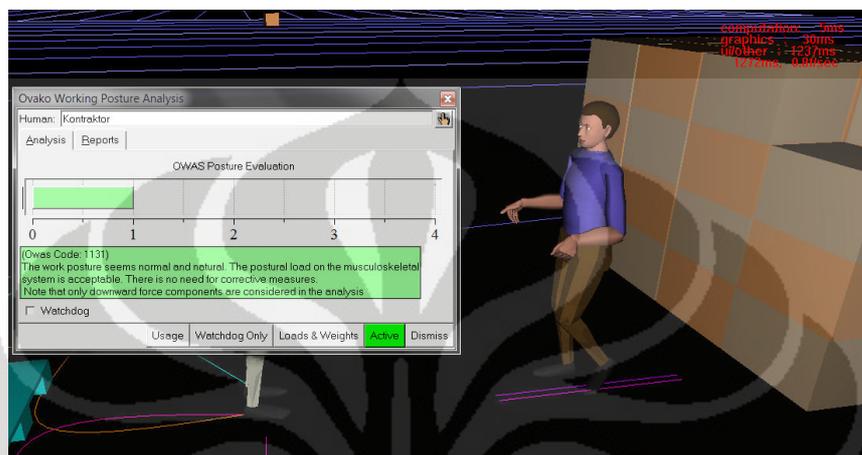
Gambar 3.27 Output Analisis LBA untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban

Output yang ketiga yakni *ovako working posture analysis* atau OWAS akan memberikan gambaran mengenai kenyamanan pekerja dalam beraktivitas dengan kondisi dan postur seperti yang disimulasikan. Kenyamanan ini akan sangat dipengaruhi oleh postur atau posisi tubuh pekerja ketika menjalankan aktivitasnya.



Gambar 3.28 Output Analisis OWAS untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg

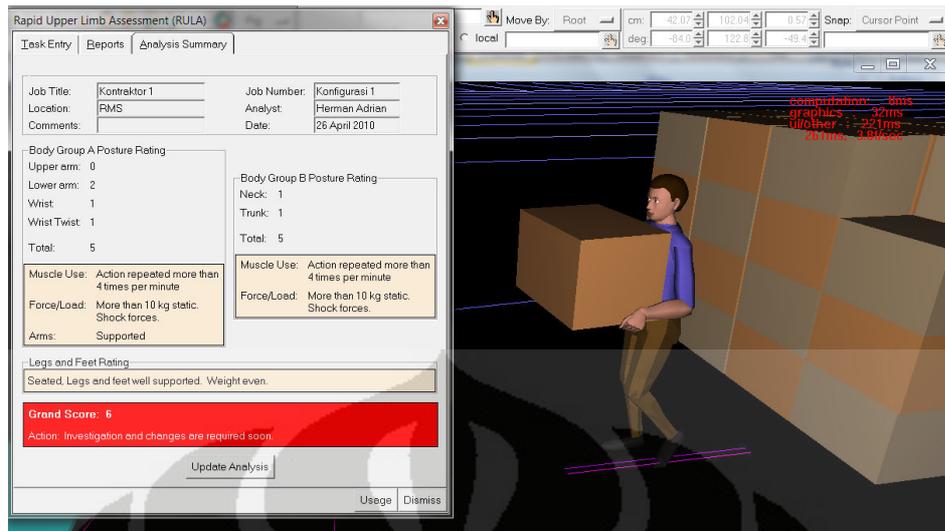
Pada *output* nilai OWAS untuk kondisi dengan menggunakan kardus seberat 22 kg menunjukkan angka 1. Hal ini menunjukkan bahwa pengangkatan kardus dengan posisi tersebut masih nyaman untuk dilakukan.



Gambar 3.29 *Output* Analisis OWAS untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban

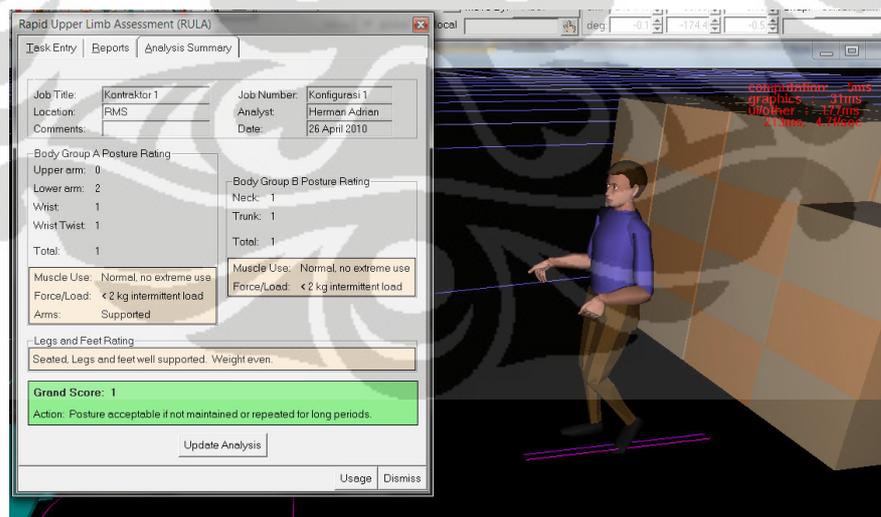
Sebagaimana terlihat pada gambar 3.29 di atas, postur tubuh pekerja tanpa beban kardus tersebut memberikan *output* nilai OWAS sebesar 1 atau sama dengan model yang membawa kardus seberat 22 kg. Namun jika diamati kode yang terdapat pada gambar 3.28 ialah 1-1-3-3 sedangkan kode pada gambar 3.29 ialah 1-1-3-1. Perbedaan angka pada bagian terakhir ini menunjukkan berat benda yang diangkat. Angka 3 merujuk pada benda dengan berat lebih dari 20 kilogram sementara angka 1 menunjukkan bobot benda kurang dari 10 kilogram yang dalam hal ini tidak ada benda. Kesamaan nilai akhir untuk *output* OWAS ini terjadi mengingat tolak ukur utama yang digunakan ialah tingkat kenyamanan terutama terkait dengan postur tubuh pekerja tersebut. Dengan demikian maka kesamaan *output* nilai total OWAS ini merupakan sesuatu yang logis.

Output terakhir yang juga akan digunakan dalam tahap validasi ini ialah *rapid upper limb assessment* atau RULA. *Output* analisis ini akan menunjukkan nilai untuk masing-masing bagian tubuh baik bagian tubuh A yang meliputi lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan dan perputarannya maupun bagian tubuh B yang terdiri dari leher dan batang tubuh.



Gambar 3.30 Output Analisis RULA untuk Posisi Berjalan dengan Beban 22kg

Berbeda dengan nilai RULA untuk model yang membawa kardus seberat 22 kg seperti pada gambar 3.30, nilai untuk model yang tidak membawa beban sebagaimana pada gambar 3.31 menunjukkan skor akhir atau *grand score* sebesar 1. Perbedaan ini mengingat salah satu poin utama dari analisis RULA ialah beban yang ditanggung. Dengan kondisi tanpa beban maka nilai RULA model ini akan sangat berbeda dibandingkan model yang membawa beban apalagi seberat 22 kg.



Gambar 3.31 Output Analisis RULA untuk Posisi Berjalan Tanpa Beban

Berdasarkan perbandingan terhadap *output-output* dari kedua model tersebut maka dapat disimpulkan bahwa *software* yang digunakan valid karena

dapat menunjukkan perubahan nilai *output* yang signifikan untuk perbedaan kondisi dan postur secara logis.

3.4 PENENTUAN KONFIGURASI SERTA PERHITUNGAN *POSTURE EVALUATION INDEX* DAN *LIFTING INDEX*

3.4.1 Penentuan Konfigurasi

Dalam melakukan penelitian dengan menggunakan bantuan *software* Jack untuk simulasinya ini, kita harus terlebih dahulu mendefinisikan jenis-jenis konfigurasi yang disimulasikan. Dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang ingin diamati dan kondisi yang mempengaruhi simulasi, penentuan jumlah dan jenis konfigurasi yang akan disimulasikan pada penelitian kali ini didasarkan pada kondisi antropometri pekerja dan lingkungan kerjanya yang dalam hal ini meliputi jenis barang yang diangkat dan cara pengangkatan yang dilakukan.

Antropometri pekerja yang dimaksudkan ialah ukuran manekin yang digunakan dalam simulasi tersebut berdasarkan data antropometri seluruh pekerja di bagian *unloading* RMS. Sebagaimana yang telah ditampilkan pada sub bab 3.2.2 mengenai antropometri tubuh pekerja, penelitian ini akan menggunakan 2 jenis *percentile* yakni *percentile* 5 dan 95.

Berdasarkan sub bab 3.2.5 mengenai dimensi kardus *packaging material*, terdapat 4 jenis kardus yang berbeda dari segi ukuran / dimensi dan beratnya. Namun dalam simulasi yang akan dibuat untuk penelitian kali ini, jenis kardus yang akan digunakan hanyalah kardus berisi botol-botol dengan dimensi 695mm x 495mm x 465mm dan berat maksimal 22kg.

Dari sudut pandang cara pengangkutan, saat ini proses *unloading* dilakukan secara manual dimana pekerja mengangkut tumpukan kardus dari dalam truk secara manual tanpa menggunakan alat bantu apapun lalu meletakkannya pada palet yang terdapat di pelataran RMS. Proses ini melibatkan sedikitnya 2 orang pekerja atau yang biasa disebut operator. Kondisi ini merupakan keadaan yang saat ini berlangsung di area *unloading* RMS sehingga konfigurasi ini menjadi konfigurasi dasar. Di samping kondisi pengangkutan secara manual tersebut, sebagaimana yang menjadi tujuan utama dari penelitian ini yakni memberikan rekomendasi alat bantu maka akan dibuat pula simulasi

dimana para pekerja melakukan aktivitasnya dengan menggunakan alat bantu yang direkomendasikan. Untuk penelitian kali ini, terdapat 3 jenis alat bantu yang direkomendasikan yaitu *vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter*.

Vacuum grip digunakan untuk membantu operator 1 ketika mengambil kardus yang letaknya tinggi atau rendah sehingga dapat mengurangi postur ekstrim yang terpaksa harus dilakukan ketika beraktivitas seperti membungkuk untuk mengambil kardus yang berada di bawah. Di samping itu, alat ini juga akan mengurangi beban yang ditanggung oleh operator 1 sehingga pekerjaannya akan menjadi semakin mudah dan tidak beresiko terhadap kesehatan.

Adjustable conveyor dipilih mengingat fungsinya dalam memindahkan barang secara mekanis sehingga mampu mengurangi pergerakan pekerja yang terus menerus sambil membawa barang. Selain itu ketinggian *conveyor* yang dapat disesuaikan dengan postur pekerja akan mengurangi postur membungkuk pada operator 1 ketika meletakkan barang maupun pada saat operator 2 mengambilnya untuk diletakkan pada palet. Kombinasi alat ini dengan *high lifter* akan sangat membantu operator 2 sehingga proses pemindahan kardus tidak perlu lagi dengan pengangkatan melainkan cukup dengan menggeser saja.

Berdasarkan beragam pertimbangan tersebut maka dibuat 8 buah konfigurasi seperti yang terdapat pada tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Jenis Konfigurasi yang Digunakan untuk Simulasi

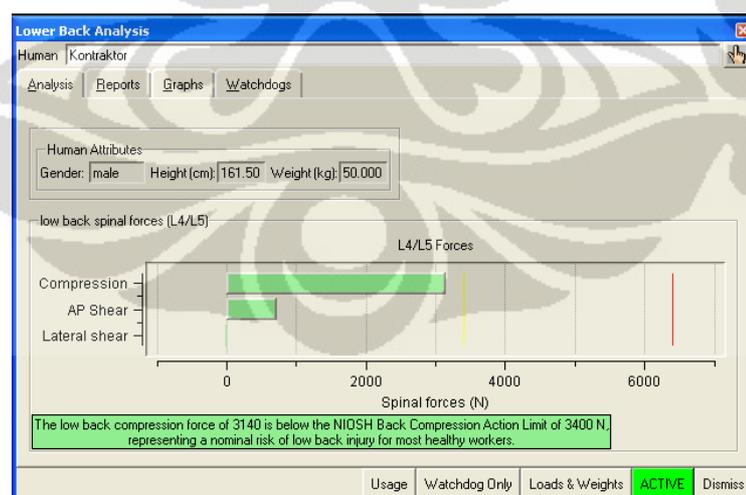
Konfigurasi	Jenis Barang	Percentile Antropometri	Kondisi Pekerja
1	Kardus berisi botol	5	Manual
2	Kardus berisi botol	95	Manual
3	Kardus berisi botol	5	<i>High lifter</i> dan <i>adjustable conveyor</i>
4	Kardus berisi botol	95	<i>High lifter</i> dan <i>adjustable conveyor</i>
5	Kardus berisi botol	5	<i>High lifter</i> dan <i>vacuum lifter</i>
6	Kardus berisi botol	95	<i>High lifter</i> dan <i>vacuum lifter</i>
7	Kardus berisi botol	5	<i>High lifter</i> , <i>adjustable conveyor</i> , <i>vacuum lifter</i>
8	Kardus berisi botol	95	<i>High lifter</i> , <i>adjustable conveyor</i> , <i>vacuum lifter</i>

3.4.2 Perhitungan *Posture Evaluation Index*

Posture Evaluation Index (PEI) yang menjadi salah satu analisis pada penelitian kali ini berusaha memberikan indikator pengaruh dari aktivitas yang dilakukan terhadap kondisi tubuh pekerja. Nilai PEI merupakan perpaduan dari nilai *Lower Back Assessment* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) dengan rumus $PEI = (LBA / 3.400) + (OWAS / 4) + (RULA / 7 * 1.42)$.

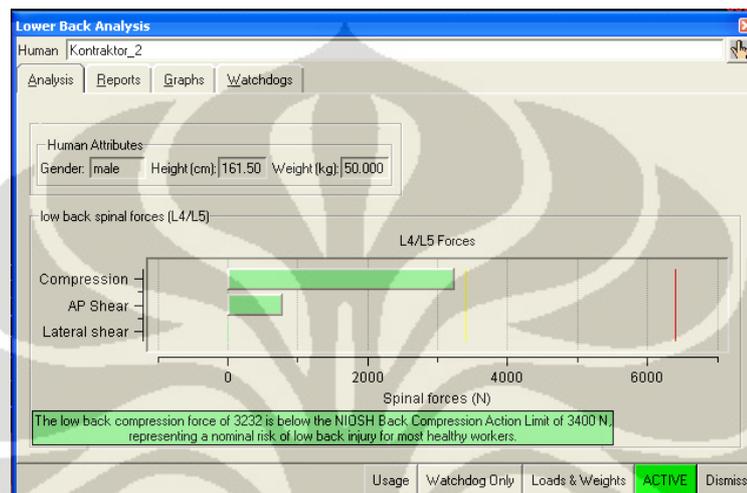
Pada bagian ini akan dijelaskan proses perhitungan nilai PEI dimulai dari *output* yang dihasilkan oleh *software* Jack lalu diolah hingga akhirnya diperoleh nilai PEI. Pada pembahasan contoh perhitungan nilai PEI ini akan digunakan *output* simulasi konfigurasi 1 sebagai dasarnya. Berdasarkan simulasi tersebut terdapat 2 orang pekerja yang diberi nama operator 1 dan operator 2. Dengan kondisi demikian maka evaluasi postur pekerja harus dilakukan untuk masing-masing operator sehingga akan diperoleh 2 buah nilai PEI untuk setiap konfigurasinya.

Tahap pertama yang dilakukan dalam menghitung nilai PEI ialah mengumpulkan *output* LBA, OWAS dan RULA dari *software* Jack. Ketiga *output* ini dikumpulkan untuk operator 1 maupun operator 2.



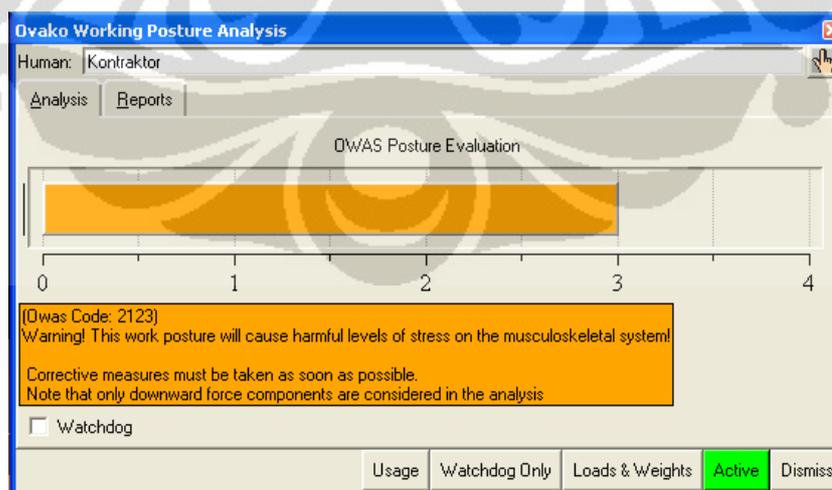
Gambar 3.32 *Output* LBA dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1

Sebagaimana gambar 3.32 di atas, nilai maksimal LBA dari operator 1 untuk konfigurasi yang 1 ialah 3.139N. Sedangkan nilai maksimal LBA untuk operator 2 ialah 3.363N seperti yang ada pada gambar 3.33. Nilai ini merupakan nilai LBA tertinggi bagi kedua operator tersebut sepanjang simulasi konfigurasi tersebut dijalankan.



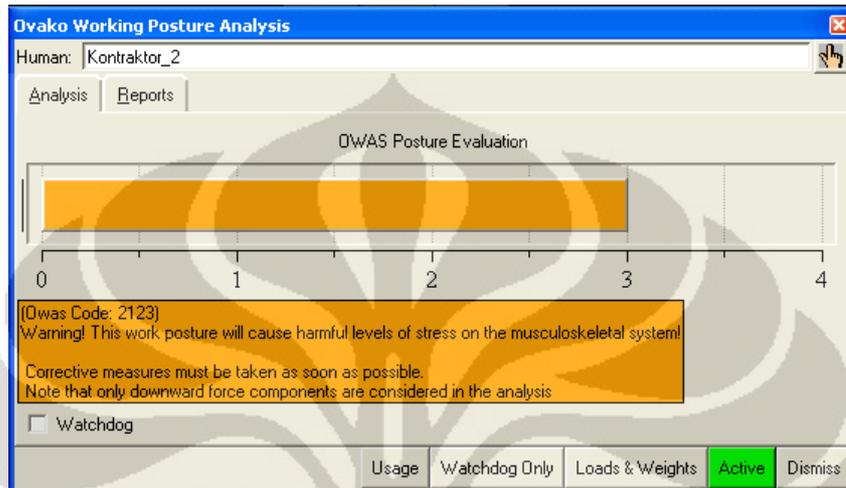
Gambar 3.33 Output LBA dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1

Setelah diperoleh data *output* analisis LBA maka selanjutnya dikumpulkan *output* analisis untuk OWAS. Dalam perhitungan PEI, nilai OWAS yang digunakan ialah nilai total yang memiliki batas nilai maksimal 4.



Gambar 3.34 Output OWAS dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1

Berdasarkan gambar 3.34 dan gambar 3.35 dapat dilihat bahwa nilai maksimal OWAS untuk operator 1 maupun operator 2 sama-sama bernilai 3. Nilai OWAS yang dimaksudkan ini merupakan nilai OWAS tertinggi yang dialami sepanjang simulasi konfigurasi tersebut dijalankan.



Gambar 3.35 Output OWAS dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1

Hasil output analisis yang selanjutnya dikumpulkan ialah RULA dengan nilai total maksimal sebesar 7.

Gambar 3.36 Output RULA dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1

Pada gambar 3.36 dan gambar 3.37, nilai maksimal RULA untuk operator 1 dan operator 2 pada konfigurasi yang pertama ialah 7. Nilai ini merupakan nilai RULA tertinggi sepanjang simulasi konfigurasi tersebut dijalankan. Nilai maksimal inilah yang akan digunakan dalam perhitungan nilai PEI untuk menganalisis kondisi tubuh pekerja ketika menjalankan aktivitas *unloading* manual sebagaimana yang disimulasikan pada konfigurasi pertama ini.

Gambar 3.37 Output RULA dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1

Setelah seluruh *output* LBA, OWAS dan RULA tersebut telah terkumpul maka selanjutnya dapat dibuat perhitungan PEI bagi postur masing-masing operator. Rumusan dan dasar teori yang digunakan untuk menghitung nilai PEI ini telah dijelaskan pada bab 2. Nilai PEI yang diperoleh dapat dijadikan dasar dalam melakukan perbandingan dan menentukan konfigurasi yang lebih baik jika ditinjau dari sisi ergonomi.

Operator pertama

$$\begin{aligned}
 PEI &= (LBA / 3.400) + (OWAS / 4) + (RULA / 7 * 1,42) \\
 &= (3.140 / 3.400) + (3 / 4) + (7 / 7 * 1,42) \\
 &= 0,924 + 0,75 + 1,42 \\
 &= 3,094
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai PEI operator 1 sebesar 3,094. Nilai PEI ini diperoleh dari *output* analisis terhadap postur atau kondisi ekstrim yang terdapat pada konfigurasi 1.

Operator kedua

$$\begin{aligned}
 \text{PEI} &= (\text{LBA} / 3.400) + (\text{OWAS} / 4) + (\text{RULA} / 7 * 1,42) \\
 &= (3.232 / 3.400) + (3 / 4) + (7 / 7 * 1,42) \\
 &= 0,951 + 0,75 + 1,42 \\
 &= 3,121
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai PEI untuk operator 2 ialah 3,121. Dengan cara perhitungan demikian maka akan diperoleh 2 nilai PEI untuk setiap konfigurasi atau 16 nilai PEI dari kedelapan konfigurasi yang akan dibuat. Nilai-nilai ini akan saling dibandingkan untuk mengetahui konfigurasi *unloading* yang terbaik berdasarkan prinsip ergonomi.

3.4.3 Perhitungan *Lifting Index*

Lifting Index merupakan metode yang digunakan untuk mengukur apakah proses pengangkatan yang dilakukan pekerja telah sesuai dengan batas maksimal yang direkomendasikan menurut standard yang dibuat oleh NIOSH (*The National Institute for Occupational Safety and Health*). Perhitungan berat maksimal yang direkomendasikan ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus *RWL* (*Recommended Weight Limit*).

Nilai *RWL* akan menunjukkan berat maksimal yang direkomendasikan sesuai dengan kondisi pekerjaan yang dianalisis tersebut. Pembagian antara bobot barang yang diangkat dengan nilai *RWL* akan menghasilkan *Lifting Index* (*LI*). Pada penelitian ini, nilai *LI* akan dianalisis untuk mengetahui kondisi pengangkatan manual yang dilakukan oleh operator 1 dan operator 2 terutama untuk konfigurasi 1 dan 2. Jika nilai *LI* yang diperoleh melebihi 1 maka kondisi tersebut sudah mulai beresiko bagi tubuh pekerja karena melewati ambang batas yang direkomendasikan. Semakin tinggi nilai *LI* maka dapat dikatakan aktivitas

tersebut semakin beresiko tinggi bagi kesehatan tubuh pekerja dan demikian pula sebaliknya.

Software Jack tidak menghasilkan *output* berupa nilai LI ataupun nilai RWL yang dapat langsung digunakan melainkan memunculkan koordinat perpindahan yang menjadi dasar dalam perhitungan RWL.

Gambar 3.38 Output NIOSH dari Operator 1 untuk Konfigurasi 1

Pada gambar 3.38 di atas dapat dilihat koordinat vertikal dan horizontal untuk titik awal (*lift origin*) dan titik akhir pengangkatan (*lift destination*). Selain itu output analisis NIOSH ini juga menunjukkan nilai asimetri yang dipakai dalam perhitungan RWL. Dengan menggunakan data-data inilah dibuat perhitungan untuk mendapatkan nilai batas maksimal pengangkatan yang direkomendasikan berdasarkan prinsip ergonomi atau RWL bagi setiap operator pada masing-masing konfigurasi.

Gambar 3.39 Output NIOSH dari Operator 2 untuk Konfigurasi 1

Berdasarkan data pada gambar 3.38 dan 3.39 di atas maka dilakukan pengolahan untuk mendapatkan nilai RWL.

$$\begin{aligned}
 \text{RWL} &= \text{LC} \times \text{HM} \times \text{VM} \times \text{DM} \times \text{AM} \times \text{FM} \times \text{CM} \\
 &= 23 \times (25/\text{H}) \times (1-0,003 \mid \text{V}-75 \mid) \times (0,82+4,5/\text{D}) \times (1-0,0032\text{A}) \times \text{FM} \times 1 \\
 &= 23 \times (25/34,358) \times (1-0,003 \mid 8,359-75 \mid) \times (0,82+4,5/(78,665-8,359)) \times \\
 &\quad (1-0,0032(0,073)) \times 0,45 \times 1 \\
 &= 5,297 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LI} &= \text{Beban Pengangkatan} / \text{RWL} \\
 &= 22 \text{ kg} / 5,297 \text{ kg} \\
 &= 4,153
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai LI untuk operator 1 ialah 4,153. Nilai ini mengindikasikan bahwa pengangkatan manual yang dilakukan oleh operator 1 selama ini lebih dari 4 kali lipat dari ambang batas yang

direkomendasikan. Hasil ini juga menunjukkan bahwa terdapat resiko bagi kesehatan pekerja jika kegiatan tersebut terus menerus dilakukan secara manual.

$$\begin{aligned}
 \text{RWL} &= \text{LC} \times \text{HM} \times \text{VM} \times \text{DM} \times \text{AM} \times \text{FM} \times \text{CM} \\
 &= 23 \times (25/\text{H}) \times (1-0,003 | \text{V}-75 |) \times (0,82+4,5/\text{D}) \times (1-0,0032\text{A}) \times \text{FM} \times 1 \\
 &= 23 \times (25/34,528) \times (1-0,003 | 8,357-75 |) \times (0,82+4,5/(74,924-8,357)) \times \\
 &\quad (1-0,0032(0,354)) \times 0,45 \times 1 \\
 &= 5,316 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LI} &= \text{Beban Pengangkatan} / \text{RWL} \\
 &= 22 \text{ kg} / 5,316 \text{ kg} \\
 &= 4,139
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan di atas diperoleh nilai LI untuk operator 2 ialah 4,139. Nilai ini mengindikasikan bahwa pengangkatan manual yang dilakukan oleh operator 1 selama ini jauh melebihi ambang batas yang direkomendasikan dan ini juga menunjukkan bahwa terdapat resiko bagi kesehatan pekerja jika kegiatan tersebut terus menerus dilakukan secara manual. Oleh karena itu perlu digunakan alat bantu untuk proses *unloading* tersebut.

BAB 4

ANALISIS

Pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap kondisi aktual dan kondisi masing-masing konfigurasi yang dibuat. Analisis ini dapat membantu mengetahui manfaat dari masing-masing alat bantu yang disimulasikan dalam menunjang proses *unloading* yang dilakukan agar menjadi lebih ergonomis. Berdasarkan nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) yang diperoleh untuk setiap konfigurasi dapat dibandingkan pengaruh dari setiap alat bantu tersebut.

4.1 ANALISIS KONDISI AKTUAL

Dalam penelitian ini, kondisi aktual yang disimulasikan terdapat pada konfigurasi pertama dan kedua. Kedua konfigurasi ini merupakan representasi dari proses *unloading* manual yang saat ini berlangsung dimana kardus dikeluarkan dari dalam truk dan ditumpuk pada palet-palet yang ada di pelataran area *Raw Material Store* (RMS). Perbedaan kedua konfigurasi ini hanya terdapat pada antropometri manekin yang digunakan yakni konfigurasi 1 memakai data *percentile* 5 dan konfigurasi 2 dengan *percentile* 95. Sedangkan untuk jenis kelamin, seluruh simulasi dibuat dengan menggunakan manekin berjenis kelamin pria. Seluruh data antropometri dan jenis kelamin ini didasarkan pada data seluruh populasi pekerja *unloading* RMS yang berjumlah 11 orang pria.

Analisis terhadap kedua konfigurasi awal ini bertujuan untuk melihat bagaimana kondisi ergonomi dari aktivitas yang selama ini telah dilakukan. Hasil analisis ini akan membantu untuk mengetahui letak dari postur atau posisi ekstrim yang terjadi dan menjadi dasar dari pembuatan usulan atau rekomendasi alat bantu *material handling* yang akan juga disimulasikan pada konfigurasi yang lain.

4.1.1 Analisis *Output* Konfigurasi 1

Pada simulasi konfigurasi 1 yang merupakan representasi dari kondisi aktual terdapat 2 model manusia berjenis kelamin pria yang dibentuk dengan menggunakan data antropometri *percentile* 5. Model manusia yang pertama merupakan representasi dari operator pertama yang melakukan pengambilan kardus dari dalam tumpukan di truk lalu meletakkannya di depan truk. Sedangkan model manusia kedua yang juga representasi dari operator kedua bertugas mengambil barang yang diletakkan oleh operator pertama lalu menyusunnya di atas palet.

Analisis yang pertama dilakukan terhadap konfigurasi ini ialah analisis terhadap nilai *Static Strength Prediction* (SSP) untuk masing-masing operator. Berdasarkan analisis SSP diperoleh hasil bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator karena seluruh indikator yang ada menunjukkan nilai lebih dari 0. Dengan demikian maka analisis dapat dilanjutkan dengan pembahasan indikator-indikator ergonomi yang menjadi *output* dari simulasi tersebut.

Selanjutnya analisis ergonomi yang dilakukan untuk simulasi konfigurasi 1 ini meliputi analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis terhadap simulasi konfigurasi 1 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 1

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	3.140	3	7
Operator 2	3.232	3	7

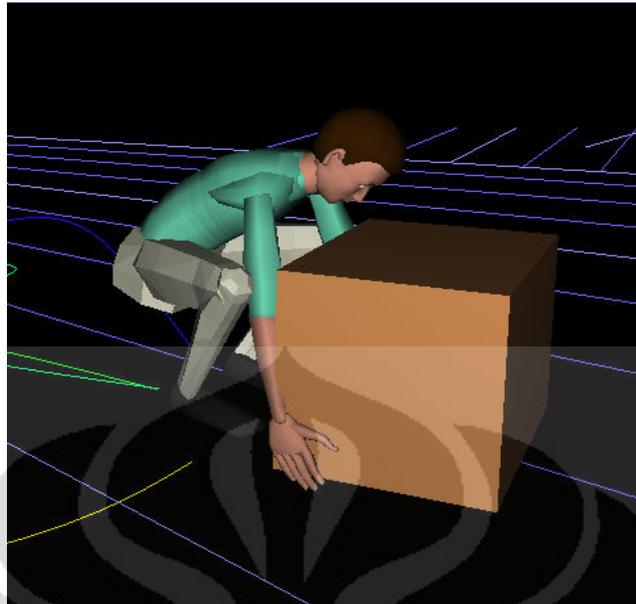
Berdasarkan tabel 4.1 di atas dapat diketahui bahwa pada saat kondisi ekstrim, nilai kompresi LBA untuk operator 1 dan operator 2 menunjukkan angka masing-masing 3.140 Newton dan 3.232 Newton. Kedua nilai kompresi ini tidak terpaut jauh dari nilai batas standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3.400 Newton.

Kondisi ekstrim untuk operator 1 terjadi ketika pengambilan kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Letak kardus yang sangat rendah mengakibatkan operator 1 harus membungkuk dan menekuk lutut hingga hampir jongkok ketika mengambilnya padahal berat kardus yang diangkat tersebut mencapai 22 kilogram. Postur dan beban kerja yang sangat berat ini menyebabkan nilai kompresi LBA menjadi sangat besar.



Gambar 4.1 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 1

Sedangkan untuk operator 2, kondisi atau postur ekstrim terjadi terus-menerus ketika mengambil kardus yang diletakkan oleh operator 1. Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa kardus tersebut diletakkan pada lantai pelataran RMS sehingga operator 2 harus membungkuk dan menekuk lutut hingga hampir jongkok seperti halnya kondisi ekstrim untuk operator 1 ketika melakukan pengambilan kardus pada tumpukan yang paling bawah. Kondisi postur tubuh operator ketika melakukan pengambilan tersebut dikombinasikan dengan berat kardus yang mencapai 22 kilogram mengakibatkan nilai LBA operator 2 pada kondisi ekstrimnya menjadi sangat tinggi.



Gambar 4.2 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 1

Secara umum dapat dianalisis bahwa tingginya nilai LBA untuk kedua operator bersumber pada postur tubuh ketika kondisi ekstrim tersebut dan berat kardus yang harus diangkat sebesar 22 kilogram. Postur tubuh yang dimaksud ialah ketika operator harus membungkuk untuk dapat memegang bagian bawah dari kardus tersebut. Postur operator yang membungkuk ini menyebabkan terjadinya momen pada L4-L5 spinal tulang belakang searah sumbu x. Dengan beban tambahan dari kardus tersebut sebesar 22 kg maka nilai LBA keduanya mencapai lebih dari 3.100 Newton.

Selain menghasilkan output berupa nilai LBA, *software* Jack juga memberikan *output* analisis OWAS yang mengukur tingkat kenyamanan dari aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan. *Output* analisis OWAS konfigurasi 1 untuk masing-masing operator tersebut sama-sama menghasilkan kode 2-1-4-3 dimana masing-masing angka tersebut menunjukkan hasil analisis untuk bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Hasil analisis OWAS yang diperoleh untuk konfigurasi 1 ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 2 dimana ini mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah membungkuk sehingga terjadi tekanan yang cukup besar pada L4-L5 spinal tulang belakang.

2. Bagian tangan operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.
3. Bagian tubuh bawah operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 4 karena persebaran berat badan operator ditopang oleh kedua kaki dengan posisi lutut keduanya yang membengkok.
4. Beban yang diterima oleh kedua operator tergolong dalam kategori 3 yang berarti beban yang diangkat oleh kedua operator tersebut mencapai lebih dari 20 kilogram. Hal ini sesuai dengan kondisi yang ada dimana kedua operator mengangkat kardus yang sama dengan berat 22 kilogram.

Kedua operator tersebut memperoleh *output* analisis OWAS yang sama karena kondisi ekstrim untuk keduanya relatif sama sebagaimana yang telah dijelaskan di atas. Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk kontaktor 1 maupun operator 2 menghasilkan *output* nilai 3 yang mengindikasikan bahwa postur atau kondisi yang terjadi telah menyebabkan terjadinya tekanan pada sistem muskuloskeletal dari kedua operator tersebut. Nilai 3 dari batas maksimal 4 ini menunjukkan bahwa perlunya dilakukan perbaikan dengan segera agar aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan tidak terus-menerus berdampak negatif bagi tubuh pekerja.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* RULA. Analisis ini akan mengevaluasi dengan lebih detail mengenai tubuh bagian atas dari operator berdasarkan pada kondisi manekin yang digunakan pada simulasi ini. Penilaian untuk analisis RULA dilakukan dengan membagi tubuh operator menjadi 2 yakni kelompok bagian tubuh A dan B. Pada tabel 4.2 di bawah ini akan ditunjukkan analisis RULA yang dilakukan terhadap masing-masing operator untuk konfigurasi 1. Nilai ini merupakan hasil evaluasi terhadap masing-masing bagian tubuh yang ada baik untuk bagian tubuh grup A yang meliputi lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan dan perputaran pergelangan tangan maupun grup B yang terdiri dari leher dan batang tubuh.

Tabel 4.2 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 1

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	2	1	4	4
<i>group score</i>	8				11	
TOTAL	7					
Operator 2	3	3	2	1	4	4
<i>group score</i>	8				11	
TOTAL	7					

Nilai masing-masing grup untuk kedua operator tersebut menghasilkan nilai yang sama karena kondisi ekstrim yang tidak terlalu berbeda. Setiap nilai tersebut menunjukkan kondisi masing-masing bagian tubuh yakni :

- Lengan atas (*upper arm*)
Analisis RULA untuk kedua operator tersebut menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3. Nilai ini menunjukkan bahwa lengan atas kedua operator tersebut menyimpang membentuk sudut antara 45° hingga 90°.
- Lengan bawah (*lower arm*)
Hasil analisis untuk lengan bawah kedua operator menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100° terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Hal ini disebabkan oleh dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.
- Pergelangan tangan (*wrist*)
Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan kedua operator menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar.
- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)
Analisis untuk perputaran pergelangan tangan menghasilkan nilai 1 yang berarti bahwa relatif tidak ada perputaran pergelangan tangan yang sangat signifikan atau jauh sehingga posisi telapak tangan cenderung netral.

- Leher (*neck*)
Hasil analisis untuk bagian leher menunjukkan *output* nilai 4 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20°.
- Batang tubuh (*trunk*)
Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator tersebut menunjukkan hasil penilaian 4 yang menunjukkan bahwa operator berada dalam posisi membungkuk lebih dari 60°. Postur seperti ini terjadi ketika operator membungkuk untuk mengambil kardus yang berada di bawah.

Secara keseluruhan dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus seberat 22 kilogram maka diperoleh nilai total 7. Nilai 7 ini merupakan nilai tertinggi yang mengindikasikan bahwa harus dilakukan investigasi dan perbaikan dengan segera. Hal ini dikarenakan postur yang saat ini dilakukan akan memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap tubuh operator dalam hal ini tubuh bagian atas.

Berdasarkan teori dan metode penelitian yang telah dijelaskan pada bab 2 dan bab 3 maka *output* analisis dari LBA, OWAS, dan RULA ini akan dikombinasikan untuk memperoleh nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Proses perhitungan untuk memperoleh nilai PEI ini telah dicontohkan pada bab 3.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA untuk masing-masing operator maka dihasilkan nilai PEI untuk operator 1 sebesar 3,094 dan operator 2 sebesar 3,121.

Selain membuat penilaian dengan menggunakan metode PEI, analisis konfigurasi 1 juga dilakukan dengan mengukur nilai *Lifting Index* (LI). Dalam melakukan pengukuran ini digunakan *output software* Jack yakni *NIOSH Lifting Analysis* yang membantu dalam mengidentifikasi koordinat dari titik awal dan titik akhir proses pengangkatan. Jarak kedua koordinat ini merupakan jarak perpindahan yang digunakan untuk menghitung nilai *Recommended Weight Limit* (RWL). Seperti yang terdapat pada tabel 4.3 di bawah ini, nilai RWL untuk operator 1 ialah sebesar 5,297 kilogram sedangkan untuk operator 2 sebesar 6,57 kilogram.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan *Lifting Index* Konfigurasi 1

Parameter Nilai	H (cm)	V1 (cm)	V2 (cm)	A	FM	CM
Operator 1						
Nilai variabel RWL	34,538	8,359	78,665	0,073	0,45	1
Total nilai RWL	5,297 kg					
Berat beban	22 kg					
Nilai <i>Lifting Index</i>	4,153					
Operator 2						
Nilai variabel RWL	34,528	8,357	74,924	0,354	0,45	1
Total nilai RWL	5,316 kg					
Berat beban	22 kg					
Nilai <i>Lifting Index</i>	4,139					

Berdasarkan nilai RWL yang diperoleh maka dapat diketahui nilai *lifting index* untuk masing-masing operator yakni 4,153 untuk operator 1 dan 4,139 untuk operator 2 seperti yang terdapat pada tabel 4.3 di atas. Hasil ini menunjukkan bahwa beban kardus yang diangkut jauh melebihi batas yang direkomendasikan. Bahkan aktivitas kedua operator ini dapat dikategorikan berbahaya bagi kesehatan karena memiliki nilai yang lebih dari 3.

4.1.2 Analisis *Output* Konfigurasi 2

Konfigurasi 2 merupakan simulasi yang sangat identik dengan konfigurasi 1. Kedua konfigurasi ini sama-sama merepresentasikan kondisi aktual dengan 2 model manusia berjenis kelamin pria tetapi menggunakan data antropometri yang berbeda. Pada konfigurasi 2 ini data antropometri yang dipakai ialah data antropometri *percentile 95*.

Analisis terhadap nilai *Static Strength Prediction* (SSP) operator 1 dan 2 untuk konfigurasi ini menunjukkan seluruh indikator bernilai lebih dari 0. Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator.

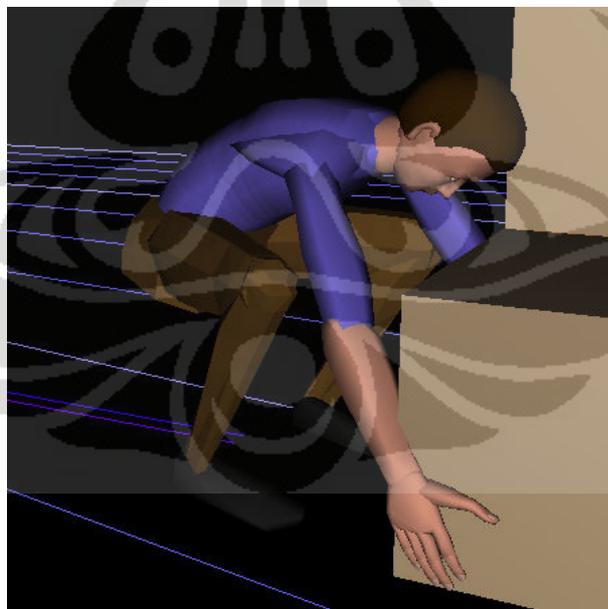
Hasil simulasi yang akan dianalisis selanjutnya ialah *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis terhadap simulasi konfigurasi 2 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 2

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	3.399	3	7
Operator 2	3.388	3	7

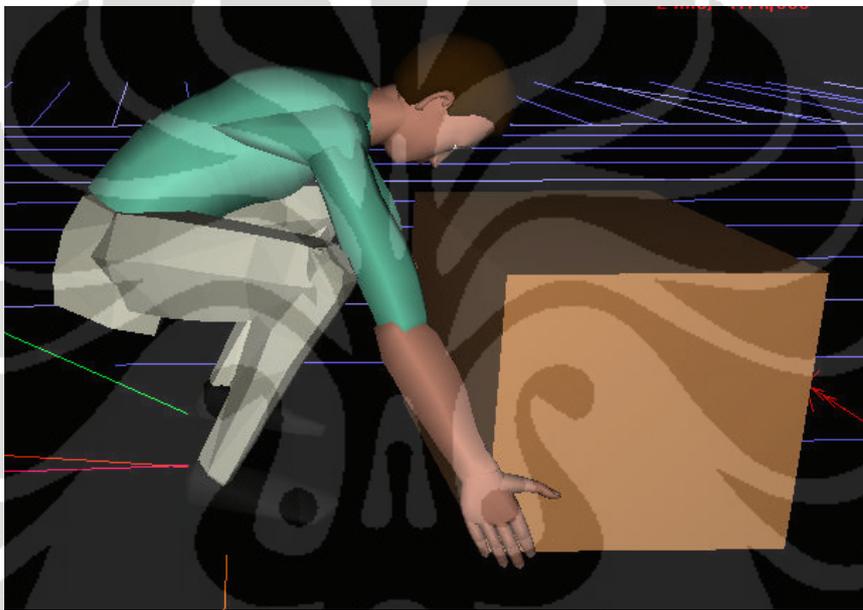
Tabel 4.4 di atas menyatakan bahwa nilai kompresi LBA pada saat postur ekstrim untuk operator 1 dan operator 2 menunjukkan angka masing-masing 3.399 Newton dan 3.388 Newton. Kedua nilai kompresi ini hanya berbeda beberapa poin dari batas standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3.400 Newton.

Sama dengan yang terjadi pada konfigurasi 1, kondisi ekstrim untuk operator 1 juga terjadi ketika pengambilan kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Namun nilai LBA pada konfigurasi 2 ini lebih besar dibandingkan dengan nilai pada konfigurasi 1 karena ukuran tubuh operator pada konfigurasi ini lebih besar sehingga gerakan membungkuk yang dilakukan tentu lebih dalam.

**Gambar 4.3** Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 2

Untuk operator 2, kondisi atau postur ekstrim juga terjadi terus-menerus ketika mengambil kardus yang diletakkan oleh operator 1. Gambar 4.4

menunjukkan kondisi yang mirip dengan yang dialami pada konfigurasi 1 dimana operator 2 harus membungkuk dan menekuk lutut hingga hampir jongkok untuk dapat mengambil kardus seberat 22 kilogram dari lantai pelataran RMS. Akibatnya nilai LBA operator 2 pada kondisi ekstrim konfigurasi kedua ini menjadi sangat tinggi. Dengan antropometri tubuh yang lebih besar maka gerakan tubuh operator untuk konfigurasi 2 ini harus lebih membungkuk dibanding pada konfigurasi 1 agar dapat menjangkau bagian bawah kardus ketika akan mengangkat.



Gambar 4.4 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 2

Sumber utama tingginya nilai LBA ini terdapat pada postur tubuh saat kondisi ekstrim yang dialami dan berat kardus yang mencapai 22 kilogram. Postur tubuh membungkuk yang dilakukan operator ketika menjangkau bagian bawah dari kardus tersebut menimbulkan adanya momen pada L4-L5 spinal tulang belakang yang searah dengan sumbu x. Beban tambahan dari kardus yang diangkat sebesar 22 kg semakin memperparah kondisi ini sehingga nilai LBA kedua operator mencapai lebih dari 3.300 Newton.

Selain menghasilkan *output* berupa nilai LBA, *software* Jack juga memberikan *output* analisis OWAS yang mengukur tingkat kenyamanan dari aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan. *Output* analisis OWAS konfigurasi 2

untuk masing-masing operator tersebut sama-sama menghasilkan kode 2-1-4-3 yang menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 2 dimana ini mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah membungkuk sehingga terjadi tekanan yang cukup besar pada L4-L5 spinal tulang belakang.
2. Bagian tangan operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.
3. Bagian tubuh bawah operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 4 karena persebaran berat badan operator ditopang oleh kedua kaki dengan posisi lutut keduanya yang membengkok.
4. Beban yang diterima oleh kedua operator tergolong ke dalam kategori 3 yang berarti beban yang diangkut oleh kedua operator tersebut mencapai lebih dari 20 kilogram.

Kedua operator pada konfigurasi 2 ini juga memperoleh *output* analisis OWAS yang sama karena kondisi ekstrim untuk keduanya relatif sama sebagaimana yang telah dijelaskan di atas. Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk kontaktor 1 maupun operator 2 menghasilkan *output* nilai 3 yang mengindikasikan bahwa postur atau kondisi yang terjadi telah menyebabkan terjadinya tekanan pada sistem muskuloskeletal dari kedua operator tersebut. Nilai 3 dari batas maksimal 4 ini menunjukkan bahwa perlunya dilakukan perbaikan dengan segera agar aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan tidak terus-menerus berdampak negatif bagi pekerja.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* RULA. Analisis ini akan mengevaluasi dengan lebih detail mengenai tubuh bagian atas dari operator berdasarkan pada kondisi manekin yang digunakan pada simulasi ini. Penilaian untuk analisis RULA dilakukan dengan membagi tubuh operator menjadi 2 yakni kelompok bagian tubuh A dan B. Pada tabel 4.5 di bawah ini akan ditunjukkan analisis RULA yang dilakukan terhadap masing-masing operator untuk konfigurasi 2.

Tabel 4.5 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 2

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	2	1	4	4
<i>group score</i>	8				11	
TOTAL	7					
Operator 2	3	3	2	1	4	4
<i>group score</i>	8				11	
TOTAL	7					

Nilai evaluasi bagian tubuh grup A dan grup B yang ada pada tabel 4.5 di atas dapat diterjemahkan sebagai berikut :

- Lengan atas (*upper arm*)
Analisis RULA untuk kedua operator tersebut menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3. Nilai ini menunjukkan bahwa lengan atas kedua operator tersebut menyimpang membentuk sudut antara 45° hingga 90°.
- Lengan bawah (*lower arm*)
Hasil analisis untuk lengan bawah kedua operator menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100° terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Hal ini disebabkan oleh dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.
- Pergelangan tangan (*wrist*)
Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan kedua operator menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar.
- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)
Analisis terhadap perputaran pergelangan tangan yang terjadi menghasilkan nilai 1 yang berarti bahwa relatif tidak ada perputaran pergelangan tangan yang sangat signifikan atau jauh sehingga posisi telapak tangan cenderung netral.

- Leher (*neck*)
Hasil analisis untuk bagian leher menunjukkan *output* nilai 4 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20°.
- Batang tubuh (*trunk*)
Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator tersebut menunjukkan hasil penilaian 4 yang menunjukkan bahwa operator berada dalam posisi membungkuk lebih dari 60°. Postur seperti ini terjadi ketika operator membungkuk untuk mengambil kardus yang berada di bawah.

Dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus seberat 22 kilogram maka diperoleh nilai total RULA sebesar 7. Nilai tertinggi untuk RULA ini mengindikasikan bahwa harus dilakukan investigasi dan perbaikan dengan segera karena postur kerja yang saat ini dilakukan akan berdampak negatif terhadap tubuh bagian atas operator.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA untuk masing-masing operator maka dihasilkan nilai PEI untuk operator 1 sebesar 3,089 dan operator 2 sebesar 3,166.

Seperti yang telah dilakukan pada konfigurasi 1 maka pada analisis konfigurasi ini juga dilakukan pengukuran nilai *Lifting Index* (LI). Seperti yang terdapat pada tabel 4.6 di bawah ini, nilai RWL untuk operator 1 ialah sebesar 5,405 kilogram sedangkan untuk operator 2 sebesar 5,426 kilogram.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan *Lifting Index* Konfigurasi 2

Parameter Nilai	H (cm)	V1 (cm)	V2 (cm)	A	FM	CM
Operator 1						
Nilai variabel RWL	34,121	9,765	77,526	0,084	0,45	1
Total nilai RWL	5,405 kg					
Berat beban	22 kg					
Nilai <i>Lifting Index</i>	4,07					
Operator 2						
Nilai variabel RWL	33,556	7,432	78,920	0,128	0,45	1
Total nilai RWL	5,426 kg					
Berat beban	22 kg					
Nilai <i>Lifting Index</i>	4,054					

Berdasarkan nilai RWL yang diperoleh maka dapat diketahui nilai *lifting index* untuk masing-masing operator yakni 4,07 untuk operator 1 dan 4,054 untuk operator 2 seperti yang terdapat pada tabel 4.6 di atas. Hasil ini menunjukkan bahwa beban kardus yang diangkut jauh melebihi batas yang direkomendasikan. Bahkan aktivitas kedua operator ini dapat dikategorikan berbahaya bagi kesehatan karena memiliki nilai yang lebih dari 3.

4.2 ANALISIS KONFIGURASI 3 DAN 4

Pada konfigurasi 3 dan 4 kondisi yang disimulasikan merupakan kondisi dimana digunakan *adjustable conveyor* dan *high lifter* sebagai alat bantu proses *unloading*. *Adjustable conveyor* digunakan untuk membantu pemindahan kardus sehingga operator 1 maupun operator 2 tidak perlu bergerak membawa kardus terlalu jauh. Dengan alat ini maka operator 1 mengambil kardus lalu meletakkannya pada *adjustable conveyor* yang akan mengalirkan kardus keluar dari dalam truk dan menuju operator 2. Pada ujung dari *conveyor* ini diletakkan palet yang ditunjang oleh *high lifter* sehingga ketinggian permukaannya menjadi setara. Dengan kondisi demikian maka operator 2 tidak perlu mengangkut kardus dari bawah lagi tetapi cukup dengan menggesernya dari *conveyor* ke atas palet. Jika susunan kardus pada tingkat tersebut telah penuh maka operator cukup menekan tombol untuk menurunkan ketinggian *high lifter* agar permukaan kardus pada susunan sebelumnya juga sejajar dengan permukaan *conveyor*.

Perbedaan konfigurasi 3 dan 4 ini hanya terdapat pada antropometri manekin yang digunakan dimana konfigurasi 3 memakai data *percentile 5* dan konfigurasi 4 dengan *percentile 95*. Seluruh data antropometri dan jenis kelamin ini didasarkan pada data seluruh populasi pekerja *unloading* RMS yang berjumlah 11 orang pria.

Analisis terhadap kedua konfigurasi ini bertujuan untuk melihat dampak dari alat bantu yang digunakan dengan mengacu pada kondisi ergonomi dari aktivitas tersebut. Hasil analisis ini akan menunjukkan postur dari kedua operator ketika menjalankan aktivitas dengan bantuan alat yang disimulasikan.

4.2.1 Analisis *Output* Konfigurasi 3

Pada simulasi konfigurasi 3 yang merupakan uji coba dari penggunaan alat bantu *adjustable conveyor* dan *high lifter* ini, terdapat 2 model manusia berjenis kelamin pria yang dibentuk dengan menggunakan data antropometri *percentile 5*.

Analisis yang pertama dilakukan terhadap konfigurasi ini ialah analisis terhadap nilai *Static Strength Prediction* (SSP) untuk masing-masing operator. Berdasarkan analisis SSP diperoleh hasil bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator karena seluruh indikator yang ada menunjukkan nilai lebih dari 0. Dengan demikian maka analisis dapat dilanjutkan dengan pembahasan indikator-indikator ergonomi yang menjadi *output* dari simulasi tersebut.

Selanjutnya analisis ergonomi yang dilakukan untuk simulasi konfigurasi 3 ini meliputi analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis terhadap simulasi konfigurasi 3 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 3

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	3.126	3	7
Operator 2	966	1	5

Berdasarkan tabel 4.7 di atas dapat diketahui bahwa pada saat kondisi ekstrim, nilai kompresi LBA untuk operator 1 dan operator 2 menunjukkan angka masing-masing 3.126 Newton dan 966 Newton. Berbeda dengan konfigurasi 1 dan 2 dimana nilai LBA kedua operator tidak berbeda jauh maka pada konfigurasi 3 ini, nilai LBA operator 2 jauh di bawah operator 1.

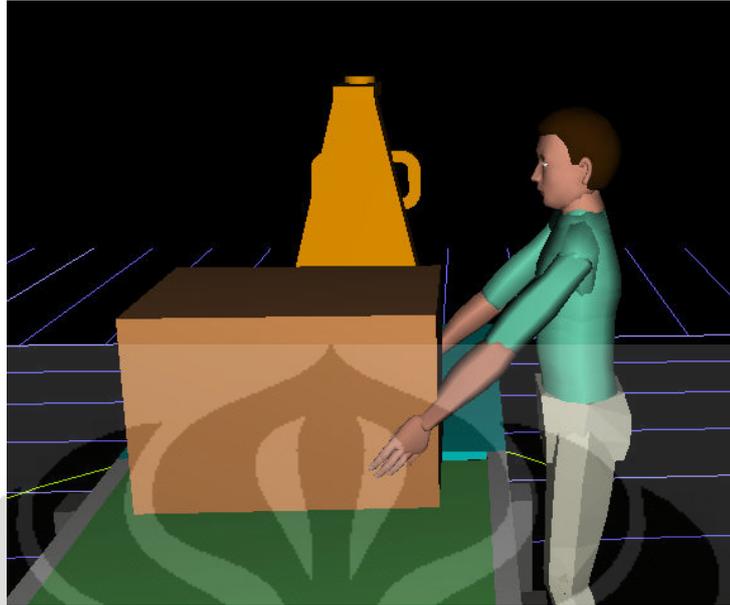
Kondisi ekstrim untuk operator 1 terjadi ketika pengambilan kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.5. Letak kardus yang sangat rendah mengakibatkan operator 1 harus membungkuk dan menekuk lutut hingga hampir jongkok ketika mengambilnya padahal berat kardus yang diangkut tersebut mencapai 22

kilogram. Postur dan beban kerja yang sangat berat ini menyebabkan nilai kompresi LBA menjadi sangat besar.



Gambar 4.5 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 3

Sedangkan untuk operator 2, kondisi atau postur ekstrim terjadi ketika menggeser kardus dari *conveyor* ke atas palet seperti pada gambar 4.6. Gaya gesek yang timbul antara kardus dengan permukaan palet menyebabkan adanya gaya yang harus dikeluarkan oleh operator 2 ketika menggeser kardus. Namun gaya yang harus dikeluarkan ini tentu jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan kondisi pada konfigurasi 1 dan 2 yang mengharuskan operator 2 untuk mengambil kardus dari bawah, mengangkat lalu menyusunnya di atas palet. Selain itu, kondisi ekstrim ini terjadi pada postur tubuh operator 2 yang berdiri tegak sehingga dampak dari beban yang ada akan lebih ringan jika dibandingkan dengan konfigurasi 1 ataupun 2 yang berpostur membungkuk. Gabungan antara kondisi postur tubuh operator yang lebih baik dengan gaya atau beban yang jauh lebih kecil mengakibatkan nilai LBA operator 2 pada untuk konfigurasi 3 ini menjadi jauh lebih kecil dibanding konfigurasi 1 dan 2.



Gambar 4.6 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 3

Secara umum dapat dianalisis bahwa tingginya nilai LBA untuk operator 1 bersumber pada postur tubuh ketika kondisi ekstrim tersebut dan berat kardus yang harus diangkat sebesar 22 kilogram. Postur tubuh yang dimaksud ialah ketika operator 1 harus membungkuk untuk dapat memegang bagian bawah dari kardus tersebut. Postur ini menyebabkan terjadinya momen pada L4-L5 spinal tulang belakang searah sumbu x. Kondisi yang jauh berbeda terjadi pada operator 2 dimana nilai LBA jauh lebih kecil dibanding operator 1. Hal ini disebabkan oleh postur tubuh yang berdiri tegak dan alat bantu yang memudahkan proses pemindahan kardus sehingga beban kerja operator 2 menjadi jauh lebih ringan.

Selain menghasilkan output berupa nilai LBA, *software* Jack juga memberikan *output* analisis OWAS yang mengukur tingkat kenyamanan dari aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan. *Output* analisis OWAS konfigurasi 3 untuk operator 1 berbeda dengan operator 2. Analisis terhadap operator 1 menghasilkan kode 2-1-4-3 sedangkan untuk operator 2 bernilai 1-1-2-1 dimana masing-masing angka tersebut menunjukkan hasil analisis untuk bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Hasil analisis OWAS yang diperoleh ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh operator 1 termasuk dalam kategori 2 dimana ini mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah

membungkuk sehingga terjadi tekanan yang cukup besar pada L4-L5 spinal tulang belakang. Sedangkan kategori 1 untuk operator 2 mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah tegak sehingga beban yang ditanggung tidak terlalu besar.

2. Bagian tangan operator 1 maupun operator 2 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.
3. Bagian tubuh bawah operator 1 termasuk dalam kategori 4 karena persebaran berat badan operator ditopang oleh kedua kaki dengan posisi lutut keduanya yang sedikit membengkok. Sedangkan untuk operator 2 termasuk dalam kategori 2 karena postur tubuh pekerja ialah berdiri dengan kaki tegak sehingga persebaran berat badan operator dapat ditopang oleh tubuh dengan sempurna.
4. Beban yang diterima oleh operator 1 tergolong dalam kategori 3 yang berarti beban yang diangkat oleh operator tersebut mencapai lebih dari 20 kilogram. Kondisi operator 2 yang hanya menggeser kardus menyebabkan beban yang dialami kurang dari 10 kilogram sehingga digolongkan dalam kategori 1.

Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk operator 1 menghasilkan *output* nilai 3 sedangkan operator 2 menghasilkan *output* nilai 1. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan kondisi dan postur yang dialami operator 1 dan 2. Nilai 3 pada operator 1 mengindikasikan bahwa postur atau kondisi yang terjadi telah menyebabkan terjadinya tekanan pada sistem muskuloskeletal sehingga perlu dilakukan evaluasi dan perbaikan dengan segera. Sedangkan nilai 1 untuk operator 2 menunjukkan bahwa postur tersebut telah aman bagi sistem muskuloskeletal.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* RULA. Analisis ini akan mengevaluasi dengan lebih detail mengenai tubuh bagian atas dari operator berdasarkan pada kondisi manekin yang digunakan pada simulasi ini. Pada tabel 4.8 di bawah ini akan ditunjukkan analisis RULA yang dilakukan terhadap masing-masing operator untuk konfigurasi 3.

Tabel 4.8 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 3

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	2	1	4	4
<i>group score</i>	8				11	
TOTAL	7					
Operator 2	2	3	2	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					

Nilai yang terdapat pada tabel 4.8 di atas merupakan hasil evaluasi terhadap masing-masing bagian tubuh yang ada baik untuk bagian tubuh grup A maupun grup B. Nilai tersebut menunjukkan kondisi masing-masing bagian tubuh yakni :

- Lengan atas (*upper arm*)

Analisis RULA untuk operator 1 menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3 yang berarti bahwa lengan atas operator 1 menyimpang membentuk sudut antara 45° hingga 90° . Sedangkan analisis terhadap operator 2 memberikan nilai 2 yang berarti lengan atas operator tersebut menyimpang sekitar 20° .

- Lengan bawah (*lower arm*)

Hasil analisis untuk lengan bawah kedua operator menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100° terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Kondisi ini terjadi karena dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.

- Pergelangan tangan (*wrist*)

Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan kedua operator sama-sama menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar.

- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)
Analisis perputaran pergelangan tangan untuk operator 1 menghasilkan nilai 1 yang berarti bahwa relatif tidak ada perputaran pergelangan tangan yang sangat signifikan atau jauh sehingga posisi telapak tangan cenderung netral. Sedangkan nilai 2 untuk operator 2 menunjukkan bahwa pergelangan tangan berputar hampir mencapai batas maksimal.
- Leher (*neck*)
Hasil analisis untuk bagian leher operator 1 menunjukkan *output* nilai 4 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20°. Sedangkan pada operator 2 leher bergerak kurang dari 10° sehingga *output* nilai yang diperoleh ialah 1.
- Batang tubuh (*trunk*)
Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator 1 menghasilkan nilai 4 yang menunjukkan bahwa operator berada dalam posisi membungkuk lebih dari 60°. Postur seperti ini terjadi ketika operator membungkuk untuk mengambil kardus yang berada di bawah. Untuk operator 2 nilai yang diperoleh ialah 1 yang berarti bahwa postur batang tubuh operator tersebut tegak.

Secara keseluruhan dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus yang harus dipindahkan maka diperoleh nilai total 7 untuk operator 1 dan 5 untuk operator 2. Nilai 7 yang merupakan nilai tertinggi mengindikasikan bahwa harus dilakukan investigasi dan perbaikan dengan sangat segera. Sedangkan nilai 5 mengindikasikan masih perlunya dilakukan upaya perbaikan agar kondisinya bisa lebih baik.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA untuk masing-masing operator maka dihasilkan nilai PEI konfigurasi 3 untuk operator 1 sebesar 3,089 dan operator 2 sebesar 1,548.

Pada konfigurasi ini dilakukan pula pengukuran nilai *Lifting Index* (LI) seperti yang dilakukan pada konfigurasi 1 dan 2. Namun untuk konfigurasi 3 nilai *lifting index* hanya dapat diukur untuk operator 1 karena operator 2 tidak lagi melakukan proses pengangkatan melainkan hanya menggeser kardus. Hal ini menyebabkan jarak perpindahan vertikal menjadi 0 sehingga tidak dapat

digunakan untuk menghitung nilai RWL. Sesuai dengan tabel 4.9 di bawah ini, nilai RWL untuk operator 1 ialah sebesar 5,437 kilogram.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan *Lifting Index* Konfigurasi 3

Parameter Nilai	H (cm)	V1 (cm)	V2 (cm)	A	FM	CM
Operator 1						
Nilai variabel RWL	33,201	7,432	88,319	0,207	0,45	1
Total nilai RWL	5,437 kg					
Berat beban	22 kg					
Nilai <i>Lifting Index</i>	4,046					

Berdasarkan nilai RWL yang diperoleh maka dapat diketahui nilai *lifting index* untuk operator 1 yakni 4,046 seperti yang terdapat pada tabel 4.9 di atas. Hasil ini menunjukkan bahwa beban kardus yang diangkut melebihi batas yang direkomendasikan.

4.2.2 Analisis *Output* Konfigurasi 4

Konfigurasi 4 merupakan simulasi yang sangat identik dengan konfigurasi 3 dimana keduanya sama-sama menggambarkan kondisi menggunakan alat bantu *adjustable conveyor* dan *high lifter* dengan 2 model manusia berjenis kelamin pria tetapi menggunakan data antropometri yang berbeda. Pada konfigurasi 4 ini data antropometri yang dipakai ialah data antropometri *percentile 95*.

Tahap awal analisis yang dilakukan terhadap konfigurasi ini ialah analisis terhadap nilai *Static Strength Prediction* (SSP) untuk masing-masing operator. Berdasarkan analisis SSP diperoleh hasil bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator karena seluruh indikator yang ada menunjukkan nilai lebih dari 0. Dengan demikian maka analisis dapat dilanjutkan dengan pembahasan indikator-indikator ergonomi yang menjadi *output* dari simulasi tersebut.

Selanjutnya analisis ergonomi yang dilakukan untuk simulasi konfigurasi 4 ini meliputi analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis

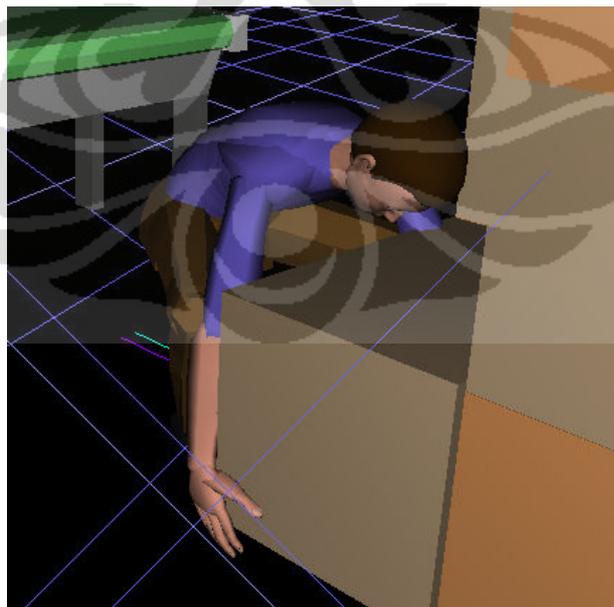
terhadap simulasi konfigurasi 4 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 4

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	3.398	3	7
Operator 2	1.032	1	5

Berdasarkan tabel 4.10 di atas dapat diketahui bahwa pada saat kondisi ekstrim, nilai kompresi LBA untuk operator 1 dan operator 2 menunjukkan angka masing-masing 3.398 Newton dan 1.032 Newton. Kondisi ini sama dengan yang terjadi pada konfigurasi 3 dimana nilai LBA operator 2 jauh di bawah operator 1.

Kondisi ekstrim untuk operator 1 terjadi ketika pengambilan kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Letak kardus yang sangat rendah mengakibatkan operator 1 harus membungkuk dan menekuk lutut hingga hampir jongkok ketika mengambilnya padahal berat kardus yang diangkat tersebut mencapai 22 kilogram. Postur dan beban kerja yang sangat berat ini menyebabkan nilai kompresi LBA menjadi sangat besar.



Gambar 4.7 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 4

Sedangkan untuk operator 2, kondisi atau postur ekstrim terjadi ketika menggeser kardus dari *conveyor* ke atas palet seperti pada gambar 4.8. Gaya gesek yang timbul antara kardus dengan permukaan palet menyebabkan adanya gaya yang harus dikeluarkan oleh operator 2 ketika menggeser kardus. Namun gaya yang harus dikeluarkan ini tentu jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan kondisi pada konfigurasi 1 dan 2 yang mengharuskan operator 2 untuk mengambil kardus dari bawah, mengangkat lalu menyusunnya di atas palet. Selain itu, kondisi ekstrim ini terjadi pada postur tubuh operator 2 yang berdiri tegak sehingga dampak dari beban yang ada akan lebih ringan jika dibandingkan dengan konfigurasi 1 ataupun 2 yang berpostur membungkuk. Gabungan antara kondisi postur tubuh operator yang lebih baik dengan gaya atau beban yang jauh lebih kecil mengakibatkan nilai LBA operator 2 pada untuk konfigurasi 4 ini menjadi jauh lebih kecil dibanding konfigurasi 1 dan 2.



Gambar 4.8 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 4

Secara umum dapat dianalisis bahwa tingginya nilai LBA untuk operator 1 bersumber pada postur tubuh ketika kondisi ekstrim tersebut dan berat kardus yang harus diangkat sebesar 22 kilogram. Postur tubuh yang dimaksud ialah ketika operator 1 harus membungkuk untuk dapat memegang bagian bawah dari

kardus tersebut. Postur ini menyebabkan terjadinya momen pada L4-L5 spinal tulang belakang searah sumbu x. Kondisi yang jauh berbeda terjadi pada operator 2 dimana nilai LBA jauh lebih kecil dibanding operator 1. Hal ini disebabkan oleh postur tubuh yang berdiri tegak dan alat bantu yang memudahkan proses pemindahan kardus sehingga beban kerja operator 2 menjadi jauh lebih ringan.

Selain menghasilkan output berupa nilai LBA, *software* Jack juga memberikan *output* analisis OWAS yang mengukur tingkat kenyamanan dari aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan. *Output* analisis OWAS konfigurasi 4 untuk operator 1 berbeda dengan operator 2. Analisis terhadap operator 1 menghasilkan kode 2-1-4-3 sedangkan operator 2 bernilai 1-1-2-1 dimana masing-masing angka tersebut menunjukkan hasil analisis untuk bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Hasil analisis OWAS yang diperoleh ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh operator 1 termasuk dalam kategori 2 dimana ini mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah membungkuk sehingga terjadi tekanan yang cukup besar pada L4-L5 spinal tulang belakang. Sedangkan kategori 1 untuk operator 2 mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah tegak sehingga beban yang ditanggung tidak terlalu besar.
2. Bagian tangan operator 1 maupun operator 2 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.
3. Bagian tubuh bawah operator 1 termasuk dalam kategori 4 karena persebaran berat badan operator ditopang oleh kedua kaki dengan posisi lutut keduanya yang membengkok. Sedangkan untuk operator 2 termasuk dalam kategori 2 karena postur tubuh pekerja ialah berdiri dengan kaki tegak sehingga persebaran berat badan operator dapat ditopang dengan sempurna.
4. Beban yang diterima oleh operator 1 tergolong ke dalam kategori 3 yang berarti beban yang diangkut oleh operator tersebut mencapai lebih dari 20 kilogram. Hal ini sesuai dengan kondisi yang ada dimana operator 1 harus mengangkat kardus seberat 22 kilogram. Kondisi operator 2 yang hanya

menggeser kardus menyebabkan beban yang dialami kurang dari 10 kilogram sehingga masuk dalam kategori 1.

Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk kontaktor 1 menghasilkan *output* nilai 3 sedangkan operator 2 menghasilkan *output* nilai 1. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan kondisi dan postur yang dialami operator 1 dan 2. Nilai 3 pada operator 1 mengindikasikan bahwa postur atau kondisi yang terjadi telah menyebabkan terjadinya tekanan pada sistem muskuloskeletal sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan segera. Sedangkan nilai 1 untuk operator 2 menunjukkan bahwa postur tersebut telah aman bagi sistem muskuloskeletal.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* RULA. Penilaian untuk analisis RULA dilakukan dengan membagi tubuh operator menjadi 2 yakni kelompok bagian tubuh A dan B. Pada tabel 4.11 di bawah ini akan ditunjukkan analisis RULA yang dilakukan terhadap masing-masing operator untuk konfigurasi 3.

Tabel 4.11 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 4

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	2	1	4	4
<i>group score</i>	8				11	
TOTAL	7					
Operator 2	2	3	2	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					

Nilai yang terdapat pada tabel 4.11 di atas merupakan hasil evaluasi terhadap masing-masing bagian tubuh yang ada baik untuk bagian tubuh grup A maupun grup B. Terdapat perbedaan nilai masing-masing grup untuk operator 1 dan 2 tersebut karena kondisi ekstrim yang terjadi berbeda. Nilai untuk setiap operator menunjukkan kondisi masing-masing bagian tubuhnya yang dievaluasi yakni :

- Lengan atas (*upper arm*)

Analisis RULA untuk operator 1 menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3 yang berarti bahwa lengan atas operator 1 menyimpang

membentuk sudut antara 45° hingga 90° . Sedangkan analisis terhadap operator 2 memberikan nilai 2 yang berarti lengan atas operator tersebut menyimpang sekitar 20° .

- Lengan bawah (*lower arm*)

Hasil analisis untuk lengan bawah kedua operator menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100° terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Hal ini disebabkan oleh dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.

- Pergelangan tangan (*wrist*)

Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan kedua operator sama-sama menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar.

- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)

Analisis perputaran pergelangan tangan untuk operator 1 menghasilkan nilai 1 yang berarti bahwa relatif tidak ada perputaran pergelangan tangan yang sangat signifikan atau jauh sehingga posisi telapak tangan cenderung netral. Sedangkan nilai 2 untuk operator 2 menunjukkan bahwa pergelangan tangan berputar hampir mencapai batas maksimal.

- Leher (*neck*)

Hasil analisis untuk bagian leher operator 1 menunjukkan *output* nilai 4 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20° . Sedangkan pada operator 2 leher bergerak kurang dari 10° sehingga *output* nilai yang diperoleh ialah 1.

- Batang tubuh (*trunk*)

Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator 1 menghasilkan nilai 4 yang menunjukkan bahwa operator berada dalam posisi membungkuk lebih dari 60° . Postur seperti ini terjadi ketika operator membungkuk untuk mengambil kardus yang berada di bawah. Untuk operator 2 nilai yang diperoleh ialah 1 yang berarti bahwa postur batang tubuh operator tersebut tegak.

Secara keseluruhan dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus yang harus dipindahkan maka diperoleh nilai total 7 untuk operator 1 dan 5 untuk operator 2. Nilai 7 yang merupakan nilai tertinggi mengindikasikan bahwa harus dilakukan investigasi dan perbaikan dengan sangat segera. Sedangkan nilai 5 mengindikasikan masih perlunya dilakukan upaya perbaikan agar kondisinya bisa lebih baik.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA untuk masing-masing operator maka dihasilkan nilai PEI konfigurasi 4 untuk operator 1 sebesar 3,169 dan operator 2 sebesar 1,568.

Untuk konfigurasi 4 dilakukan pula pengukuran nilai *Lifting Index* (LI) operator 1 sama seperti yang dilakukan pada konfigurasi 3. Sedangkan operator 2 tidak mempunyai nilai *lifting index* karena alasan yang sama seperti pada konfigurasi 3. Pada tabel 4.12 di bawah ini dapat dilihat nilai RWL untuk operator 1 ialah sebesar 5,434 kilogram.

Tabel 4.12 Rekapitulasi Perhitungan *Lifting Index* Konfigurasi 4

Parameter Nilai	H (cm)	V1 (cm)	V2 (cm)	A	FM	CM
Operator 1						
Nilai variabel RWL	33,244	8,605	94,606	0,207	0,45	1
Total nilai RWL	5,434 kg					
Berat beban	22 kg					
Nilai <i>Lifting Index</i>	4,049					

Berdasarkan nilai RWL yang diperoleh maka dapat diketahui nilai *lifting index* untuk operator 1 yakni 4,049 seperti yang terdapat pada tabel 4.12 di atas. Hasil ini menunjukkan bahwa beban kardus yang diangkut melebihi batas yang direkomendasikan.

4.3 ANALISIS KONFIGURASI 5 DAN 6

Pada konfigurasi 5 dan 6, kondisi yang disimulasikan merupakan kondisi dimana digunakan *vacuum grip* dan *high lifter* sebagai alat bantu proses *unloading* ini. *Vacuum grip* digunakan untuk membantu pemindahan kardus sehingga operator 1 tidak perlu membungkuk, mengangkat manual lalu

meletakkannya lagi melainkan cukup mengarahkan *vacuum* pada permukaan kardus lalu menggeser dan menyusunnya di atas palet yang diangkat oleh *high lifter*. Dengan menggunakan alat ini maka hanya diperlukan 1 operator tentunya dengan konsekuensi waktu untuk proses *unloading* yang lebih lama.

Perbedaan untuk konfigurasi 5 dan 6 hanya terdapat pada antropometri manekin yang digunakan dimana konfigurasi 5 memakai data *percentile 5* dan konfigurasi 6 dengan *percentile 95*.

4.3.1 Analisis *Output* Konfigurasi 5

Pada simulasi konfigurasi 5 yang merupakan uji coba dari penggunaan alat bantu *vacuum grip* dan *high lifter* ini hanya terdapat 1 model manusia berjenis kelamin pria yang dibentuk dengan menggunakan data antropometri *percentile 5*.

Analisis yang pertama dilakukan terhadap konfigurasi ini ialah analisis terhadap nilai *Static Strength Prediction* (SSP). Berdasarkan analisis SSP diperoleh hasil bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator karena seluruh indikator yang ada menunjukkan nilai lebih dari 0. Dengan demikian maka analisis dapat dilanjutkan dengan pembahasan indikator-indikator ergonomi yang menjadi *output* dari simulasi tersebut.

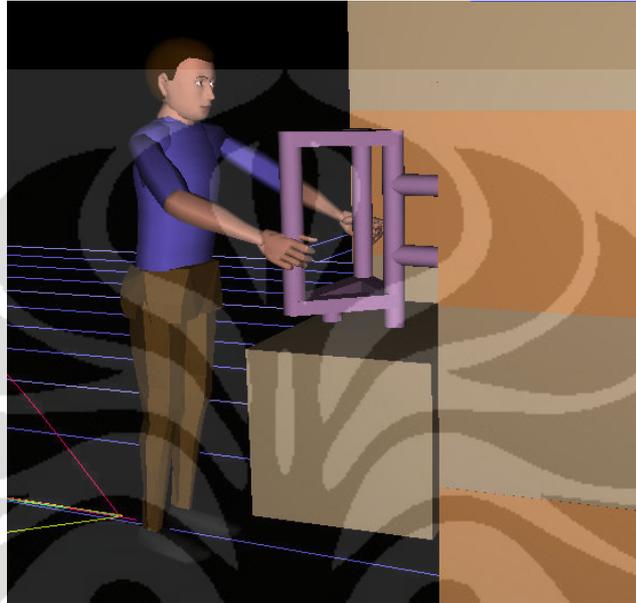
Selanjutnya analisis ergonomi yang dilakukan untuk simulasi konfigurasi 5 ini meliputi analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis terhadap simulasi konfigurasi 5 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 5

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	1.396	1	5

Berdasarkan tabel 4.13 di atas dapat diketahui bahwa pada saat kondisi ekstrim, nilai kompresi LBA untuk operator 1 menunjukkan angka 1.396 Newton. Kondisi ekstrim ini terjadi ketika operator mengambil kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.9. Kondisi ini tidak terlalu berat jika dibandingkan dengan kondisi pada

konfigurasi 3 karena telah menggunakan alat bantu *vacuum grip*. Dengan alat ini maka operator tidak perlu membungkuk dan beban yang ditanggung pun berkurang sangat jauh. Hal ini berdampak pada nilai kompresi LBA yang menjadi tidak terlalu besar.



Gambar 4.9 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 5

Selain menghasilkan output berupa nilai LBA, *software* Jack juga memberikan *output* analisis OWAS yang mengukur tingkat kenyamanan dari aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan. Analisis terhadap operator 1 menghasilkan kode 1-1-2-1 dimana masing-masing angka tersebut menunjukkan hasil analisis untuk bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh termasuk dalam kategori 1 yang mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah tegak sehingga beban yang ditanggung tidak terlalu besar.
2. Bagian tangan operator 1 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.

3. Bagian tubuh bawah termasuk dalam kategori 1 karena postur tubuh pekerja ialah berdiri dengan kaki tegak sehingga persebaran berat badan operator dapat ditopang dengan sempurna.
4. Beban yang diterima oleh operator 1 tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti beban yang diangkut oleh operator kurang dari 10 kilogram. Hal ini disebabkan oleh penggunaan *vacuum grip* yang meringankan beban yang ditanggung oleh operator.

Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk kontaktor 1 menghasilkan *output* nilai 1 yang mengindikasikan bahwa postur atau kondisi yang terjadi telah aman dari terjadinya tekanan pada sistem muskuloskeletal.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* RULA. Analisis ini akan mengevaluasi dengan lebih detail mengenai tubuh bagian atas dari operator berdasarkan pada kondisi manekin yang digunakan pada simulasi ini. Pada tabel 4.14 di bawah ini dapat dilihat hasil penilaian RULA yang dilakukan terhadap masing-masing operator untuk konfigurasi 5.

Tabel 4.14 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 5

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	2	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					

Nilai yang terdapat pada tabel 4.14 di atas menunjukkan kondisi masing-masing bagian tubuh operator yakni :

- Lengan atas (*upper arm*)

Analisis RULA untuk operator 1 menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3 yang berarti bahwa lengan atas operator 1 menyimpang membentuk sudut antara 45° hingga 90°.

- Lengan bawah (*lower arm*)

Hasil analisis untuk lengan bawah operator tersebut menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100°

terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Hal ini disebabkan oleh dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.

- Pergelangan tangan (*wrist*)

Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan operator menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar.

- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)

Analisis perputaran pergelangan tangan untuk operator 1 menghasilkan nilai 2 yang berarti pergelangan tangan berputar hingga mendekati batas maksimal.

- Leher (*neck*)

Hasil analisis untuk bagian leher operator 1 menunjukkan *output* nilai 1 yang berarti bahwa leher bergerak kurang dari 10° .

- Batang tubuh (*trunk*)

Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator 1 menghasilkan nilai 1 yang menunjukkan bahwa operator berada dalam posisi tegak.

Secara keseluruhan dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus yang harus dipindahkan maka diperoleh nilai total 5 yang mengindikasikan bahwa perlu dilakukan evaluasi pada pekerjaan tersebut agar dapat memperoleh hasil yang lebih baik.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut maka dihasilkan nilai PEI konfigurasi 5 untuk operator 1 sebesar 1,675.

4.3.2 Analisis *Output* Konfigurasi 6

Konfigurasi 6 merupakan simulasi yang sangat identik dengan konfigurasi 5 dimana keduanya sama-sama menggambarkan kondisi menggunakan alat bantu *vacuum grip* dan *high lifter* dengan 1 model manusia berjenis kelamin pria tetapi menggunakan data antropometri yang berbeda. Pada konfigurasi 6 ini data antropometri yang dipakai ialah data antropometri *percentile 95*.

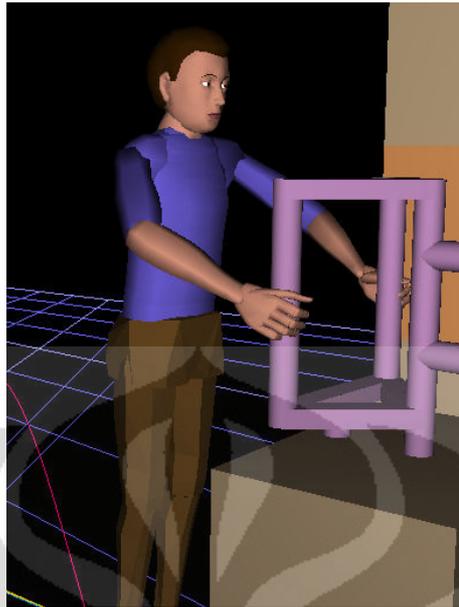
Tahap awal analisis yang dilakukan terhadap konfigurasi ini ialah analisis terhadap nilai *Static Strength Prediction* (SSP) untuk masing-masing operator. Berdasarkan analisis SSP diperoleh hasil bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator karena seluruh indikator yang ada menunjukkan nilai lebih dari 0. Dengan demikian maka analisis dapat dilanjutkan dengan pembahasan indikator-indikator ergonomi yang menjadi *output* dari simulasi tersebut.

Selanjutnya analisis ergonomi yang dilakukan untuk simulasi konfigurasi 6 ini meliputi analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis terhadap simulasi konfigurasi 6 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.15 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 6

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	1.534	1	5

Berdasarkan tabel 4.15 di atas dapat diketahui bahwa pada saat kondisi ekstrim, nilai kompresi LBA untuk operator 1 menunjukkan angka 1.534 Newton. Sebagaimana pada konfigurasi 5, kondisi ekstrim ini terjadi ketika pengambilan kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.10. Kondisi pada konfigurasi 6 ini tidak terlalu berat jika dibandingkan dengan kondisi pada konfigurasi 4 karena telah menggunakan alat bantu *vacuum grip*. Dengan alat ini maka operator tidak perlu membungkuk dan beban yang ditanggung pun berkurang sangat jauh. Hal ini berdampak pada nilai kompresi LBA konfigurasi 6 yang menjadi jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan konfigurasi 4.



Gambar 4.10 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 6

Analisis OWAS yang dilakukan terhadap operator 1 menghasilkan kode 1-1-2-1 dimana masing-masing angka tersebut menunjukkan hasil analisis untuk bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh termasuk dalam kategori 1 yang mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah tegak sehingga beban yang ditanggung tidak terlalu besar.
2. Bagian tangan operator 1 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.
3. Bagian tubuh bawah termasuk dalam kategori 1 karena postur tubuh pekerja ialah berdiri dengan kaki tegak sehingga persebaran berat badan operator dapat ditopang dengan sempurna.
4. Beban yang diterima oleh operator 1 tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti beban yang diangkat oleh operator kurang dari 10 kilogram. Hal ini disebabkan oleh penggunaan *vacuum grip* yang meringankan beban yang ditanggung oleh operator.

Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk kontaktor 1 menghasilkan *output* nilai 1 yang mengindikasikan bahwa postur atau kondisi yang terjadi telah aman dari terjadinya tekanan pada sistem muskuloskeletal.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* RULA. Analisis ini akan mengevaluasi dengan lebih detail mengenai tubuh bagian atas dari operator berdasarkan pada kondisi manekin yang digunakan pada simulasi ini. Penilaian untuk analisis RULA dilakukan dengan membagi tubuh operator menjadi 2 yakni kelompok bagian tubuh A dan B. Pada tabel 4.16 di bawah ini akan ditunjukkan analisis RULA yang dilakukan terhadap masing-masing operator untuk konfigurasi 5.

Tabel 4.16 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 6

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	2	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					

Perincian nilai yang RULA yang terdapat pada tabel 4.16 di atas merupakan hasil evaluasi terhadap masing-masing bagian tubuh yang ada baik untuk bagian tubuh grup A maupun grup B. Nilai tersebut menunjukkan kondisi masing-masing bagian tubuh operator yakni :

- Lengan atas (*upper arm*)

Analisis RULA untuk operator 1 menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3 yang berarti bahwa lengan atas operator 1 menyimpang membentuk sudut antara 45° hingga 90°.

- Lengan bawah (*lower arm*)

Hasil analisis untuk lengan bawah operator tersebut menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100° terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Hal ini disebabkan oleh

dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.

- Pergelangan tangan (*wrist*)
Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan operator menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar.
- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)
Analisis perputaran pergelangan tangan untuk operator 1 menghasilkan nilai 2 yang berarti pergelangan tangan berputar hingga mendekati batas maksimal.
- Leher (*neck*)
Hasil analisis untuk bagian leher operator 1 menunjukkan *output* nilai 1 yang berarti bahwa leher bergerak kurang dari 10°.
- Batang tubuh (*trunk*)
Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator 1 menghasilkan nilai 1 yang menunjukkan bahwa operator berada dalam posisi tegak.

Secara keseluruhan dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus yang harus dipindahkan maka diperoleh nilai total 5 yang mengindikasikan bahwa perlu dilakukan evaluasi pada pekerjaan tersebut agar dapat memperoleh hasil yang lebih baik.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA yang diperoleh dari simulasi tersebut maka dihasilkan nilai PEI konfigurasi 6 untuk operator 1 sebesar 1,715.

4.4 ANALISIS KONFIGURASI 7 DAN 8

Pada konfigurasi 7 dan 8, kondisi yang disimulasikan merupakan kondisi dimana digunakan perpaduan antara *vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter* sebagai alat bantu proses *unloading* ini. *Vacuum grip* digunakan untuk membantu pemindahan kardus sehingga operator 1 tidak perlu membungkuk, mengangkat manual lalu meletakkannya lagi melainkan cukup mengarahkan *vacuum* pada permukaan kardus lalu menggeser dan meletakkannya di atas *adjustable conveyor*. Secara otomatis, *conveyor* yang akan menggerakkan kardus tersebut menuju ke arah palet yang diangkat oleh *high lifter*. Letak palet yang

berada persis di ujung *conveyor* dan ketinggian keduanya yang sejajar menyebabkan operator cukup menggeser kardus ketika menyusunnya di atas palet. Dengan menggunakan perpaduan alat-alat ini maka diperlukan kerja 2 operator tetapi waktu yang dibutuhkan untuk proses *unloading* akan lebih cepat dibanding konfigurasi 5 dan 6.

Perbedaan untuk konfigurasi 7 dan 8 hanya terdapat pada antropometri manekin yang digunakan dimana konfigurasi 7 memakai data *percentile* 5 dan konfigurasi 8 dengan *percentile* 95.

4.4.1 Analisis *Output* Konfigurasi 7

Analisis yang pertama dilakukan terhadap konfigurasi ini ialah analisis terhadap nilai *Static Strength Prediction* (SSP) untuk masing-masing operator. Berdasarkan analisis SSP diperoleh hasil bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator karena seluruh indikator yang ada menunjukkan nilai lebih dari 0. Dengan demikian maka analisis dapat dilanjutkan dengan pembahasan indikator-indikator ergonomi yang menjadi *output* dari simulasi tersebut.

Selanjutnya analisis ergonomi yang dilakukan untuk simulasi konfigurasi 7 ini meliputi analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis terhadap simulasi konfigurasi 7 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.17 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 7

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	1.378	1	5
Operator 2	968	1	5

Pada tabel 4.17 di atas dapat dilihat bahwa nilai kompresi LBA maksimal untuk operator 1 dan operator 2 pada konfigurasi 7 menunjukkan angka masing-masing 1.378 Newton dan 968 Newton. Nilai kedua operator ini tidak terpaud terlalu jauh karena masing-masing telah menggunakan alat bantu sehingga

pekerjaannya jauh lebih ringan dibanding dengan konfigurasi 1 dan 2 yang berlangsung manual.

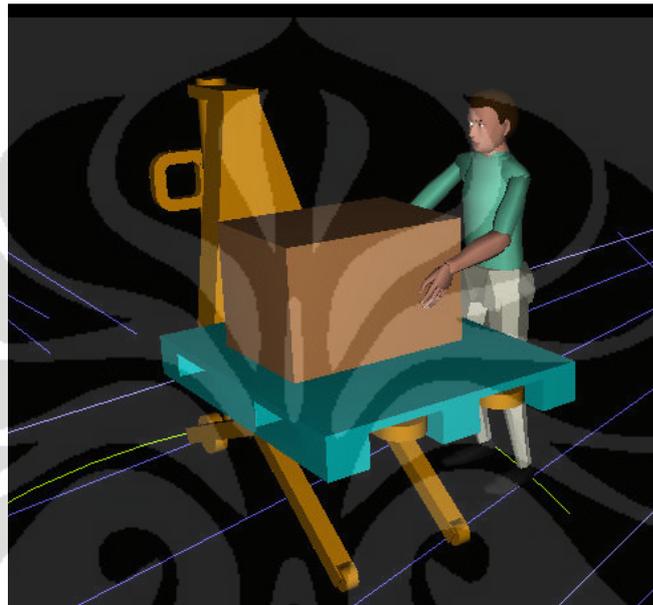
Kondisi ekstrim untuk operator 1 terjadi ketika pengambilan kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.11. Kondisi pada konfigurasi 7 ini tidak terlalu berat jika dibandingkan dengan kondisi pada konfigurasi 1 karena telah menggunakan alat bantu *vacuum grip*. Dengan alat ini maka operator tidak perlu membungkuk dan beban yang ditanggung pun berkurang sangat jauh. Hal ini berdampak pada nilai kompresi LBA konfigurasi 7 yang menjadi jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan konfigurasi 1.



Gambar 4.11 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 7

Sedangkan untuk operator 2, kondisi atau postur ekstrim terjadi ketika menggeser kardus dari *conveyor* ke atas palet seperti pada gambar 4.12. Gaya gesek yang timbul antara kardus dengan permukaan palet menyebabkan adanya gaya yang harus dikeluarkan oleh operator 2 ketika menggeser kardus. Namun gaya yang harus dikeluarkan ini tentu jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan kondisi pada konfigurasi 1 yang mengharuskan operator 2 untuk mengambil kardus dari bawah, mengangkat lalu menyusunnya di atas palet. Selain itu, kondisi ekstrim ini terjadi pada postur tubuh operator 2 yang berdiri tegak sehingga

dampak dari beban yang ada akan lebih ringan jika dibandingkan dengan konfigurasi 1 ataupun 2 yang berpostur membungkuk. Gabungan antara kondisi postur tubuh operator yang lebih baik dengan gaya atau beban yang jauh lebih kecil mengakibatkan nilai LBA operator 2 pada untuk konfigurasi 7 ini menjadi jauh lebih kecil dibanding konfigurasi 1.



Gambar 4.12 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 7

Secara umum dapat dianalisis bahwa nilai LBA untuk kedua operator jauh lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual karena peran alat bantu yang digunakan. Peralatan tersebut membantu operator dalam bekerja sehingga postur tubuh dapat berdiri tegak dan beban kerja menjadi jauh lebih ringan. Dampak dari pemakaian alat bantu ini dapat dilihat dari turunnya nilai LBA yang sangat signifikan.

Selain menghasilkan output berupa nilai LBA, *software* Jack juga memberikan *output* analisis OWAS yang mengukur tingkat kenyamanan dari aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan. *Output* analisis OWAS untuk operator 1 dan 2 menghasilkan kode yang sama yakni 1-1-2-1 dimana masing-masing angka tersebut menunjukkan hasil analisis untuk bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Hasil analisis OWAS yang diperoleh untuk kedua operator pada konfigurasi 7 ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 dimana ini mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah tegak sehingga beban yang ditanggung tidak terlalu besar.
2. Bagian tangan operator 1 maupun operator 2 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.
3. Bagian tubuh bawah kedua operator termasuk dalam kategori 2 karena postur tubuh pekerja ialah berdiri dengan kaki tegak sehingga persebaran berat badan operator dapat ditopang dengan sempurna.
4. Beban yang diterima oleh operator 1 dan operator 2 tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti beban yang diangkut oleh operator tersebut kurang dari 10 kilogram. Hal ini disebabkan oleh penggunaan alat bantu sehingga beban yang dialami menjadi jauh berkurang.

Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk operator 1 dan operator 2 menghasilkan *output* nilai 1 yang menunjukkan bahwa postur tersebut telah aman bagi sistem muskuloskeletal.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* RULA. Analisis ini akan mengevaluasi dengan lebih detail mengenai tubuh bagian atas dari operator berdasarkan pada kondisi manekin yang digunakan pada simulasi ini. Penilaian untuk analisis RULA dilakukan dengan membagi tubuh operator menjadi 2 yakni kelompok bagian tubuh A dan B. Pada tabel 4.18 di bawah ini akan ditunjukkan analisis RULA yang dilakukan terhadap masing-masing operator untuk konfigurasi 7.

Tabel 4.18 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 7

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	1	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					
Operator 2	2	3	2	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					

Berdasarkan nilai RULA yang terdapat pada tabel 4.18 di atas terdapat perbedaan nilai masing-masing grup untuk operator 1 dan 2 yang disebabkan oleh perbedaan kondisi ekstrim yang terjadi. Nilai tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Lengan atas (*upper arm*)
Analisis RULA untuk operator 1 menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3 yang berarti bahwa lengan atas operator 1 menyimpang membentuk sudut antara 45° hingga 90° . Sedangkan analisis terhadap operator 2 memberikan nilai 2 yang berarti lengan atas operator tersebut menyimpang sekitar 20° .
- Lengan bawah (*lower arm*)
Hasil analisis untuk lengan bawah kedua operator menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100° terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Hal ini disebabkan oleh dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.
- Pergelangan tangan (*wrist*)
Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan operator 1 menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar. Sedangkan untuk operator 2 diperoleh nilai 1 yang berarti telapak tangan cenderung lurus dengan lengan.
- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)
Analisis perputaran pergelangan tangan memberikan nilai 2 untuk kedua operator yang menunjukkan bahwa pergelangan tangan operator berputar hampir mencapai batas maksimal.
- Leher (*neck*)
Hasil analisis untuk bagian leher pada operator 1 dan 2 menunjukkan leher bergerak kurang dari 10° sehingga *output* nilai yang diperoleh ialah 1.

- Batang tubuh (*trunk*)

Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator 1 dan operator 2 nilai yang diperoleh ialah 1 yang berarti bahwa postur batang tubuh kedua operator tersebut tegak.

Secara keseluruhan dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus yang harus dipindahkan maka diperoleh nilai total 5 untuk operator 1 dan operator 2. Nilai 5 ini mengindikasikan masih perlunya dilakukan upaya perbaikan agar kondisinya bisa lebih baik.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA untuk masing-masing operator maka dihasilkan nilai PEI konfigurasi 7 untuk operator 1 sebesar 1,670 dan operator 2 sebesar 1,549.

4.4.2 Analisis Konfigurasi 8

Konfigurasi 8 merupakan simulasi yang sangat identik dengan konfigurasi 7 dimana keduanya sama-sama menggambarkan kondisi menggunakan alat bantu *vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter* dengan 2 model manusia berjenis kelamin pria tetapi menggunakan data antropometri yang berbeda. Pada konfigurasi 8 ini data antropometri yang dipakai ialah data antropometri *percentile 95*.

Analisis ini diawali dengan melihat nilai *Static Strength Prediction* (SSP) untuk masing-masing operator. Berdasarkan analisis SSP diperoleh hasil bahwa aktivitas ini masih memungkinkan untuk dikerjakan oleh para operator karena seluruh indikator yang ada menunjukkan nilai lebih dari 0.

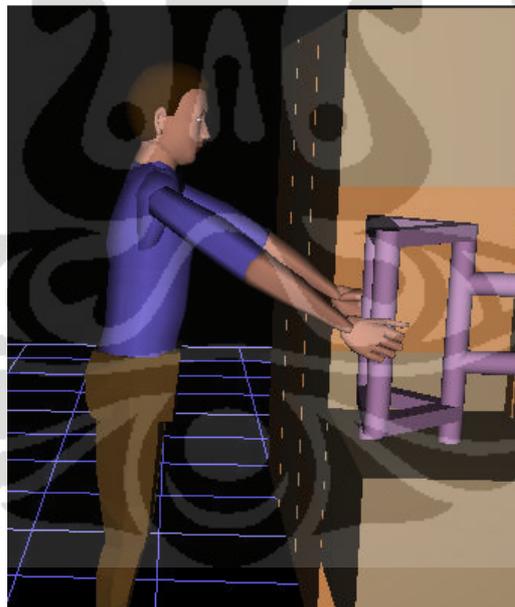
Selanjutnya analisis ergonomi yang dilakukan untuk simulasi konfigurasi 8 ini meliputi analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Output* analisis terhadap simulasi konfigurasi 4 untuk ketiga indikator tersebut memberikan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.19 Rekapitulasi Hasil Analisis Konfigurasi 8

Operator	LBA	OWAS	RULA
Operator 1	1.527	1	5
Operator 2	1.025	1	5

Berdasarkan tabel 4.19 di atas dapat diketahui bahwa pada saat kondisi ekstrim, nilai kompresi LBA untuk operator 1 dan operator 2 menunjukkan angka masing-masing 1.527 Newton dan 1.025 Newton. Nilai kedua operator ini tidak terpaut terlalu jauh karena masing-masing telah menggunakan alat bantu sehingga pekerjaannya jauh lebih ringan dibanding dengan konfigurasi 1 dan 2 yang berlangsung manual.

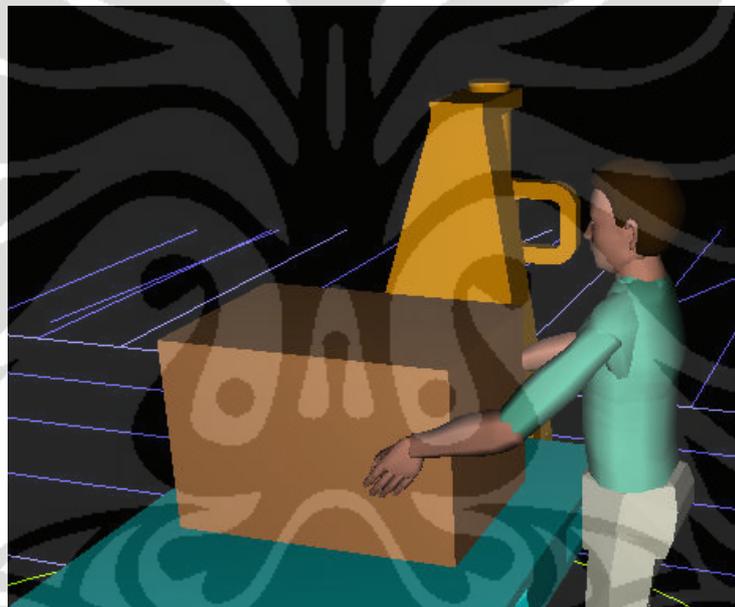
Kondisi ekstrim untuk operator 1 terjadi ketika pengambilan kardus yang berada di bagian paling bawah dari tumpukan tersebut sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.13. Kondisi pada konfigurasi 8 ini tidak terlalu berat jika dibandingkan dengan kondisi pada konfigurasi 2 karena telah menggunakan alat bantu *vacuum grip*. Dengan alat ini maka operator tidak perlu membungkuk dan beban yang ditanggung pun berkurang sangat jauh. Hal ini berdampak pada nilai kompresi LBA konfigurasi 8 yang menjadi jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan konfigurasi 2.



Gambar 4.13 Postur Ekstrim Operator 1 untuk Konfigurasi 8

Sedangkan untuk operator 2, kondisi atau postur ekstrim terjadi ketika menggeser kardus dari *conveyor* ke atas palet seperti pada gambar 4.14. Gaya gesek yang timbul antara kardus dengan permukaan palet menyebabkan adanya

gaya yang harus dikeluarkan oleh operator 2 ketika menggeser kardus. Namun gaya yang harus dikeluarkan ini tentu jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan kondisi pada konfigurasi 2 yang mengharuskan operator 2 untuk mengambil kardus dari bawah, mengangkat lalu menyusunnya di atas palet. Selain itu, kondisi ekstrim ini terjadi pada postur tubuh operator 2 yang berdiri tegak sehingga dampak dari beban yang ada akan lebih ringan jika dibandingkan dengan konfigurasi 1 ataupun 2 yang berpostur membungkuk. Gabungan antara kondisi postur tubuh operator yang lebih baik dengan gaya atau beban yang jauh lebih kecil mengakibatkan nilai LBA operator 2 pada untuk konfigurasi 8 ini menjadi jauh lebih kecil dibanding konfigurasi 2.



Gambar 4.14 Postur Ekstrim Operator 2 untuk Konfigurasi 8

Secara umum dapat dianalisis bahwa nilai LBA untuk kedua operator jauh lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual karena peran alat bantu yang digunakan. Peralatan tersebut membantu operator dalam bekerja sehingga postur tubuh dapat berdiri tegak dan beban kerja menjadi jauh lebih ringan. Dampak dari pemakaian alat bantu ini dapat dilihat dari turunnya nilai LBA yang sangat signifikan.

Selain menghasilkan output berupa nilai LBA, *software* Jack juga memberikan *output* analisis OWAS yang mengukur tingkat kenyamanan dari

aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan. *Output* analisis OWAS untuk operator 1 dan 2 menghasilkan kode yang sama yakni 1-1-2-1 dimana masing-masing angka tersebut menunjukkan hasil analisis untuk bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Hasil analisis OWAS yang diperoleh untuk kedua operator pada konfigurasi 8 ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 dimana ini mengindikasikan postur pekerja saat kondisi ekstrim tersebut ialah tegak sehingga beban yang ditanggung tidak terlalu besar.
2. Bagian tangan operator 1 maupun operator 2 termasuk dalam kategori 1 yang berarti ketika kondisi ekstrim tersebut letak tangan kiri maupun tangan kanan dari kedua operator berada lebih rendah dari pundak.
3. Bagian tubuh bawah kedua operator termasuk dalam kategori 2 karena postur tubuh pekerja ialah berdiri dengan kaki tegak sehingga persebaran berat badan operator dapat ditopang dengan sempurna.
4. Beban yang diterima oleh operator 1 dan operator 2 tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti beban yang diangkut oleh operator tersebut kurang dari 10 kilogram. Hal ini disebabkan oleh penggunaan alat bantu sehingga beban yang dialami menjadi jauh berkurang.

Secara keseluruhan, analisis OWAS untuk operator 1 dan operator 2 menghasilkan *output* nilai 1 yang menunjukkan bahwa postur tersebut telah aman bagi sistem muskuloskeletal. Kondisi ini disebabkan oleh penggunaan alat bantu bagi kedua operator sehingga pekerjaan yang dilakukan menjadi lebih ringan dan mengurangi terjadinya postur-postur yang tidak ergonomis.

Setelah melakukan analisis OWAS maka selanjutnya dilakukan pula analisis terhadap *output* penilaian RULA. Analisis RULA berfungsi untuk mengevaluasi dengan lebih detail mengenai tubuh bagian atas dari operator berdasarkan pada kondisi manekin yang digunakan pada simulasi ini. Penilaian untuk analisis RULA dilakukan dengan membagi tubuh operator menjadi 2 yakni kelompok bagian tubuh A dan B. Dalam tabel 4.20 di bawah ini akan ditunjukkan hasil analisis RULA yang dilakukan terhadap operator 1 dan operator 2 untuk konfigurasi 8.

Tabel 4.20 Pola Penilaian RULA untuk Konfigurasi 8

Komposisi	<i>Body Group A</i>				<i>Body Group B</i>	
	<i>Upper Arm</i>	<i>Lower Arm</i>	<i>Wrist</i>	<i>Wrist Twist</i>	<i>Neck</i>	<i>Trunk</i>
Operator 1	3	3	1	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					
Operator 2	2	3	2	2	1	1
<i>group score</i>	6				3	
TOTAL	5					

Penilaian RULA yang terdapat pada tabel 4.20 tersebut merupakan hasil evaluasi terhadap masing-masing bagian tubuh yang ada baik untuk bagian tubuh grup A maupun grup B. Perbedaan nilai masing-masing grup untuk operator 1 dan 2 tersebut terjadi karena perbedaan kondisi ekstrim yang dialami. Nilai untuk setiap operator menunjukkan kondisi masing-masing bagian tubuhnya yakni :

- Lengan atas (*upper arm*)

Analisis RULA untuk operator 1 menunjukkan hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 3 yang berarti bahwa lengan atas operator 1 menyimpang membentuk sudut antara 45° hingga 90° . Sedangkan analisis terhadap operator 2 memberikan nilai 2 yang berarti lengan atas operator tersebut menyimpang sekitar 20° .

- Lengan bawah (*lower arm*)

Hasil analisis untuk lengan bawah kedua operator menunjukkan nilai 3 yang berarti bahwa operator membengkokkan siku tangannya lebih dari 100° terhadap kondisi normal ketika tangan lurus ke bawah. Selain itu, lengan bawah operator juga membuka atau melebar dari kondisi normal sehingga letak kedua siku lebih lebar dibanding pundak. Hal ini disebabkan oleh dimensi kardus yang cukup besar sehingga operator harus melebarkan tangannya agar dapat menjangkau sisi-sisi kardus.

- Pergelangan tangan (*wrist*)

Evaluasi RULA untuk bagian pergelangan tangan operator 1 menunjukkan *output* nilai 2 yang berarti pergelangan tangan bergerak sehingga letak telapak tangan membentuk sudut sekitar 15° dari kondisi datar. Sedangkan untuk

operator 2 diperoleh nilai 1 yang berarti telapak tangan cenderung lurus dengan lengan.

- Perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*)

Analisis perputaran pergelangan tangan memberikan nilai 2 untuk kedua operator yang menunjukkan bahwa pergelangan tangan operator berputar hampir mencapai batas maksimal.

- Leher (*neck*)

Hasil analisis untuk bagian leher pada operator 1 dan 2 menunjukkan leher bergerak kurang dari 10° sehingga *output* nilai yang diperoleh ialah 1.

- Batang tubuh (*trunk*)

Evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh dari operator 1 dan operator 2 nilai yang diperoleh ialah 1 yang berarti bahwa postur batang tubuh kedua operator tersebut tegak.

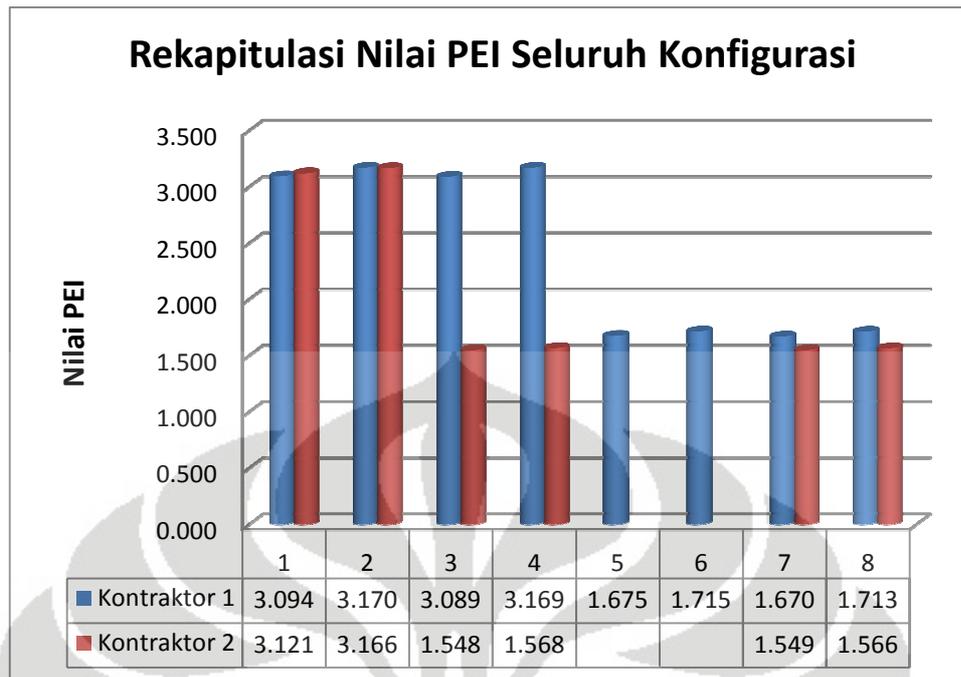
Secara keseluruhan dengan memperhitungkan postur masing-masing bagian tubuh tersebut dan beban kardus yang harus dipindahkan maka diperoleh nilai total 5 untuk operator 1 dan operator 2. Nilai 5 ini mengindikasikan masih perlunya dilakukan upaya perbaikan agar kondisinya bisa lebih baik.

Dengan menggunakan nilai LBA, OWAS dan RULA untuk masing-masing operator maka dihasilkan nilai PEI konfigurasi 8 untuk operator 1 sebesar 1,713 dan operator 2 sebesar 1,566.

4.5 ANALISIS PENGGUNAAN ALAT BANTU

4.5.1 Perbandingan Nilai PEI untuk Seluruh Konfigurasi

Berdasarkan seluruh data dan hasil perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI) untuk masing-masing operator pada setiap konfigurasi dapat dilakukan perbandingan untuk mengetahui perbedaan dan dampak dari penggunaan alat bantu terhadap nilai PEI masing-masing konfigurasi. Berdasarkan perbandingan nilai PEI inilah dapat ditentukan alat bantu proses *unloading* yang direkomendasikan agar proses kerja menjadi lebih ergonomis.



Gambar 4.15 Grafik Rekapitulasi Nilai PEI untuk Setiap Konfigurasi

Sebagaimana pada gambar 4.15 di atas dapat dilihat bahwa nilai PEI untuk kondisi aktual baik konfigurasi 1 maupun konfigurasi 2 mencapai lebih dari 3 baik untuk operator 1 ataupun operator 2. Kondisi ini disebabkan oleh cara kerja manual yang harus dilakukan operator sekalipun dengan beban kardus yang mencapai 22 kilogram. Proses pengangkutan barang mulai dari pengambilan kardus hingga peletakkannya sering kali memaksa pekerja untuk membungkuk sehingga beban semakin besar. Hal ini berpengaruh pada nilai LBA, OWAS dan RULA yang mengakibatkan nilai PEI meningkat tajam. Berdasarkan nilai PEI ini maka dapat dikatakan bahwa kondisi aktual yang ada masih jauh dari kondisi ergonomis.

Pada konfigurasi 3 dan 4, dilakukan penambahan alat bantu berupa *adjustable conveyor* dan *high lifter*. Kedua alat bantu ini sangat menolong operator 2 dalam melakukan pekerjaannya sehingga nilai PEI operator 2 turun sangat signifikan. Namun, kondisi ini ternyata tidak berdampak bagi operator 1 yang tetap melakukan kegiatan pengambilan kardus dengan membungkuk dan kaki menekuk hingga hampir jongkok. Akibatnya nilai PEI operator 1 masih tetap sangat tinggi sebagaimana yang terjadi pada simulasi konfigurasi 1 dan konfigurasi 2.

Konfigurasi 5 dan 6 merupakan uji coba penggunaan alat bantu berupa *vacuum grip* dan *high lifter*. Pada simulasi kedua konfigurasi ini hanya digunakan 1 orang operator mengingat dengan menggunakan kedua alat bantu tersebut maka beban kerja operator 1 akan sangat jauh berkurang dan alat ini dapat digunakan untuk membawa kardus ke atas palet.

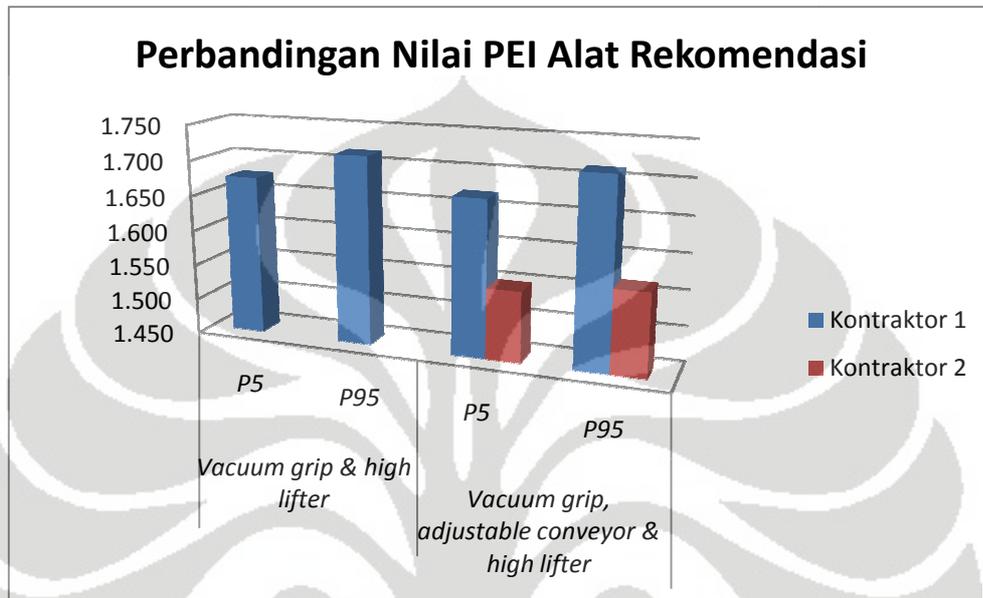
Dengan alat ini operator 1 tidak perlu membungkuk sekalipun mengambil kardus yang terletak di paling bawah. Selain itu, alat ini juga akan membantu meringankan beban yang ditanggung operator 1 karena *vacuum grip* akan menanggung sebagian besar beban dengan menyalurkannya ke kaitan yang berada di atasnya. Akibatnya nilai PEI untuk operator 1 berkurang sangat besar. Konfigurasi ini memungkinkan proses *unloading* dikerjakan oleh seorang operator saja tetapi waktu yang dibutuhkan akan lebih besar.

Konfigurasi 7 dan 8 dibuat dengan menggabungkan alat bantu *vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter*. Konsep yang digunakan ialah penggabungan dari konfigurasi 3 dan 4 dengan konfigurasi 5 dan 6. Simulasi pada konfigurasi 7 dan 8 ini menghasilkan nilai PEI yang cukup rendah untuk operator 1 maupun operator 2. *Vacuum grip* digunakan untuk membantu operator 1 saat mengambil kardus di dalam truk sehingga postur tubuh tidak membungkuk dan bebannya pun jauh lebih ringan. Sedangkan kombinasi *adjustable conveyor* dengan *high lifter* akan membuat operator 2 cukup menggeser kardus dari atas *conveyor* ke atas palet sehingga beban yang ditanggung tubuh akan berkurang dengan signifikan. Kombinasi ketiga alat ini mampu menunjang pekerjaan operator 1 dan operator 2 sehingga menjadi lebih ergonomis.

4.5.2 Penentuan Rekomendasi Alat Bantu

Pada pembahasan sub bab 4.5.1 di atas telah dianalisis dampak dari alat bantu *unloading* yang disimulasikan terhadap nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi. Dari analisis tersebut dapat dilihat 4 konfigurasi yang memberikan hasil nilai PEI paling baik yakni konfigurasi 5,6,7 dan 8 dimana konfigurasi 5 dan 6 menggunakan kombinasi alat bantu *vacuum grip* dan *high lifter*, sementara konfigurasi 7 dan 8 menggabungkan kedua alat bantu tersebut dengan *adjustable conveyor*. Seperti yang tampak pada gambar 4.16 di bawah ini, kedua gabungan

alat bantu yang disimulasikan tersebut sebenarnya menghasilkan nilai PEI yang relatif sama. Namun perbedaannya terletak pada jumlah operator yang ada dimana pada konfigurasi 5 dan 6 hanya terdapat operator 1 sedangkan untuk konfigurasi 7 dan 8 terdapat operator 1 dan 2.



Gambar 4.16 Perbandingan Nilai PEI Alat Bantu yang Direkomendasikan

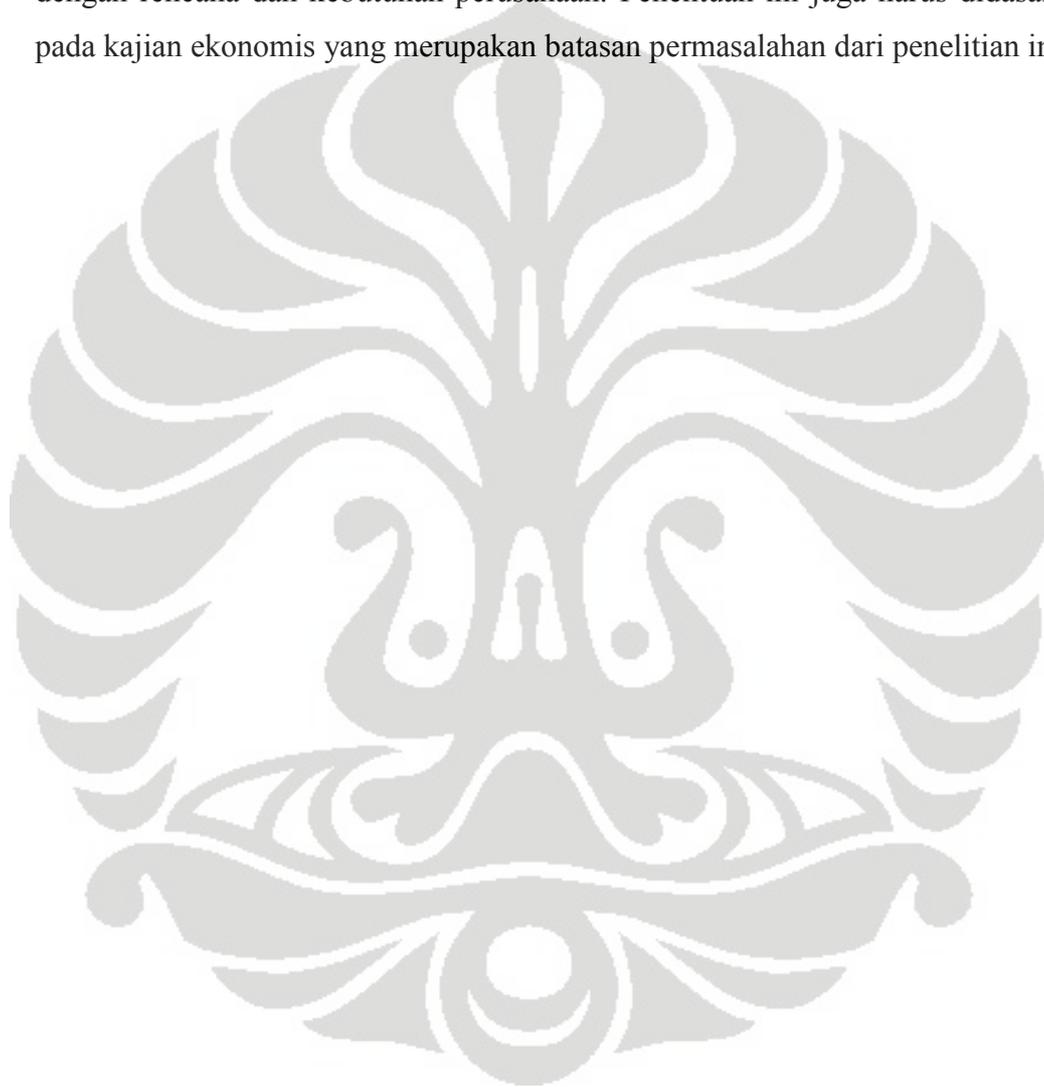
Dengan melihat kondisi pada gambar 4.16 di atas maka terdapat 2 jenis kelompok alat bantu yang direkomendasikan untuk proses *unloading* di area *raw material store*. Pemilihan ini dilakukan mengingat setiap kelompok alat bantu tersebut memiliki manfaat yang setara secara ergonomis tetapi terdapat kelebihan dan kekurangan masing-masing dari segi ekonomis.

Kelompok alat bantu 1 ialah *vacuum grip* dan *high lifter* yang memiliki keunggulan pada jumlah operator yang lebih sedikit dan jumlah investasi peralatan yang lebih sedikit sehingga menguntungkan secara ekonomis. Namun kondisi dengan 1 operator ini akan membuat waktu yang dibutuhkan untuk proses *unloading* tersebut menjadi lebih lama.

Sedangkan untuk kelompok alat bantu 2 yang terdiri dari *vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter* terdapat keunggulan dari segi waktu proses *unloading* yang lebih cepat dibandingkan dengan kelompok alat bantu 1. Oleh karena itu, kelompok alat bantu ini cocok diimplementasikan untuk industri

dengan tingkat aliran material yang tinggi sehingga membutuhkan proses *unloading* yang cepat. Tentunya hal ini akan membuat perusahaan harus menginvestasikan lebih banyak baik untuk peralatan maupun sumber daya manusia yang mengoperasikan peralatan tersebut.

Dengan 2 buah rekomendasi yang diberikan ini maka pemilihan kelompok alat bantu yang paling cocok untuk setiap perusahaan akan sangat bergantung dengan rencana dan kebutuhan perusahaan. Penentuan ini juga harus didasarkan pada kajian ekonomis yang merupakan batasan permasalahan dari penelitian ini.



BAB 5

KESIMPULAN

Dari penelitian “Rekomendasi Alat Bantu Proses *Unloading* yang Ergonomis pada Area *Raw Material Store* Pabrik *Fast Moving Consumer Goods* dengan Metode *Virtual Human Modeling*” ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Kondisi aktual proses *unloading* di area *raw material store* ialah manual tanpa menggunakan alat bantu apapun. Kondisi aktual ini disimulasikan dalam 2 konfigurasi yakni konfigurasi 1 dengan menggunakan data antropometri *percentile 5* dan konfigurasi 2 dengan memakai *percentile 95*. Data antropometri *percentile 5* memiliki rincian tinggi badan 161,5 cm dan berat badan 50 kg sedangkan *percentile 95* memiliki tinggi badan 172 cm dan berat badan 64 kg.
2. Terdapat 6 buah konfigurasi dengan menggunakan kombinasi alat bantu yang memungkinkan yakni *vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter*. Simulasi dengan alat bantu ini dibuat untuk mengetahui konfigurasi yang paling ergonomis dan sesuai dengan kondisi pekerjaan.
3. Proses analisis dilakukan dengan membandingkan indikator ergonomi menggunakan metode *Posture Evaluation Index* (PEI) yang merupakan gabungan dari nilai *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Penilaian PEI dilakukan terhadap seluruh konfigurasi yang dibuat. Di samping itu juga dibuat analisis dengan *Lifting Index* (LI) untuk mengetahui tingkat keergonomisan dari pengangkatan manual yang dilakukan.
4. Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa kondisi aktual dengan *percentile 95* (konfigurasi 2) merupakan keadaan yang paling tidak ergonomis karena memiliki nilai PEI paling tinggi untuk kedua

operatornya yakni 3,17 untuk operator 1 dan 3,166 untuk operator 2. Tingginya nilai PEI ini mengindikasikan proses *unloading* manual tersebut beresiko bagi kesehatan. Di samping itu, analisis dengan menggunakan *Lifting Index* (LI) juga menunjukkan nilai operator 1 mencapai 4,153 dan operator 2 sebesar 4,139. Nilai keduanya yang melebihi 3 menunjukkan bahwa proses pengangkatan tersebut tidak ergonomis.

5. Secara umum, penggunaan alat bantu *unloading* yang disimulasikan menunjukkan hasil yang positif secara ergonomi. Hal ini ditandai oleh turunnya nilai PEI dengan sangat signifikan.
6. Berdasarkan analisis seluruh konfigurasi yang dibuat, diperoleh alat bantu yang direkomendasikan ialah kelompok alat bantu 1 (*vacuum grip* dan *high lifter*) yang digunakan pada konfigurasi 5 dan 6 serta kelompok alat bantu 2 (*vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter*) yang disimulasikan pada konfigurasi 7 dan 8. Kedua kelompok alat bantu ini menghasilkan nilai PEI yang relatif sama tetapi berbeda pada cara kerja dan jumlah operator yang mengoperasikannya.
7. Kelompok alat bantu 1 yang terdiri dari *vacuum grip* dan *high lifter* memiliki keunggulan pada lebih sedikitnya jumlah operator yang dibutuhkan. Pada simulasi dengan alat bantu ini hanya dibutuhkan 1 orang operator sementara untuk kondisi aktual terdapat 2 operator. Namun dampak dari kondisi ini ialah waktu *unloading* yang menjadi lebih lama.
8. Kelompok alat bantu 2 yang terdiri dari *vacuum grip*, *adjustable conveyor* dan *high lifter* memiliki keunggulan pada waktu *unloading* yang lebih cepat dibandingkan kelompok alat bantu 1. Namun konfigurasi ini memerlukan 2 orang operator sebagaimana kondisi aktual yang ada.
9. Penentuan kombinasi alat bantu yang dipilih untuk digunakan perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan strategi perusahaan. Bila memerlukan aliran material yang cepat maka dapat digunakan kelompok alat bantu 2 dan demikian pula sebaliknya.

DAFTAR REFERENSI

- Astrand, P. O., 1977, *Textbook of Working Physiology*, 2th ed., USA : McGraw-Hill Book Company
- Bridger, R. S., 2003, *Introduction to ergonomics*. London, UK : Taylor & Francis Group
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A., 2006, Ergonomic optimization of a manufacturing system work cell in a virtual environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*
- Chaffin, Don B., et al, 2003, *Some biomechanical perspectives on musculoskeletal disorders: causation and prevention*, USA : University of Michigan
- Choffin, Don B., 1979, *Localized muscle fatigue, definition and measurement*. *Journal of Occupational Medicine*
- Di Gironimo, Giuseppe, et al, 2004, *A design methodology for maintainability of otomotive components in virtual environment*, Dubrovnik : International Design Conference 2004
- Elfeituri, Farag E., Taboun, Salem M., 2002, *An Evaluation of the NIOSH Lifting Equation: A Psychophysical and Biomechanical Investigation*, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics
- Garndjean, E., 1993, *Fitting the task to the man 4th edition*, London, UK : Taylor & Francis Group
- Helander, Martin, 2006, *A guide to human factors and ergonomics (2nd ed.)*, London, UK : Taylor & Francis e-Library
- Helander, M.G. and Burri, G., 1995, *Cost effectiveness of ergonomics and quality improvements in the electronics industry*, International Journal of Industrial Ergonomics
- Karwowski, Waldemar, 2001, *International encyclopedia of ergonomics and human factor*, New York, USA : Taylor and Francis Group
- Lehto, Mark R., Buck, James R., 2005, *Introduction to human factors and ergonomics for engineers*, New York, USA : Taylor and Francis Group
- Lueder, R., 1996, *A proposed RULA for computer users in occupational and environmental health*, San Francisco, USA : UC Berkeley Center
- Marras, W.S., Karwowski, W., 2006, *Fundamental and assessment tools for occupational ergonomics*, London, UK : Taylor & Francis Group

- Occhipinti, E., Colombini, D., 1999, *Assessment of exposure to repetitive upper limb movement: an IEA consensus document*, TU TB Newsletter
- Pheasant, Stephen, 2003, *Bodyspace: anthropometry, ergonomics and the design of work*, London, UK : Taylor & Francis e-Library
- Siemens PLM Software. 2008, *Task Analysis Toolkit for Jack*
- Suma'mur, P.K. , 1982, *Ergonomi untuk produktivitas kerja*, Jakarta : Yayasan Swabhawa Karya
- Stanton, Neville, et al, 2005, *Handbook of human factors and ergonomics method*, New York, USA : CRC Press
- Tarwaka. Bakri, Solichul, HA., Sudiajeng, Lilik, 2004, *Ergonomi untuk keselamatan, kesehatan kerja dan produktivitas*, UNIBA Press

