



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DESAIN PINTU *LOADING DOCK* DENGAN
ANALISIS ERGONOMI DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT*
PADA PANSER KANON KALIBER 90 MILIMETER TIPE
*INFANTRY FIGHTING VEHICLE (IFV)***

SKRIPSI

**ERNEST WAHYUDI
0806458832**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DESAIN PINTU *LOADING DOCK* DENGAN
ANALISIS ERGONOMI DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT*
PADA PANSER KANON KALIBER 90 MILIMETER TIPE
*INFANTRY FIGHTING VEHICLE (IFV)***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ERNEST WAHYUDI

0806458832

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2012**

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 : Ernest Wahyudi

NPM : 0806458832

Tanda tangan : 

Tanggal : 9 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ernest Wahyudi
NPM : 0806458832
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Evaluasi Desain Pintu *Loading Dock* dengan Analisis Ergonomi Dalam *Virtual Environment* pada Panser Kanon Kaliber 90 Milimeter Tipe *Infantry Fighting Vehicle (IFV)*

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. Dendi P. Ishak, MSIE (.....)
Penguji : Ir. Fauzia Dianawati, M.Si (.....)
Penguji : Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE (.....)
Penguji : Dwinta Utari, ST., MT (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya yang senantiasa menuntun Penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dengan kerja sama, bantuan, dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Dendi Prajadiana Ishak, MSIE Terima kasih atas segala yang telah bapak berikan selaku dosen pembimbing skripsi; motivasi, arahan, saran, doa, bimbingan akademis, dan bimbingan hidup. Semoga Tuhan membalas segala kebaikan bapak dengan kebaikan yang lebih banyak.
2. Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE , Ir. Fauzia Dianawati, M.Si dan Ir. Erlinda Muslim, MEE., selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini
3. Pak Windu sebagai pembimbing saya ketika melakukan pengambilan data desain aktual kendaraan tempur panser di PT Pindad
4. Keluarga tercinta, terutama Mami, Papi dan adik-adikku Erina, Ervina, Ervira serta Aurel yang tercinta, atas seluruh perhatian, semangat dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang
5. Rangga Virgaputra, Bram Bratanata, Gagas Hariseto Pratomo, Reza Alfaiz, Pramudya Rizfa Darma dan Nurintan Nauli Primasari Sormin sebagai Rekan tim skripsi ergonomi pada kendaraan tempur yang selalu memberi masukan dalam skripsi saya ini
6. Sahabat-sahabat saya Dega, Syaugi, Manyu, Tepeng, Adi Jawa, Bang Faris, Bang Denis, Bung Rija, Victor, Pindonta, Gerry, Batu, Hamsir, Bung Eki, Santos, Abot, Joni Tan, Upil, Diegong, Koko Fami, Firzi , Adi Seno, Iqbal dan Alfi yang selalu memberikan semangat dan motifasi kepada saya dalam mengerjakan skripsi

7. Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri terutama Mas Achiel, Mas Topan, Mas Latief, Pak Mursyid, dan Mas Iwan atas kesediaannya membantu asisten Ergonomics Centre.
8. Teman-teman angkatan 2008 yang telah bersama dengan saya selama 4 tahun di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang selalu memberi masukan dalam penelitian yang saya lakukan
9. Tara Karina, pacar saya yang juga setia memberi semangat untuk mengerjakan skripsi dan menemani saya di waktu yang susah.
10. Pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu di sini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini. Saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam skripsi ini. Kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Depok 9 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Ernest Wahyudi

NPM : 0806458832

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:

Evaluasi Desain Pintu *Loading Dock* Dengan Analisis Ergonomi Dalam *Virtual Environment* Pada Panser Kanon Kaliber 90 Milimeter Tipe *Infantry Fighting Vehicle (IFV)*

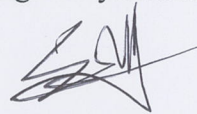
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 14 Juni 2012

Yang Menyatakan



(Ernest Wahyudi)

ABSTRAK

Nama : Ernest Wahyudi

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Evaluasi Desain Pintu *Loading Dock* Dengan Analisis Ergonomi Dalam *Virtual Environment* Pada Panser Kanon Kaliber 90 Milimeter Tipe *Infantry Fighting Vehicle (IFV)*

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis pada desain pintu *loading dock* kendaraan tempur *Infantry Fighting Vehicle (IFV)* dalam *Virtual Environment*. Tujuannya adalah mengevaluasi desain aktual pintu *loading dock* kendaraan tempur dan menentukan konfigurasi paling ergonomis ditinjau dari lebar pintu dan posisi pijakan. Dihasilkan 6 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Data gerakan diambil dengan menggunakan *Vicon Motion Capture System* dan dianalisis dengan menggunakan *software Jack 6.2.1*. Pendekatan yang digunakan adalah *Posture Evaluation Index (PEI)* yang mengintegrasikan analisis dari tiga metode analisis: *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Hasil penelitian ini yaitu adanya perubahan lebar pintu sejauh 5 cm ke kanan dan ke kiri serta diberikan pijakan dengan jarak dari dasar pintu sejauh 30 cm serta dengan sudut 50°.

Kata Kunci:

Ergonomi, *Infantry Fighting Vehicle (IFV)*, Lingkungan Virtual, *Motion Capture*, *Posture Evaluation Index*, Konfigurasi Optimal

ABSTRACT

Name : Ernest Wahyudi

Study Program : Industrial Engineering

Title : *Evaluation for The Loading Dock Door of The 90 Millimeter Caliber Infantry Fighting Vehicle Typed Canon Panzer Using Ergonomic Analysis In Virtual Environment.*

This research studies the ergonomic aspects from the loading dock door of the 90 millimeter caliber Infantry Fighting Vehicle (IFV) typed canon panzer in Virtual Environment. The purpose of this project was to evaluate the actual design of the loading dock door in order to determine the most ergonomic configuration which involves the door length and the position of the tread. Vicon Motion Capture system was used to capture motion which results are then analyzed using Jack 6.2.1. Posture Evaluation Index was an approach that integrated the results of these three methods: Low Back Analysis, Ovako Working Analysis System, and Rapid Upper Limb Analysis. The results suggest that the most ergonomic design is with door length increase 5 cm to the left and to the right and also to position the tread 30 cm beneath the door with 50° angle.

Key words:

Ergonomics, Infantry Fighting Vehicle (IFV), Motion Capture, Posture Evaluation Index, Optimum Configurations

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	2
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	3
HALAMAN PENGESAHAN.....	4
KATA PENGANTAR.....	5
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	7
ABSTRAK.....	8
ABSTRACT.....	9
DAFTAR ISI.....	10
DAFTAR GAMBAR.....	14
DAFTAR TABEL.....	18
DAFTAR RUMUS.....	19
1 BAB 1 PENDAHULUAN.....	20
1.1 Latar Belakang.....	20
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	24
1.3 Rumusan Permasalahan.....	25
1.4 Tujuan Masalah.....	26
1.5 Batasan Masalah.....	26
1.6 Metodologi Penelitian.....	27
1.7 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	28
1.8 Sistematika Penulisan.....	30
2 BAB 2 DASAR TEORI.....	31
2.1 Ergonomi.....	31
2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi.....	31
2.1.2 Ergonomi dan Desain Produk.....	34
2.2 Antropometri.....	35
2.2.1 Definisi Antropometri.....	Error! Bookmark not defined.

2.2.2	Variabilitas Manusia	Error! Bookmark not defined.
2.2.3	Data Antropometri	Error! Bookmark not defined.
2.2.4	Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan	Error! Bookmark not defined.
2.3	Virtual Environment.....	Error! Bookmark not defined.
2.4	<i>Vicon Motion Capture System</i>	45
2.4.1	Pendahuluan mengenai <i>Motion Capture</i>	45
2.4.2	Cara Kerja <i>Vicon System</i>	45
2.5	<i>Software Siemens Jack 6.1</i>	47
2.5.1	Pendahuluan Mengenai Jack.....	47
2.5.2	<i>Jack Motion Capture Modules</i>	49
2.5.3	<i>Jack Task Analysis Toolkit</i>	50
2.6	<i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	51
2.7	<i>Low Back Analysis (LBA)</i>	54
2.8	<i>Ovako Working Posture Analysis (OWAS)</i>	55
2.9	<i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i>	59
2.10	<i>Metode Posture Evaluation Index (PEI)</i>	61
2.10.1	Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja	62
2.10.2	Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas	62
2.10.3	Fase Ketiga: <i>Static Strength Prediction</i>	62
2.10.4	Fase Keempat: <i>Low Back Analysis</i>	63
2.10.5	Fase Kelima: <i>Ovako Working Posture Analysis</i>	63
2.10.6	Fase Keenam: <i>Rapid Upper Limb Assessment</i>	63
2.10.7	Fase Ketujuh: Evaluasi PEI.....	64
2.11	Kendaraan Tempur	65
2.11.1	Jenis Kendaraan Tempur.....	65
2.12	<i>Lifting Motion</i>	70
3	BAB 3 PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA	73
3.1	Pengumpulan Data	73
3.1.1	Data Spesifikasi Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Kanon 90 mm Tipe <i>Infantry Fighting Vehicle (IFV)</i>	73
3.1.2	Data Anthropometri Tentara Nasional Indonesia	74
3.1.3	Data Postur dan Gerakan Tentara Mengangkat Peluru Kanon Kaliber 90 mm	76
3.1.3.1	Mengkalibrasi <i>Vicon System</i>	77

3.1.3.2	Mempersiapkan Subjek Manusia.....	81
3.1.3.3	Melakukan Proses <i>Motion Capture</i>	85
3.1.3.4	Memberi <i>Label</i> pada <i>Markers</i>	85
3.2	Pengolahan Data.....	86
3.2.1	Membuat Lingkungan Virtual (<i>Virtual Environment</i>).....	86
3.2.2	Memasukkan Data Postur Statis Manusia.....	87
3.2.3	Membuat Manekin (<i>Virtual Human</i>)	89
3.2.4	Menyatukan Manekin dengan Data	89
3.2.5	Memberi Beban (<i>Weights</i>)	90
3.2.6	Memilih Jenis Lifting Motion dengan Perhitungan Nilai Posture Evaluation Index	91
3.3	Perancangan Konfigurasi Model	92
3.4	Verifikasi dan Validasi Model	93
4	BAB 4 ANALISIS	95
4.1	KONFIGURASI 1 : Analisa Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur	95
4.1.1	<i>Static Strength Prediction</i> (SSP).....	96
4.1.2	<i>Lower Back Analysis</i> (LBA)	98
4.1.3	<i>Ovako Working Analysis System</i> (OWAS)	99
4.1.4	<i>Hasil Rapid Upper Limb Assesment</i> (RULA).....	102
4.1.5	Perhitungan Nilai PEI	105
4.2	KONFIGURASI 2 : Analisa Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur dengan Perlebaran Pintu 10 cm	105
4.2.1	<i>Lower Back Analysis</i> (LBA)	107
4.2.2	<i>Ovako Working Analysis System</i> (OWAS)	108
4.2.3	<i>Hasil Rapid Upper Limb Assesment</i> (RULA).....	109
4.2.4	Perhitungan Nilai PEI	111
4.3	KONFIGURASI 3 : Analisa Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur dengan Lebar Aktual dan Pijakan Bejarak 30 cm Dibawah Pintu dengan Sudut Kemiringan 50°	113
4.3.1	<i>Lower Back Analysis</i> (LBA)	114
4.3.2	<i>Ovako Working Analysis System</i> (OWAS)	115
4.3.3	<i>Hasil Rapid Upper Limb Assesment</i> (RULA).....	117
4.3.4	Perhitungan Nilai PEI	119

4.4	KONFIGURASI 4 : Analisa Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur dengan Perlebaran 10 cm dan Pijakan Bejarak 30 cm Dibawah Pintu dengan Sudut Kemiringan 50°	120
4.4.1	<i>Lower Back Analysis (LBA)</i>	121
4.4.2	<i>Ovako Working Analysis System (OWAS)</i>	122
4.4.3	<i>Hasil Rapid Upper Limb Assesment (RULA)</i>	123
4.4.4	Perhitungan Nilai PEI	126
4.5	KONFIGURASI 5 : Analisa Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur dengan Pintu Aktual dan Pijakan Bejarak 15 cm Dibawah Pintu dengan Sudut Kemiringan 75°	127
4.5.1	<i>Lower Back Analysis (LBA)</i>	128
4.5.2	<i>Ovako Working Analysis System (OWAS)</i>	129
4.5.3	<i>Hasil Rapid Upper Limb Assesment (RULA)</i>	131
4.5.4	Perhitungan Nilai PEI	132
4.6	KONFIGURASI 6 : Analisa Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur dengan Perlebaran 10 cm dan Pijakan Bejarak 15 cm Dibawah Pintu dengan Sudut Kemiringan 75°	134
4.6.1	<i>Lower Back Analysis (LBA)</i>	135
4.6.2	<i>Ovako Working Analysis System (OWAS)</i>	136
4.6.3	<i>Hasil Rapid Upper Limb Assesment (RULA)</i>	138
4.6.4	Perhitungan Nilai PEI	139
4.7	Perbandingan Nilai LBA, OWAS, RULA dan PEI Dari Setiap Konfigurasi	140
4.8	Simulasi Variabel Waktu.....	142
5	BAB 5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	144
5.1	Kesimpulan.....	144
5.2	Rekomendasi	145
	DAFTAR REFERENSI.....	146
	LAMPIRAN.....	149

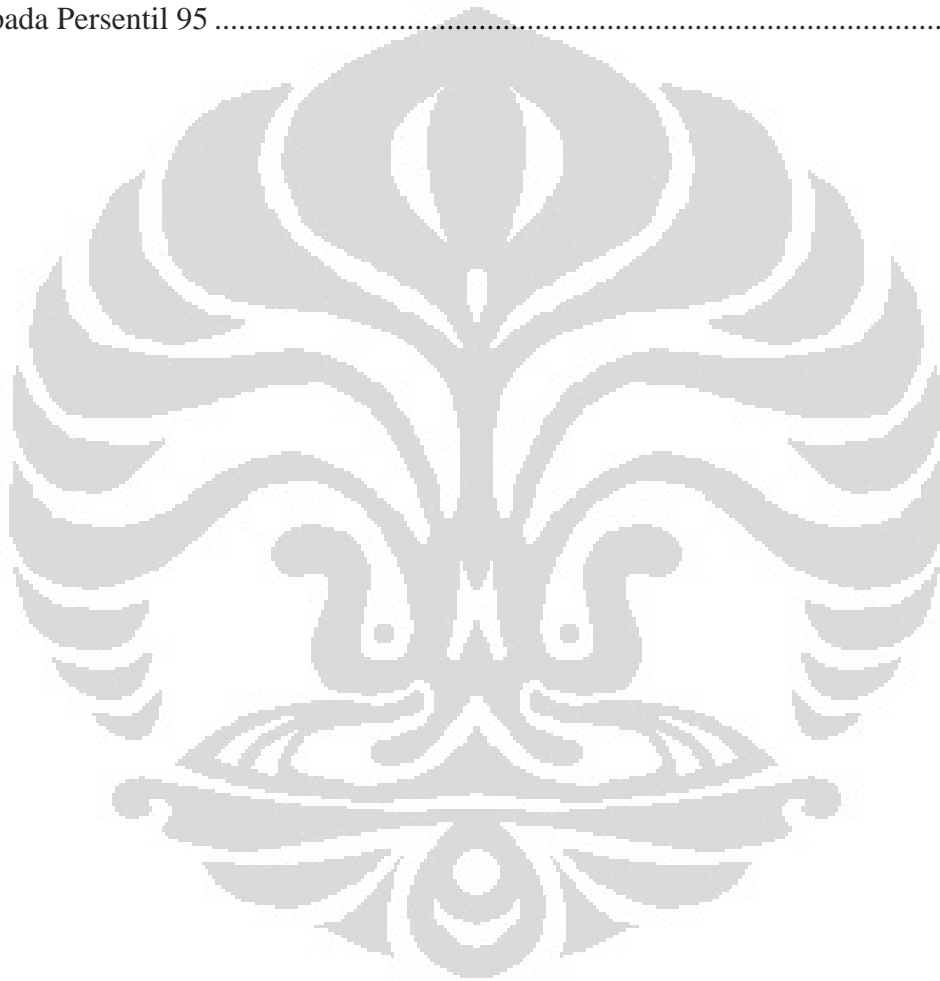
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	25
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	28
Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	29
Gambar 2.1 Sistem Kerja Sederhana	34
Gambar 2.2 Perbedaan Tinggi Tubuh Manusia Dalam Posisi Berdiri Tegak Untuk Berbagai Suku Bangsa	8
Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural.....	40
Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional.....	41
Gambar 2.5 Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i>	42
Gambar 2.6 Tampilan Hasil Rekonstruksi Gerakan pada Vicon Nexus.....	46
Gambar 2.7 Lingkungan pada Jack.....	47
Gambar 2.8 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack 6.1.....	48
Gambar 2.9 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian.....	53
Gambar 2.10 Model Kode OWAS	56
Gambar 2.11 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS	57
Gambar 2.12 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS.....	57
Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS.....	58
Gambar 2.14 Contoh Lembar Kerja RULA.....	60
Gambar 2.15 Diagram Alir Metode PEI	61
Gambar 2.16 Kendaraan Tempur Tank.....	66
Gambar 2.17 Kendaraan Tempur Pengangkut Personil Lapis Baja.....	67
Gambar 2.18 Kendaraan Tempur Infanteri	68
Gambar 2.19 Kendaraan Tempur Penghancur Tank.....	69
Gambar 2.20 Kendaraan Tempur Artileri Gerak Sendiri dan Mariam Serbu	70
Gambar 2.21 Back Lift dan Leg Lift.....	71
Gambar 2.22 Grafik Pengaruh <i>Mechanical Work VS Motion Time</i>	72
Gambar 3.1 Kendaraan Tempur <i>Infantry Fighting Vehicle (IFV)</i>	74
Gambar 3.2 Data Antropometri Persentil 95 (kiri) dan Persentil 5 (kanan)	74
Gambar 3.3 Tampilan Vicon Nexus 1.5.1.....	77
Gambar 3.4 Penempatan Frame Pintu.....	78
Gambar 3.5 Tampilan <i>Tab Calibration</i> pada Vicon Nexus	78
Gambar 3.6 Tampilan <i>Noise</i> yang Telah Ditutup	79
Gambar 3.7 Proses Kalibrasi dengan <i>Wand</i>	80
Gambar 3.8 Tampilan <i>Wand</i> pada Vicon Nexus.....	80
Gambar 3.9 Peletakan <i>L-Frame</i> pada Area Perekaman	81
Gambar 3.10 Tampilan Sebelum dan Sesudah proses <i>Set Volume Origin</i>	81
Gambar 3.11 Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia	83

Gambar 3.12 Ilustrasi <i>Tab Labelling</i>	84
Gambar 3.13 (a) Hasil Rekonstruksi (b) Hasil Rekonstruksi yang Telah Dinamai	84
Gambar 3.14 Tampilan <i>tab Capture</i>	85
Gambar 3.15 Model Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur	87
Gambar 3.16 Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan <i>Pipeline</i>	87
Gambar 3.17 Postur dengan <i>Display Segments</i>	88
Gambar 3.18 Postur dengan <i>Show Markers</i>	88
Gambar 3.19 Modul <i>LoadsAndWeights</i>	90
Gambar 4.1 Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 5	96
Gambar 4.2 Desain Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 95	96
Gambar 4.3 Grafik SSP dalam Keadaan Aktual dengan Persentil 95.....	97
Gambar 4.4 Grafik SSP dalam Keadaan Aktual dengan Persentil 5.....	97
Gambar 4.5 Grafik LBA dalam Keadaan Aktual dengan Persentil 5	98
Gambar 4.6 Grafik LBA dalam Keadaan Aktual dengan Persentil 95	99
Gambar 4.7 Hasil OWAS Desain Aktual <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Persentil 5.....	101
Gambar 4.8 Hasil OWAS Desain Aktual <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Persentil 95.....	101
Gambar 4.9 Hasil RULA Desain Aktual Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	103
Gambar 4.10 Hasil RULA Desain Aktual Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	104
Gambar 4.11 Desain Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 5.....	106
Gambar 4.12 Desain Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 95.....	106
Gambar 4.13 Hasil LBA Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	107
Gambar 4.14 Hasil LBA Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	107
Gambar 4.15 Hasil OWAS Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	108
Gambar 4.16 Hasil OWAS Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	109
Gambar 4.17 Hasil RULA Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	110
Gambar 4.18 Hasil RULA Konfigurasi 2 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	111
Gambar 4.19 Desain Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 5.....	113
Gambar 4.20 Desain Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 95.....	114
Gambar 4.21 Hasil LBA Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	114

Gambar 4.22 Hasil LBA Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	115
Gambar 4.23 Hasil OWAS Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	116
Gambar 4.24 Hasil OWAS Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	116
Gambar 4.25 Hasil RULA Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	117
Gambar 4.26 Hasil RULA Konfigurasi 3 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	118
Gambar 4.27 Desain Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 5.....	120
Gambar 4.28 Desain Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 95.....	121
Gambar 4.29 Hasil LBA Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	121
Gambar 4.30 Hasil LBA Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	122
Gambar 4.31 Hasil OWAS Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	122
Gambar 4.32 Hasil OWAS Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	123
Gambar 4.33 Hasil RULA Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	124
Gambar 4.34 Hasil RULA Konfigurasi 4 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	125
Gambar 4.35 Desain Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 5.....	127
Gambar 4.36 Desain Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 95.....	128
Gambar 4.37 Hasil LBA Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	128
Gambar 4.38 Hasil LBA Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	129
Gambar 4.39 Hasil OWAS Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	130
Gambar 4.40 Hasil OWAS Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	130
Gambar 4.41 Hasil RULA Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	131
Gambar 4.42 Hasil RULA Konfigurasi 5 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	132
Gambar 4.43 Desain Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 5.....	134
Gambar 4.44 Desain Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur Pada Persentil 95.....	135

Gambar 4.45 Hasil LBA Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	135
Gambar 4.46 Hasil LBA Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	136
Gambar 4.47 Hasil OWAS Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	137
Gambar 4.48 Hasil OWAS Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	137
Gambar 4.49 Hasil RULA Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 5	138
Gambar 4.50 Hasil RULA Konfigurasi 6 Pintu <i>Loading Dock</i> Kendaraan Tempur pada Persentil 95	139

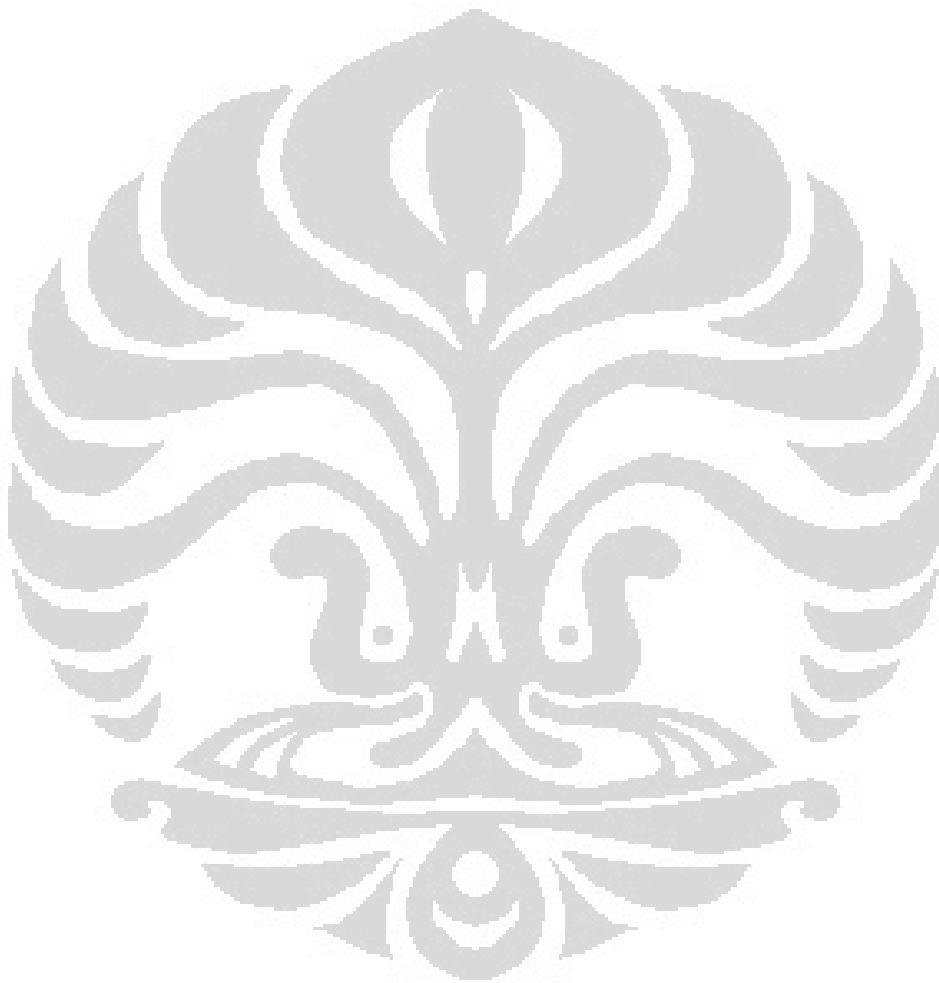


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definisi <i>Human Factors</i> dan Ergonomi.....	33
Tabel 2.2 Struktur Kategori Terminologi Ergonomi.....	33
Tabel 2.3 Detail Usulan Berdasarkan Skor OWAS	59
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Tentara	75
Tabel 3.2 Susunan <i>Markers</i> untuk <i>software</i> Jack.....	82
Tabel 3.3 Rekapitulasi Hasil Analisis TAT pada Software Jack 6.1	91
Tabel 3.4 Rekapitulasi Kalkulasi Nilai PEI untuk Persentil 5 dan 95 pada Back Lift dan Leg Lift.....	92
Tabel 3.5 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat	93
Tabel 4.1 Deskripsi Kode OWAS	100
Tabel 4.2 Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS	100
Tabel 4.3 Tabel Perbandingan Nilai LBA Setiap Konfigurasi	141
Tabel 4.4 Tabel Perbandingan Nilai OWAS Setiap Konfigurasi.....	141
Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Nilai RULA Setiap Konfigurasi	141
Tabel 4.6 Tabel Perbandingan Nilai PEI Setiap Konfigurasi	142
Tabel 4.7 Tabel Waktu Rata-Rata Simulasi Leg Lift pada 6 Konfigurasi	143

DAFTAR RUMUS

2.1 Prinsip Dasar SSP	51
2.2 Persamaan SSP	52
2.3 Standar <i>Lifting</i> NIOSH.....	54
2.4 Rumus <i>Postur Evaluation Index (PEI)</i>	64



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertahanan adalah Industri nasional (pemerintah maupun swasta) yang produknya baik secara sendiri maupun kelompok, termasuk jasa pemeliharaan dan perbaikan, atas penilaian pemerintah dapat dimanfaatkan untuk kepentingan pertahanan negara.

Industri pertahanan, juga disebut industri militer, terdiri dari pemerintah dan industri komersial yang terlibat dalam penelitian, pengembangan, produksi, dan pelayanan peralatan dan fasilitas militer. Industri pertahanan adalah sebagian dari tatanan industri nasional yang secara khusus memiliki kemampuan ataupun potensi yang dapat maupun dikembangkan untuk menghasilkan produk berupa sistem senjata, peralatan dan perlengkapan, dukungan administrasi/logistik ataupun jasa-jasa bagi kepentingan penyelenggaraan pertahanan negara

Industri senjata adalah industri global dan bisnis yang memproduksi dan menjual senjata dan teknologi militer dan peralatan. Perusahaan yang memproduksi senjata, juga disebut sebagai perusahaan atau industri pertahanan militer, terutama untuk memproduksi senjata angkatan bersenjata. Produk meliputi: senjata, amunisi, rudal, pesawat militer, kendaraan militer, kapal, sistem elektronik, dan banyak lagi. Industri senjata juga melakukan penelitian dan pengembangan yang signifikan

Salah satu karakteristik manusia adalah mereka selalu berusaha menciptakan sesuatu, baik alat atau benda lainnya untuk membantu kehidupan mereka. Untuk mewujudkan benda tersebut diperlukan suatu rancangan atau desain. Hal itu tidak dilakukan oleh masyarakat tradisional, pada masa lalu, dapat dikatakan tidak ada kegiatan penggambaran ataupun pemodelan sebelum kegiatan suatu benda dilakukan. Pada saat sekarang, pada masyarakat industri khususnya, kegiatan merancang dan pembuatan benda merupakan kegiatan yang terpisah. Proses pembuatan tidak akan berjalan baik sebelum kegiatan perancangan

diselesaikan. Dari hasil perancangan akan diketahui deskripsi dari benda yang akan dibuat. Hal ini akan sangat memudahkan proses pembuatannya, Maka dari itu, kegiatan perancangan adalah hal yang penting dan mutlak dilakukan sebelum proses produksi suatu benda. Menghasilkan produk sesuai dengan yang dibutuhkan manusia adalah hal yang ingin dicapai dari proses perancangan. Salah satu caranya adalah dengan merancang dengan berorientasi terhadap keinginan dan kebutuhan pelanggan.

Keinginan setiap manusia tersebut dibuat dalam perancangan produk melalui pengembangan secara komputer dan analisa teknik , yang dapat diproses secara teratur, penentuan waktu untuk mengkomsumsikannya, dan termasuk dalam memasarkannya. Perancangan produk berarti sudah termasuk didalamnya setiap aspek teknis dari produk, mulai dari pertukaran atau penggantian komponen dalam pembuatan, perakitan, pelayanan sampai pada kekurangannya. Sebuah produk seharusnya dikerjakan lebih dari operasi biasa untuk meningkatkan market place – nya, yaitu mempertimbangkan seluruh harga – harga , seluruh kelengkapan dan target segmen pasar yang terdiri dari dua elemen yaitu visualisasi dan fungsionalnya.

Disain produk baru merupakan hal yang sangat penting sekali bagi kelangsungan hidup sebagian besar perusahaan. Sementara beberapa perusahaan mengalami sedikit perubahan produk, sebagian besar perusahaan harus secara kontinu memperbaiki produk mereka. Keputusan tentang produk mempengaruhi keempat bidang pengambilan keputusan operasi, sehingga keputusan produk harus dikoordinasikan secara teliti dengan operasi untuk memastikan bahwa operasi diintegrasikan dengan desain produk. Melalui kerjasama yang teliti antara operasi dan pemasaran, strategi pasar dan produk dapat diintegrasikan dengan keputusan tentang proses, kapasitas, persediaan dan kualitas. Definisi produk adalah hasil dari pengembangan suatu strategi bisnis.

Desain produk merupakan prasyarat untuk produksi bersama dengan prakiraan volume produksi. Hasil keputusan desain produk ditransmisikan ke operasi spesifikasi produk. Spesifikasi ini merumuskan karakteristik produk dan memungkinkan pelaksanaan produksi.

Panser kanon adalah panser yang diproduksi oleh PT. Pindad. Panser ini mempunyai senjata yaitu turret anti kavaleri dengan kaliber 90 mm yang terletak di permukaan atas bagian belakang dari badan panser dan mempunyai 6 roda dengan tingkat ketahanan dari serangan yang lebih baik dari panser berstandar Nato level 2 produksi china dan India, panser kanon mempunyai standar Nato level 3 dan mulai menjelajah ke pasar ekspor di tahun 2009. Hanya peluru dengan kaliber tertentu saja yang bisa menembusnya dan itupun dari jarak yang tidak jauh.

Ketahanan dalam desain suatu kendaraan tempur memang suatu hal yang penting. Akan tetapi, kesehatan dan kenyamanan tentara yang menggunakan kendaraan tempur tersebut juga merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam pertahanan dan kekuatan militer terlebih lagi jika kendaraan tempur tersebut menempuh perjalanan yang cukup jauh dalam penggunaannya.

Gangguan kesehatan yang sering dikeluhkan oleh para pekerja di Indonesia berdasarkan hasil studi Departemen Kesehatan Republik Indonesia pada tahun 2005 tentang masalah kesehatan pekerja adalah gangguan muskuloskeletal yaitu gangguan pada otot dan tulang yang sering mengakibatkan *motion injury* (kecelakaan akibat aktivitas pergerakan) seperti nyeri sendi dan otot. Gangguan muskuloskeletal diakibatkan karena gerak janggal dengan sendi dan otot statis yang dilakukan oleh pekerja. Waktu istirahat yang kurang juga seringkali menimbulkan gangguan ini pada pekerja. Karena dalam pekerjaannya anggota militer banyak sekali melakukan *motion* (pergerakan), maka gangguan muskuloskeletal ini juga banyak menimpa anggota militer.

Ilmu teknik industri adalah ilmu yang mempelajari tentang sistem yang terintegrasi. Dalam keilmuan teknik industri terdapat pengetahuan tentang perancangan, peningkatan dan instalasi akan sebuah sistem terintegrasi dengan memperhatikan aspek-aspek seperti manusia, material, peralatan dan energi. Secara garis besar yang menjadi *output* dari ilmu teknik industri adalah peningkatan nilai tambah pada produk baik barang maupun jasa. Ergonomi adalah salah satu ilmu dalam keilmuan teknik industri yang mempunyai peran yang sangat penting dalam meningkatkan nilai tambah karena salah satu fokus ilmu

ergonomi adalah mengkaji tingkah laku manusia dalam interaksi mereka dengan peralatan di dalam aktivitas yang dilakukan dalam pekerjaan manusia tersebut.

Sasaran dari sebuah penelitian ergonomi adalah pekerjaan yang bisa sesuai dengan kondisi tubuh manusia, karena ilmu ergonomi mempunyai kaitan yang erat antara manusia ketika bekerja dan berinteraksi dengan suatu alat dalam lingkungannya.

Ilmu ergonomi mempunyai berbagai macam ruang lingkup dan salah satunya adalah desain (perancangan). Desain yang mengikuti kaidah dalam ilmu ergonomi akan membuat suatu pekerjaan menjadi lebih mudah, lebih nyaman dan tentunya lebih cepat untuk diselesaikan. Hal ini sesuai dengan definisi ilmu ergonomi untuk menyesuaikan sebuah pekerjaan ke pekerjanya.

Sesuai dengan definisi ergonomi diatas tadi, ilmu ergonomi adalah ilmu yang dapat diaplikasikan kedalam berbagai macam bidang pekerjaan. Salah satunya adalah bidang militer. Tentara merupakan bagian paling penting dari pertahanan dan kekuatan militer. Unsur paling utama adalah personel pembawa senjata atau pasukan infanteri. Kendati demikian, tentara mesti didukung oleh alat angkut personel taktis yakni kavaleri dalam penyerangan, penyergapan, pengintaian, maupun penyusupan. Alat tersebut saat ini umum dipakai sebagai sebutan untuk kekuatan tempur darat kendaraan belapis baja.

Analisis aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap kendaraan tempur meliputi desain pintu *loading dock* ke ruang amunisi. Nilai ergonomis dari desain pintu ammunition *loading dock* kendaraan tempur yang di teliti dapat diketahui dengan menganalisis evaluasi postur dan gerakan seseorang saat memasukkan (shipping) cartridge berisi peluru dengan kaliber 90 mm untuk turret anti kavaleri melalui pintu *loading dock* pada kendaraan tempur ke ruang amunisi dalam kendaraan tempur tersebut. Postur dan gerakan penumpang ketika memasukkan peluru turret 90 mm anti kavaleri melalui pintu *loading dock* memiliki kaitan dengan tingkat kesehatan dan keamanan saat seorang tentara melakukan pekerjaan tersebut sehingga dapat mengurangi gangguan muskuloskeletal pada personil

tentara yang akan memasukkan peluru turret 90 mm anti kavaleri melalui pintu *loading dock* pada kendaraan tempur tersebut.

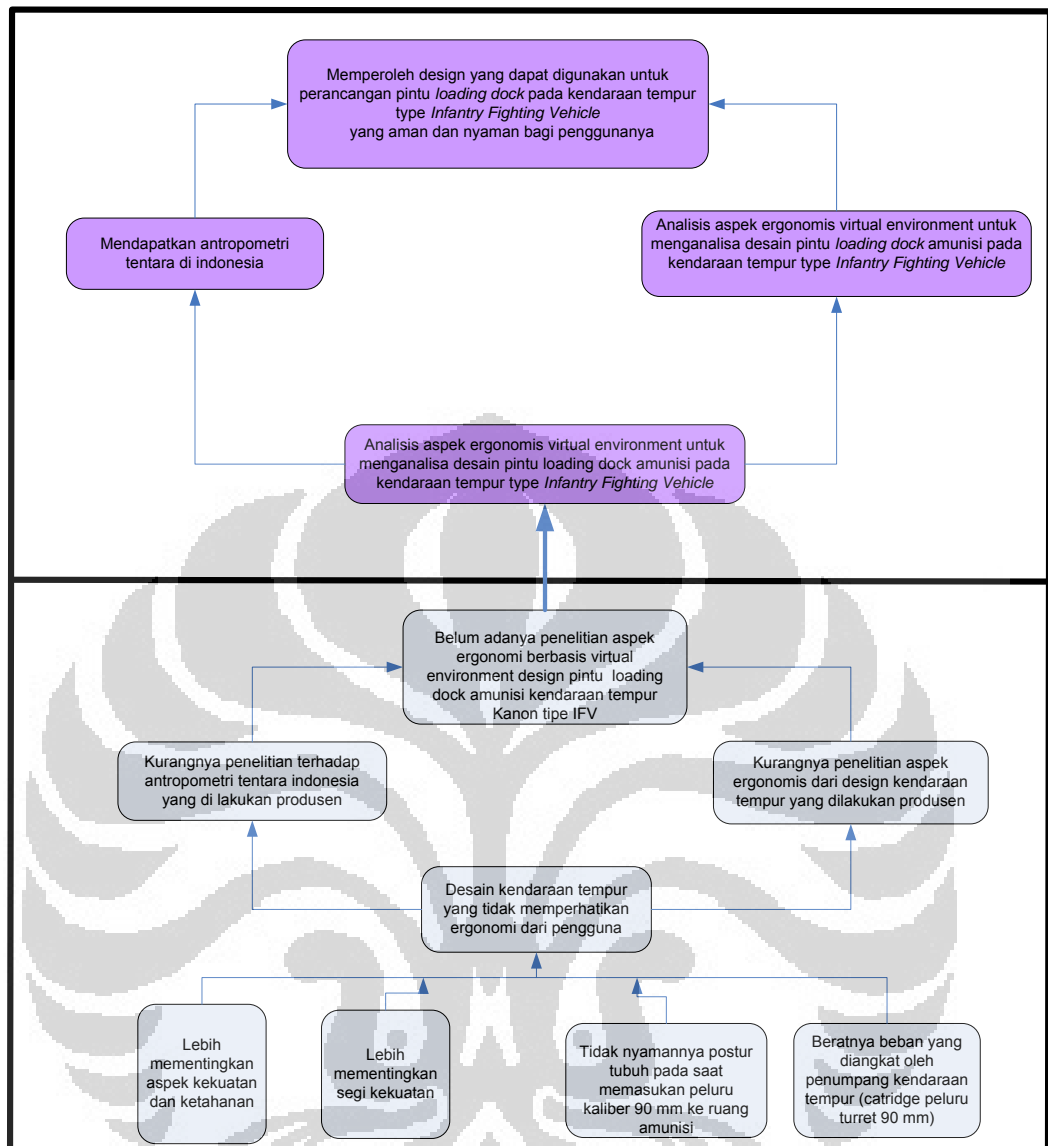
Analisis ergonomi dilakukan menggunakan sebuah *software digital human modeling and simulation* bernama Jack versi 6.2.1 digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan interaksi manusia dengan alat kerja yang dipakai serta lingkungan dimana pekerja itu melakukan aktivitasnya dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* untuk pengkajian pekerjaan yang dilakukan dan *Occupant Packaging Toolkit* yang lebih fokus kepada pekerjaannya. *Software* Jack ini kemudian dihubungkan dengan peralatan perekaman gerakan bernama *Vicon Motion Capture System* untuk mendapatkan data gerakan-gerakan yang dilakukan dalam pekerjaan ini. Hasil analisis yang dikeluarkan bisa dijadikan sebagai bahan kesimpulan untuk lingkungan atau alat kerja yang dimodelkan.

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan yang disebut *Posture Evaluation Index* (PEI) yang bertujuan untuk menghitung tingkat kenyamanan postur tubuh manusia yang dimodelkan dalam *software* Jack 6.1. Sedangkan, Untuk mengetahui ergonomis atau tidaknya gerakan-gerakan yang dilakukan akan digunakan *Vicon Bodybuilder* pada *Motion Capture*.

Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat dihasilkan suatu desain pintu *loading dock* kendaraan tempur yang ergonomis.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Diagram Keterkaitan Masalah ini bertujuan untuk melihat interaksi antara sub-permasalahan dan berhubungan antara satu sama lainnya untuk mengetahui gambaran penuh dari permasalahan yang ada di dalam penelitian ini. Berdasarkan latar belakang di atas dibuat diagram keterkaitan masalah seperti pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang timbul berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dibahas diatas adalah belum adanya penelitian tentang aspek ergonomi dari desain pintu *loading dock* amunisi kendaraan tempur, maka dari itu dilakukan analisis aspek ergonomi terhadap desain pintu *loading dock* kendaraan tempur tipe *kanon 90 mm*.

1.4 TUJUAN MASALAH

Tujuan dari penelitian ini adalah suatu desain pintu *loading dock* amunisi dengan mengikuti kaidah ergonomi dan memenuhi standar ergonomi. Desain yang ergonomis akan memberikan keamanan kepada penggunanya yang dalam penelitian ini adalah tentara yang mengangkat satu cartridge peluru turret 90 mm anti kavaleri pada kendaraan tempur. Tujuan ini akan dicapai dengan menggunakan analisis aspek ergonomis yang ada di dalam *software* simulasi model manusia berbasis *virtual environment*.

1.5 Batasan Masalah

Agar pelaksanaan dan hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian, penulis melakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah kendaraan tempur *kanon 90 mm* yang digunakan di Indonesia.
2. Data antropometri yang digunakan merupakan data antropometri pria Asia yang terdapat pada *software* Jack 6.1.
3. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa desain pintu *loading dock* kendaraan tempur tipe *kanon 90 mm* yang merupakan analisis dengan menggunakan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment* berdasarkan data-data observasi langsung di lapangan dan di laboratorium.
4. Permodelan menggunakan *software* Jack 6.1.
5. Pengambilan data gerakan menggunakan perangkat *Vicon Motion Capture System* yang baru dikembangkan di Laboratorium Faktor-faktor Manusia Departemen Teknik Industri UI. Dengan perangkat ini, semua gerakan tubuh subjek dapat direkam sehingga data pergerakan yang direkam mendekati kondisi yang sebenarnya.

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut. Secara umum, tahapan-tahapan metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pendahuluan
 - a. Menentukan tema dan topik penelitian.
 - b. Melakukan penelitian awal ke objek penelitian untuk mendapatkan gambaran masalah secara keseluruhan
 - c. Merumuskan permasalahan dan tujuan penelitian.
2. Landasan Teori

Setelah menentukan topik penelitian, penulis mencari berbagai jurnal dan buku panduan untuk memahami dasar teori sesuai dengan topik penelitian yang telah ditentukan. Dasar-dasar teori yang dipelajari adalah:

 - a. Dasar-dasar perancangan penelitian
 - b. Ergonomi
 - c. Prinsip penelitian ergonomi dengan *virtual environment*
 - d. Metode *Posture Evaluation Index*
 - e. Analisis ergonomi dengan LBA, OWAS, dan RULA
3. Persiapan Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi variabel apa saja yang diperlukan dan bagaimana data akan dikumpulkan
4. Pengumpulan Data

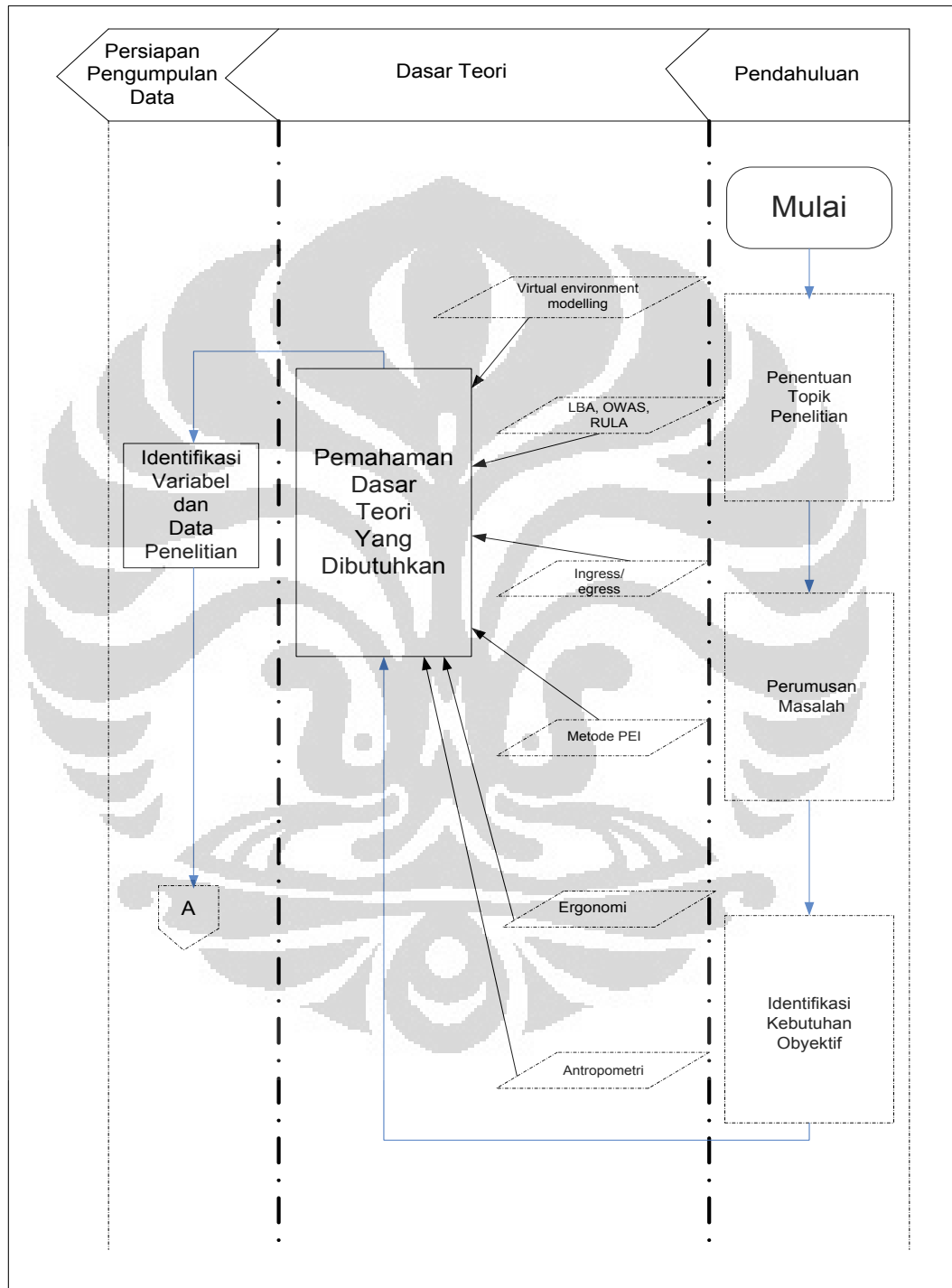
Pada tahap ini dilakukan pengukuran spesifikasi pintu *loading dock* yang digunakan, serta mengumpulkan data antropometri tentara.
5. Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan metode *virtual environment modeling* dan dengan bantuan *software jack* serta *software* lain yang berkaitan dengan desain.
6. Analisis data

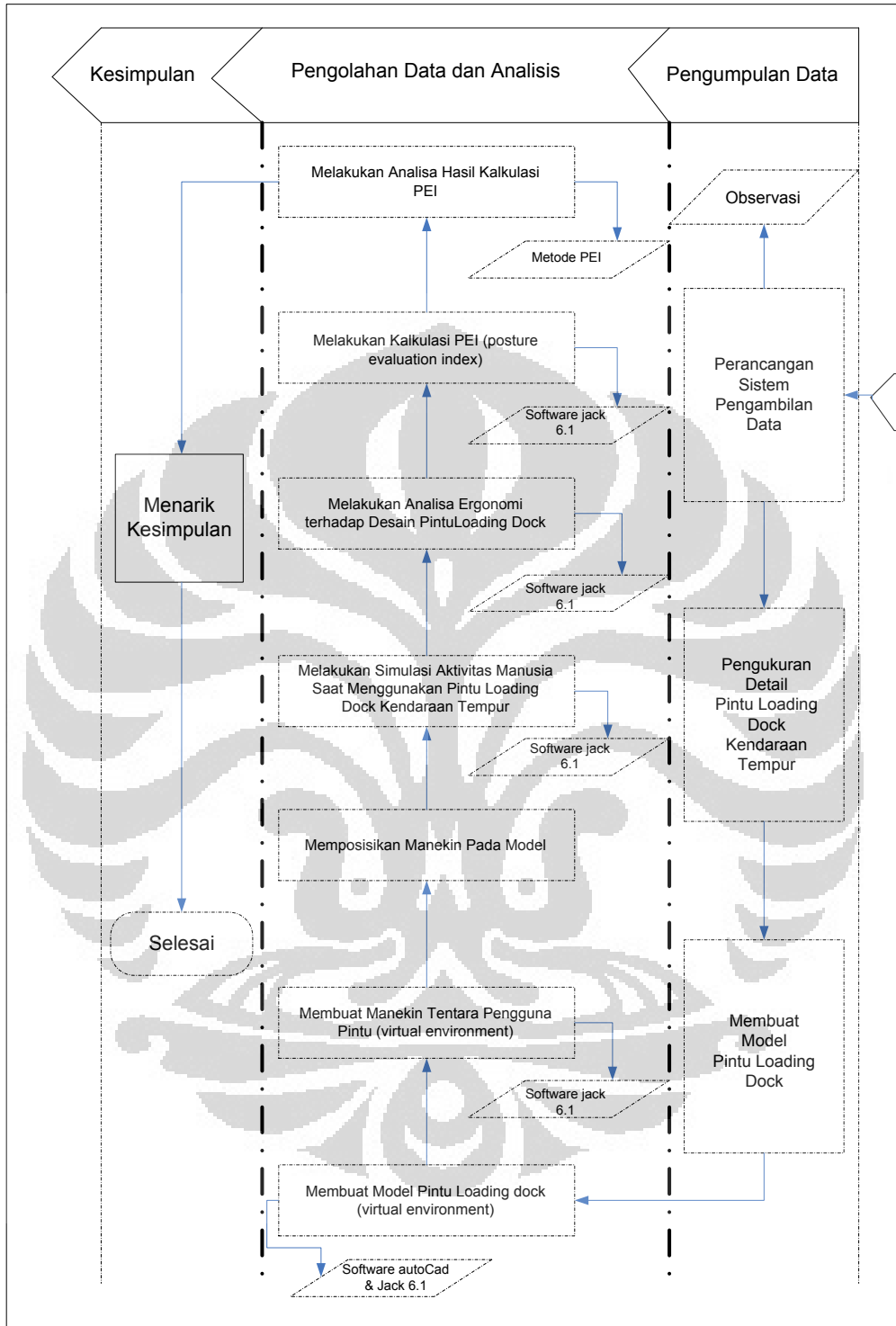
Setelah mengolah data maka selanjutnya adalah menganalisis data yang telah didapat dan dioalah tersebut sehingga dapat dilihat apakah tempat kerja tersebut cukup baik dan ergonomis.
7. Kesimpulan dan saran

Dalam tahapan ini akan dihasilkan kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian, serta saran dan masukan yang berguna untuk pihak perusahaan.

1.7 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.8 Sistematika Penulisan

Untuk dapat menuangkan hasil penelitian ke dalam bentuk penulisan yang teratur dan sistematis, maka laporan penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab.

Bab 1 adalah pendahuluan yang terdiri dari latar belakang penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 merupakan dasar teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Bagian ini berisi teori-teori seperti dasar dalam *virtual environment modelling*, metode *posture evaluation index*, gerakan-gerakan ingress/egress, dasar-dasar ergonomi dan metode evaluasi dalam bidang antropometri seperti LBA (*lower back analysis*), OWAS (*Ovako Working Posture Analysis*) dan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*)

Bab 3 adalah bab pengumpulan data dan perancangan model. Pada bab ini akan dibahas mengenai berbagai data yang dikumpulkan selama penelitian berlangsung, seperti data ukuran pintu *loading dock* kendaraan tempur serta perancangan model berdasarkan data yang ada dengan menggunakan *software Jack*.

Bab 4 adalah bab analisis yang menjelaskan mengenai analisis dari perancangan model yang dibuat sesuai dengan beberapa konfigurasi. Ada 6 konfigurasi yang kan dibuat oleh peneliti dan konfigurasi yang terbaik adalah konfigurasi dengan nilai PEI yang paling rendah dan dengan waktu simulasi yang paling singkat. Berdasarkan analisis yang dilakukan, maka dibuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

Bab 5 merupakan kesimpulan dan saran dari keseluruhan penelitian ini. Kesimpulan yang diambil meliputi data ergonomis pergerakan ingress/egress penumpang kendaraan tempur serta design pintu *loading dock* amunisi kendaraan tempur sesuai dengan tujuan penelitian ini.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Ergonomi

2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi

Kata „ergonomi“ berasal dari dua buah kata dalam bahasa Yunani, yaitu *ergon* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti hukum. Ergonomi adalah suatu kajian terhadap interaksi antara manusia dengan mesin yang digunakannya, beserta faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi tersebut. Tujuan dari kajian ergonomi adalah untuk meningkatkan performa dari sistem dengan meningkatkan kualitas hubungan antara manusia dengan mesin yang digunakan. Menurut Bridger, R.S., (2003), 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*). Implementasi ilmu ergonomi dalam desain sistem seharusnya membuat suatu sistem bekerja lebih baik dengan mengeliminasi aspek-aspek yang tidak diinginkan, tidak terkontrol, dan tidak terukur, seperti:

- Ketidakefisienan,
- Kecelakaan, cedera, dan kesalahan,
- Kesulitan dalam penggunaan, dan
- Moral yang rendah dan apatisisme.

Menurut International Ergonomics Association (2000), ergonomi dapat didefinisikan sebagai disiplin ilmu yang menaruh perhatian kepada interaksi antara manusia dengan elemen – elemen lainnya dalam suatu sistem dan profesi yang menggunakan teori, prinsip – prinsip, data dan metode untuk mendesain sebuah perancangan yang bertujuan untuk mengoptimasikan kesejahteraan manusia dan kinerja sistem secara keseluruhan. Lebih lanjut lagi, IEA

menjelaskan ergonomi sebagai ilmu yang berkontribusi pada desain dan evaluasi sebuah pekerjaan, tugas, produk, lingkungan dan sistem dalam rangka membuat hal – hal tersebut sepadan dengan kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan manusia. Sedangkan McCormick (1993) dalam bukunya menggunakan istilah *human factors* untuk mengistilahkan ergonomi, dan mengatakan ergonomi dapat didefinisikan berdasarkan hal-hal dibawah ini :

1. Fokus dari *human factors* adalah pada interaksi manusia dengan produk, perlengkapan, fasilitas, prosedur, dan lingkungan yang digunakannya dalam bekerja dan dalam kehidupan sehari-hari.
2. Tujuan dari *human factors* ada dua yaitu meningkatkan keefektifan dan keefisienan ditempat bekerja dan aktivitas lain yang dilakukan, sedangkan tujuan yang lain adalah untuk meningkatkan keselamatan kerja, kepuasan kerja, serta kualitas hidup manusia.
3. Pendekatan dari *human factors* adalah pendekatan aplikasi sistematis dari informasi yang berhubungan dengan kapasitas manusia, batasan, karakteristik, perilaku, motivasi untuk mendesain benda dan lingkungan yang digunakan oleh mereka (manusia). Hal ini termasuk penelitian investigasi untuk melihat informasi antara manusia dengan lingkungan, dan benda-benda disekitarnya.

Menurut Mark Sanders. S dan Ernest J McCormick,(1993), istilah *human factors* lebih sering digunakan di Amerika Serikat dan beberapa negara lain, sementara istilah ergonomi lebih sering digunakan di negara-negara eropa. Selain *human factors*, beberapa istilah lain yang memiliki definisi dan konteks serupa antara lain *human engineering* dan *engineering psychology*.

Ergonomi merupakan suatu cabang ilmu yang mempelajari sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia, dimana secara hakiki akan berhubungan dengan segala aktivitas manusia yang dilakukan untuk menunjukkan performansinya yang terbaik (Sutalaksana,2006). Sementara itu pada Agustus 2000, *the International Ergonomics Association Executive Council* mendefinisikan ergonomi sebagai suatu disiplin ilmu *scientific* yang mempelajari interaksi antara manusia dengan elemen lain dalam sebuah sistem dan pekerjaan yang mengaplikasikan teori, prinsip, data dan metode untuk merancang suatu

desain yang optimal bagi manusia dan kinerja sistem secara umum. Tabel 2.1 di bawah ini menunjukkan beberapa definisi lain tentang ergonomi.

Tabel 2.1 Definisi *Human Factors* dan Ergonomi

Author	Definition of Human Factors and Ergonomics
Murrell, 1965	...the scientific study of the relationship between man and his working environment. In this sense, the term environment is taken to cover not only the ambient environment in which he may work but also his tools and materials, his methods of work and the organization of the work, either as an individual or within a working group. All these are related to the nature of man himself; to his abilities, capacities and limitations.
Grandjean, 1980	...is a study of man's behavior in relation to his work. The object of this research is man at work in relation to his spatial environment...the most important principle of ergonomics: Fitting the task to the man. Ergonomics is interdisciplinarian: it bases its theories on physiology, psychology, anthropometry, and various aspects of engineering.
Meister, 1989	...is the study of how humans accomplish work-related tasks in the context of human-machine system operation and how behavioral and nonbehavioral variables affect that accomplishment.
Sanders and McCormick, 1993	...discovers and applies information about human behavior, abilities, limitations, and other characteristics to the design of tools, machines, tasks, jobs, and environments for productive, safe, comfortable, and effective human use.
Hancock, 1997	...is that branch of science which seeks to turn human-machine antagonism into human-machine synergy.

Sumber: Dempsey, P.G., Wolgalter, M.S., and Hancock, P.A., 2000

Berikut ini merupakan pendekatan ini dilakukan dengan cara mengkategorikan struktur sederhana yang menjelaskan tentang ergonomi ke dalam bentuk *who*, *what*, *how*, *when/where*, dan *goal*.

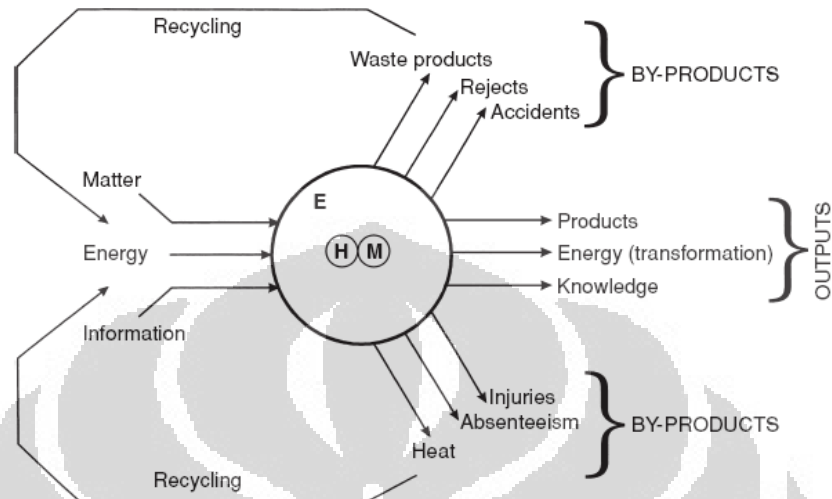
Tabel 2.2 Struktur Kategori Terminologi Ergonomi

Who	What	How	When/Where	Goal
Human	System	Engineering	Environment	Safety
People	Machine	Designing	Work	Comfort
Users	Equipment	Applying	Life	Efficiency
Person	Product technology	Studying optimizing		

Sumber: Karwowski, 2006

Fokus kajian dari ilmu ergonomi adalah interaksi antara manusia dengan mesin yang digunakan dan antar muka diantara keduanya. Ketika manusia

berinteraksi dengan mesin, manusia tersebut berinteraksi melalui sebuah antar muka. Umpan balik (*feedback*) yang didapat juga diterima melalui antar muka.



Gambar 2.1 Sistem Kerja Sederhana. Manusia berinteraksi dengan mesin untuk mengubah input menjadi output. (E=*local environment*, H=*human*, M=*machine*).

Sumber: Bridger, 2003

2.1.2 Ergonomi dan Desain Produk

Produk-produk yang dihasilkan oleh perusahaan, pada dasarnya merupakan perwujudan terhadap pemenuhan keinginan manusia (*customers needs*) sebagai konsumen. Dalam menciptakan suatu desain produk yang sesuai dengan keinginan konsumen, banyak kendala dan hambatan (*constrains*) yang dihadapi, seperti bervariasinya keinginan konsumen, belum tersedianya teknologi (kalaupun ada masih relatif mahal), persaingan yang ketat antar perusahaan, dan sebagainya. Terlepas dari kendala tersebut, seorang desainer harus menetapkan bahwa konsep ergonomi harus dijadikan sebagai kerangka dasar dalam pengembangan desain produk sebagai kunci keberhasilan, sedangkan atribut dan karakteristik lainnya dapat mengikuti sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan yang ada.

Dalam aplikasi ergonomi, secara ideal dapat diterapkan “*to fit the job to the man*” dalam perancangan sistem kerja begitu juga dalam pengembangan desain produk (Bridger, 1995; Kroemer, 200; Pulat, 1992), sehingga desain

produk yang dihasilkan diharapkan akan memenuhi keinginan konsumen dan diharapkan memiliki nilai tambah, dimana manfaat (*tangible & intangible benefits*) yang akan dirasakan konsumen memiliki totalitas manfaat yang lebih dibandingkan biaya pengorbanan yang harus dikeluarkan. Dengan demikian, desain produk tersebut telah memiliki *superior customer value* dibandingkan pesaingnya (Kotler & Amstrong, 2006). Keunggulan bersaing harus diciptakan sejak desain produk dan diwujudkan dengan produk jadi (*finished goods*) sebagai indikator performansi nyata (*tangible*) yang akan dilihat dan dirasakan oleh konsumen. Penilaian konsumen terhadap produk merupakan perwujudan tingkat performansi dari produk yang dihasilkan perusahaan (Kotler & Keller, 2006), apakah konsumen akan merasakan puas (*satisfied*)-jika performansi produk sesuai dengan harapan dari keinginan konsumen, atau tidak puas (*dissatisfied*)-jika performansi produk dibawah harapan dari keinginan konsumen, atau sangat puas (*delighted*)-jika performansi produk melebihi harapannya. Konsep ergonomi harus juga dijadikan sebagai kerangka dasar dalam perancangan *control device* dari sebuah mesin sehingga diharapkan operator dapat mengoperasikan mesin tersebut secara benar dan dapat mengurangi kecelakaan kerja. Sebagaimana dijelaskan oleh Sanders & McCormick (1993) bahwa terdapat beberapa jenis *control device*, seperti *hand control*, *foot control* dan *data entry devices*. Jenis *foot control* dapat mempengaruhi postur dari operator sehingga perancangan dari jenis ini harus didasarkan beberapa aspek, seperti lokasi engsel pedal, sudut telapak kaki dengan betis, dan peletakan pedal tersebut terhadap operator. Dengan demikian, diperlukan konsiderasi ergonomi pada desain produk sehingga kegunaan dan pemakaian produk tersebut sudah sesuai dengan faktor manusia dari penggunaannya.

2.2 Antropometri

2.2.1 Definisi Antropometri

Secara etimologis, istilah antropometri berasal dari bahasa Yunani, yaitu *antropos* yang berarti manusia, dan *metron* yang berarti ukuran. Sehingga bisa dikatakan, antropometri adalah studi tentang ukuran tubuh manusia. Manusia mempunyai ukuran dan bentuk tubuh yang berbeda-beda. Ilmu teknik yang

menggunakan informasi yang telah ada dan perkembangan informasi yang baru tentang ukuran tubuh manusia disebut ilmu antropometri. Penelitian awal tentang ukuran tubuh manusia dilakukan akhir abad 14. Data antropometri yang cukup lengkap dihasilkan pada awal tahun 1800. Metode-metode pengukuran distandarisasikan beberapa kali yang dilakukan pada awal sampai pertengahan abad 20. Standarisasi yang paling baru muncul pada tahun 1980-an yang dikeluarkan oleh *Internasional Standart Organization (ISO)*. Metode-metode pengukuran standart mengasumsikan tentang ukuran postur tubuh dan batas-batas penggunaannya. Pelaksanaan penelitian untuk penggunaan ilmu teknik hanya dilakukan untuk kepentingan militer. Pengertian antropometri menurut Stevenson (1989) dan Eko Nurmianto (1991) adalah suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia 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. Maka perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangan tersebut. Secara umum sekurang-kurangnya 90% - 95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakannya dengan selayaknya. Pada dasarnya peralatan kerja yang dibuat dengan mengambil referensi dimensi tubuh tertentu jarang sekali bisa mengakomodasi seluruh range ukuran tubuh dari populasi yang akan memakainya. Survey antropometri dalam skala besar menghabiskan waktu dan biaya. Ada sebuah metode alternatif yang dapat digunakan yaitu dengan mengerjakan survey khusus untuk memperoleh dimensi pokok. Lalu dimensi lain dihasilkan dari dimensi pokok ini dengan menggunakan prosedur statistik. Biasanya metode ini tidak dapat menghasilkan data yang akurat, akan tetapi metode ini akan menjadi cukup akurat untuk beberapa pelaksanaan praktek tertentu. Aplikasi utama dari penerapan data antropometri adalah :

- Desain lingkup kerja
- Desain lingkungan
- Desain peralatan, perlengkapan mesin

- Desain produk konsumen

2.2.2 Variabilitas Manusia

Manusia mempunyai ukuran-ukuran tubuh yang berbeda-beda. Perbedaan etnis, suku dan bangsa mempunyai cirri-ciri psikologi yang membuat mereka berbeda beda satu sama lain. Perbedaan bahkan muncul dalam kelompok yang sama menurut karakteristik dari gen yang dimiliki. Perbedaan antara satu populasi dengan populasi yang lain adalah dikarenakan oleh factor-faktor yang mempengaruhi dimensi tubuh. Para perancang harus mempertimbangkan factor-faktor tersebut dan menyesuaikan rancangan dengan faktor tersebut. Faktor-faktor yang paling penting adalah :

a. Usia

Secara umum dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar – seiring dengan bertambahnya umur – yaitu sejak awal kelahiran sampai dengan umur 20 tahunan. Dari penelitian yang dilakukan oleh A.F. Roche dan G.H. Davila (1972) dalam I Wayan Darma (2004) di USA diperoleh kesimpulan bahwa laki-laki akan tumbuh dan berkembang naik sampai dengan usia 21.2 tahun, sedangkan wanita 17.3 tahun; meskipun ada sekitar 10% yang masih terus bertambah tinggi sampai usia 23.5 tahun (laki-laki) dan wanita 21.1 tahun (wanita). Setelah itu, tidak lagi akan terjadi pertumbuhan justru akan cenderung berubah menjadi penurunan ataupun penyusutan yang dimulai sekitar umur 40 tahunan.

b. Jenis kelamin

Secara distribusi statistik ada perbedaan yang signifikan antara dimensi tubuh pria dan wanita. Untuk kebanyakan dimensi pria dan wanita ada perbedaan yang signifikan diantara rata-rata dan nilai perbedaan ini tidak dapat diabaikan begitu saja. Pria dianggap lebih panjang dimensi segmen badannya dari pada wanita kecuali didaerah pinggul dan paha. Lipatan kulit wanita juga lebih besar dari lipatan kulit pria. Oleh karenanya data antropometri untuk kedua jenis kelamin tersebut selalu disajikan secara terpisah.

c. Posisi Tubuh (*Posture*)

Sikap (*posture*) ataupun posisi tubuh akan berpengaruh terhadap ukuran tubuh oleh sebab itu, posisi tubuh standar harus diterapkan untuk survei pengukuran.

d. Cacat Tubuh

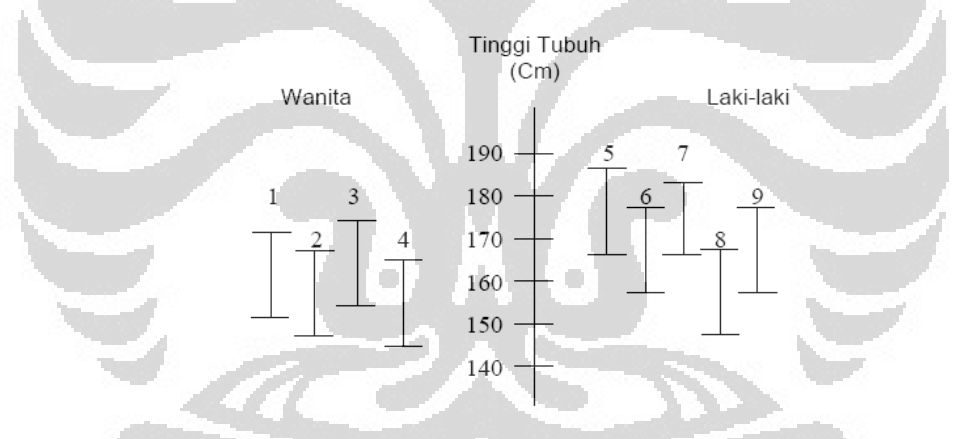
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki/tangan palsu, dan lain-lain).

e. Tebal/Tipisnya Pakaian

Faktor iklim yang berbeda akan memberikan variasi yang berbeda pula dalam bentuk rancangan dan spesifikasi pakaian. Dengan demikian dimensi tubuh orang pun akan berbeda dari satu tempat dengan tempat yang lainnya.

f. Suku bangsa

Suku / bangsa (*ethnic*). Setiap suku, bangsa ataupun kelompok etnik akan memiliki karakteristik fisik yang akan berbeda satu dengan yang lainnya. Gambar 2.2 berikut menunjukkan perbedaan dimensi ukuran (tinggi) dari berbagai macam suku bangsa (persentil 5 dan 95) tertentu.



Gambar 2.2 Perbedaan Tinggi Tubuh Manusia Dalam Posisi Berdiri Tegak Untuk Berbagai Suku Bangsa

Catatan :

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Amerika | 6. Italia (militer) |
| 2. Inggris | 7. Perancis (militer) |
| 3. Swedia | 8. Jepang (militer) |
| 4. Jepang | 9. Turki (militer) |
| 5. Amerika (pilot) | |

g. Kehamilan

Kehamilan (*pregnancy*), dimana kondisi semacam ini jelas akan mempengaruhi bentuk dan ukuran tubuh (khusus perempuan). Hal tersebut jelas memerlukan perhatian khusus terhadap produk-produk yang dirancang bagi segmentasi produk ini.

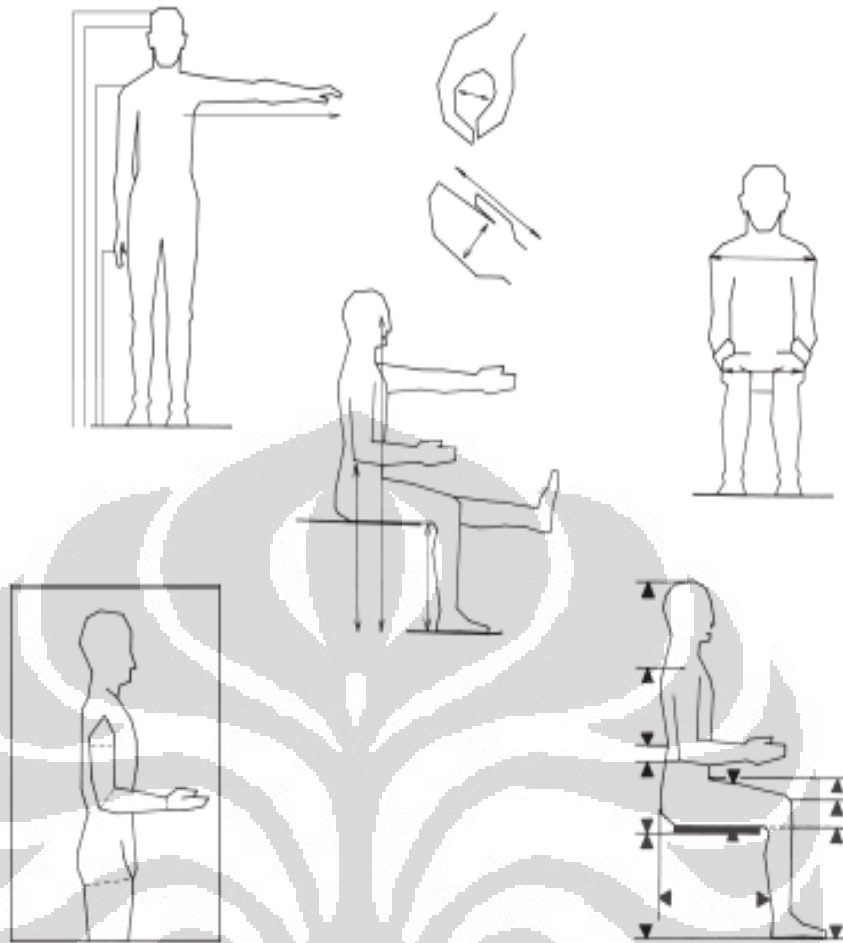
Akhirnya, sekalipun segmentasi dari populasi yang ingin dituju dari rancangan suatu produk selalu berhasil diidentifikasi sebaik-baiknya berdasarkan faktor-faktor seperti yang telah diuraikan; namun adanya variasi ukuran bukan tidak mungkin bisa tetap dijumpai. Permasalahan variasi ukuran sebenarnya akan mudah diatasi dengan cara merancang produk (*adjustable*) dalam suatu rentang dimensi ukuran pemakaiannya.

2.2.3 Data Antropometri

Data antropometri, menurut Bridger (1995), memiliki tiga tipe yaitu:

- Data Antropometri Struktural

Data antropometri structural merupakan data antropometri yang didapatkan melalui pengukuran ketika subjek yang diukur berada dalam posisi diam (statis). Pengukuran dimensi tubuh manusia pada data antropometri structural dilakukan dengan cara menghitung jarak dari suatu titik dalam anatomi tubuh manusia terhadap satu titik yang berada dalam permukaan yang tetap. Pengukuran data antropometri structural dapat dilakukan ketika subjek berdiri maupun duduk, asalkan subjek berada dalam posisi yang statis tidak bergerak. Hasil rekapitulasi pengukuran ini berupa data antropometri yang diklasifikasikan dalam persentil tertentu. Lazimnya, persentil yang digunakan adalah persentil 5, persentil 50 dan persentil 95. Data antropometri structural memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah ketika mengaplikasikan data antropometri structural yang bersifat statis ke dalam penyelesaian suatu desain yang melibatkan gerakan. Contoh data antropometri structural dapat dilihat pada gambar 2.3.

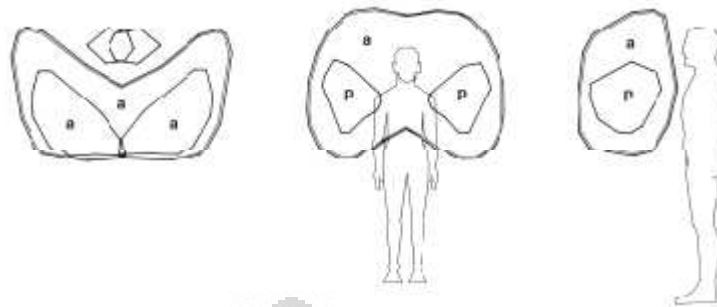


Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural

Sumber : Bridger.R.S,*Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, p.64

- **Data Antropometri Fungsional**

Data antropometri fungsional dikumpulkan untuk menggambarkan gerakan bagian tubuh terhadap titik posisi yang tetap, seperti misalnya area jangkauan tangan. Daerah yang berada dalam jangkauan tangan disebut zona jangkauan maksimum, atau dalam hal ini menggunakan istilah “working envelopes”. Berbeda dengan data antropometri structural yang diukur dalam keadaan statis, data antropometri fungsional diukur ketika subjek yang diukur melakukan gerakan – gerakan tertentu yang berkaitan dengan kegiatan yang harus dilakukan. Contoh data antropometri fungsional dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Data Antropometri Fungsional

Bridger.R.S,*Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995,
p.69

- Data Antropometri Newtonian

Tubuh manusia terdiri dari berbagai macam segmen yang memiliki panjang dan massa yang berbeda – beda. Panjang dan massa segmen – segmen tersebut memiliki ukuran masing – masing dan terangkai menjadi satu kesatuan. Panjang dan massa tersebut berhubungan dengan beban yang diterima oleh masing – masing segmen. Untuk mengukur dan membandingkan beban ditanggung suatu segmen digunakanlah data antropometri Newtonian.

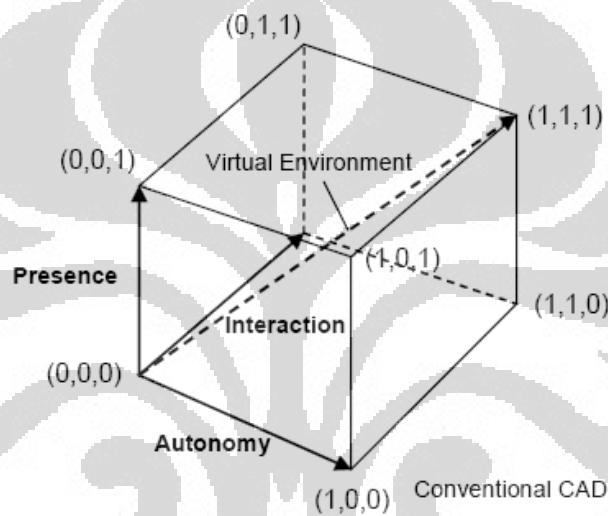
2.2.4 Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan

Untuk penetapan data antropometri ini, pemakaian distribusi normal dapat diformulasikan berdasarkan nilai mean (rata-rata) dan standar deviasi (SD). Dari nilai yang ada tersebut maka persentil dapat ditetapkan. Persentil adalah suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu dari sekelompok orang yang dimensinya sama dengan atau lebih rendah dari nilai tersebut. Misalnya : 95% populasi adalah sama dengan atau lebih rendah dari 95 persentil ; 5% dari populasi berada sama dengan atau lebih rendah dari 5 persentil. Besarnya nilai persentil dapat ditentukan dari tabel probabilitas distribusi normal.

2.3 *Virtual Environment*

Menurut Kalawsky, R. (1993a), *Virtual environment* (VE) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu

representasi yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis sesuai dengan keadaan lingkungan nyata. Kalawsky juga membicarakan tentang istilah *Virtual Reality* yang pertama kali diperkenalkan Jaron Lanier. Konsep ini merupakan konsep yang sama maknanya dengan *virtual environment*, tetapi lebih dikenal oleh publik. Menurut Zeltzer, D. (1992), dalam *virtual reality* terdapat tiga buah komponen; otonomi, keberadaan, dan interaksi yang kesemuanya berada pada nilai maksimalnya dalam kubus Zelter. Gambar 2.5 di bawah menunjukkan dimensi dari *virtual reality*.



Gambar 2.5 Kubus Zelter untuk Konsep *Virtual Reality*

Sumber: Kalawsky, 1993

Zelter menyatakan bahwa:

- Otonomi (O) mengacu pada ukuran kualitatif dari kemampuan objek virtual untuk bereaksi terhadap stimulus. Nilai 0 muncul ketika tidak ada reaksi yang timbul dan nilai 1 muncul jika otonomi berada dalam kondisi maksimal.
- Interaksi (I) mengacu pada tingkat aksesibilitas ke parameter atau variabel pada objek. Nilai 0 diberikan pada kontrol variabel yang tidak dilakukan secara langsung. Nilai 1 diberikan jika variabel yang ada bisa dimanipulasi secara langsung (*real time*) ketika program sedang dijalankan.

- Keberadaan (K) mengacu pada tingkat keberadaan dengan sebuah ukuran ketelitian dari sensor *input* dan saluran *output*. Tingkat keberadaan sangatlah bergantung pada kebutuhan dari kerja yang akan dilakukan.

Menurut Kalawsky, R. (1993b), dalam *virtual reality*, titik (1,1,1) sebagai (O,I,K) dalam kubus Zelter menunjukkan kondisi dimana simulasi dapat benar-benar merepresentasikan dunia nyata sehingga akan sulit dibedakan antara dunia nyata dengan simulasi tersebut. Titik (0,1,0) mengindikasikan bahwa pengguna dapat mengontrol semua variabel dari objek atau model secara *real time* selama program berjalan. Sedangkan, titik (0,1,1) merepresentasikan sebuah situasi dimana terdapat tingkat otonomi dan keberadaan yang tinggi, tetapi dengan tingkat interaksi yang rendah. Di dunia ini, seorang manusia dapat menjadi peneliti pasif dengan kebebasan yang dia miliki dilihat dari sudut pandangnya, tetapi tetap memungkinkan “mencelupkan” dirinya pada lingkungan virtual.

Virtual environment memiliki atribut seperti di bawah ini:

- Lingkungan yang dihasilkan/diciptakan oleh computer.
- Lingkungan atau pengalaman partisipan mengenai lingkungan yang berada dalam dunia 3 dimensi.
- Partisipan merasakan sebuah keberadaan pada *virtual environment*.
- Partisipan dapat mengatur variabel-variabel yang ada pada *virtual environment*.
- Perilaku objek pada *virtual environment* bisa disesuaikan dengan perilaku objek tersebut di dunia nyata.
- Partisipan dapat berinteraksi secara *real time* dengan *virtual environment*.

Menurut Wilson, J.R. (1999) dalam bukunya, simulasi dalam lingkungan virtual harus dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*virtual human*) berada pada lokasi yang baru, berinteraksi dengan objek dan lingkungan, serta mendapat respon balik yang tepat dari objek yang mereka manipulasi.

Virtual human adalah model biomekanis yang akurat dari sosok manusia. Model ini, sepenuhnya meniru gerakan manusia sehingga memungkinkan bagi para peneliti untuk melakukan simulasi aliran proses kerja, dan melihat bagaimana

beban kerja yang diterima model ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu.

Lapangan aplikasi dari *virtual environment* sangatlah luas. Beberapa diantaranya menurut Määttä, Timo. (2003) adalah:

- Dalam bidang arsitektur, VE digunakan untuk mengevaluasi desain dari struktur baru.
- Dalam bidang pendidikan dan pelatihan, VE digunakan untuk memperlihatkan pada orang bentuk-bentuk dunia seperti permukaan planet, model molekul, atau bagian dalam dari tubuh hewan. VE juga sudah digunakan untuk keperluan pelatihan pilot dan pengendara.
- Dalam bidang hiburan, VE digunakan oleh studio film, pembuat *video game*, dan perusahaan mainan.
- Dalam bidang kesehatan, VE digunakan dalam perencanaan terapi radiasi dan simulasi bedah untuk keperluan pelatihan.
- Dalam bidang informasi, VE digunakan untuk menyajikan sebuah set data yang rumit dalam bentuk yang mudah dimengerti.
- Dalam bidang ilmu pengetahuan, VE digunakan untuk memodelkan dan mengkaji sebuah fenomena yang rumit di komputer
- Dalam bidang *telepresence*, VE telah digunakan untuk mengembangkan alat kontrol dari robot (*telerobot*).

Berikut ini adalah contoh penggunaan *virtual environment* yang berhubungan langsung dengan kajian ergonomi yang bernilai positif bagi kesehatan dan keselamatan kerja:

- Penilaian ergonomis tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja.
- Pelatihan teknisi pemeliharaan, misalnya untuk bekerja di lingkungan yang berbahaya.
- Perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi
- Pelatihan umum untuk industri, termasuk prosedur untuk pergerakan material dan penggunaan mesin pelindung.

- Diagnosa kesalahan (*error*) yang terjadi dan perbaikan dalam proses yang berlangsung di pabrik.

2.4 *Vicon Motion Capture System*

2.4.1 Pendahuluan mengenai *Motion Capture*

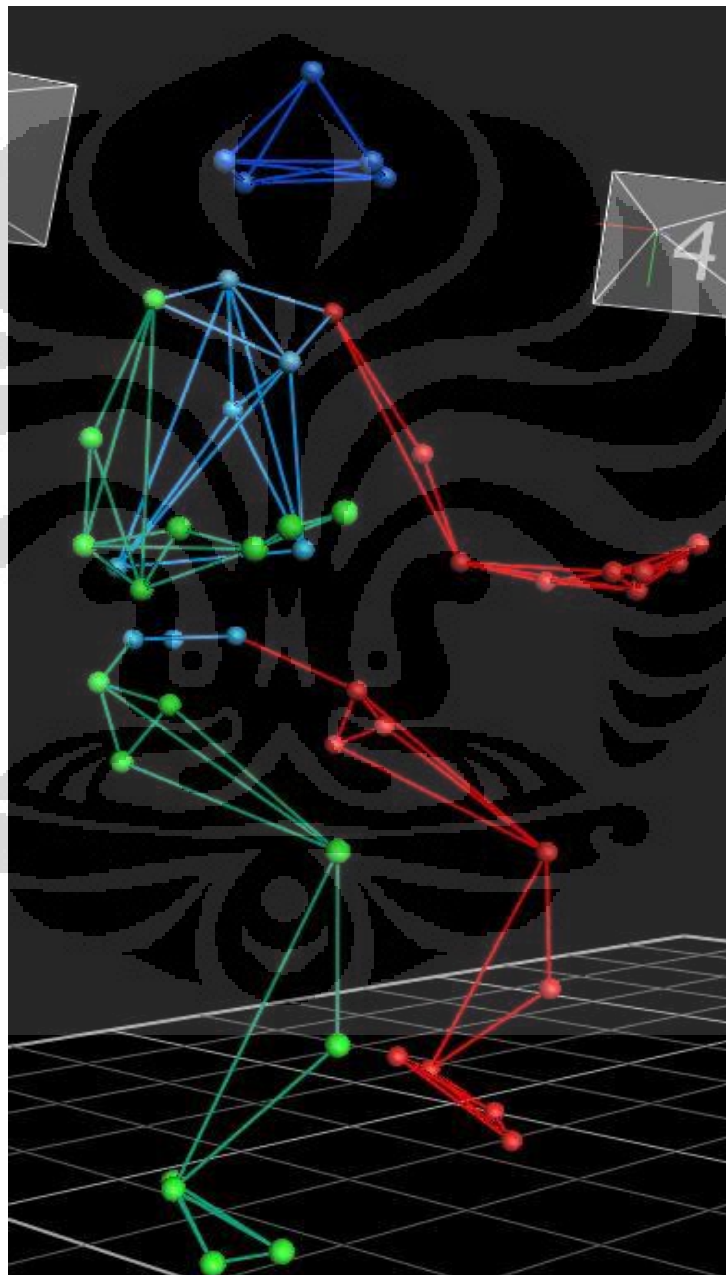
Motion capture adalah sebuah perekaman gerakan oleh kamera video untuk direproduksi ke dalam lingkungan virtual. Sistem Vicon terdiri atas peranti keras dan lunak untuk mengontrol dan menganalisis *motion capture*. Reproduksi tiga dimensi sendiri memiliki beberapa kegunaan, diantaranya:

- Pengobatan medis dari kelainan gerakan (*movement disorders*)
- Pemahaman terhadap teknik atletik
- Membuat karakter animasi untuk film dan *video games*
- Memasukkan gerakan kedalam *virtual environment* untuk keperluan rekayasa desain

2.4.2 Cara Kerja Vicon System

Sebuah ruangan *motion capture* biasanya merupakan sebuah area (*capture volume*) yang dikelilingi oleh beberapa kamera beresolusi tinggi. Setiap kamera memiliki pemancar LED yang mengelilingi lensa kamera. Sedangkan subjek yang gerakannya akan direkam, pada tubuhnya ditempelkan sejumlah markers yang reflektif terhadap cahaya di posisi yang telah ditentukan. Ketika subjek bergerak di dalam area *capture volume*, cahaya dari pemancar dipantulkan kembali ke lensa kamera, melewati pelat yang sensitif terhadap cahaya, dan kemudian menghasilkan sinyal video. *Software* Vicon Nexus mengontrol kamera dan pemancar serta mengumpulkan sinyal-sinyal tersebut bersamaan dengan data-data lain yang terekam, seperti besaran gaya yang di dapat dari *force plate* Vicon Nexus adalah *software* utama dari Vicon System yang digunakan untuk mengumpulkan dan memproses data video mentah (*raw video data*).

Vicon Nexus membutuhkan data dua dimensi dari setiap kamera, mengkombinasikannya dengan data kalibrasi untuk merekonstruksi pergerakan digital dalam tiga dimensi. Setelah proses rekonstruksi, data gerakan tersebut juga dapat ditransfer ke *software* dari pihak ketiga, seperti Jack.6.1, untuk analisis dan manipulasi yang digunakan untuk animasi digital dan *virtual environments*.



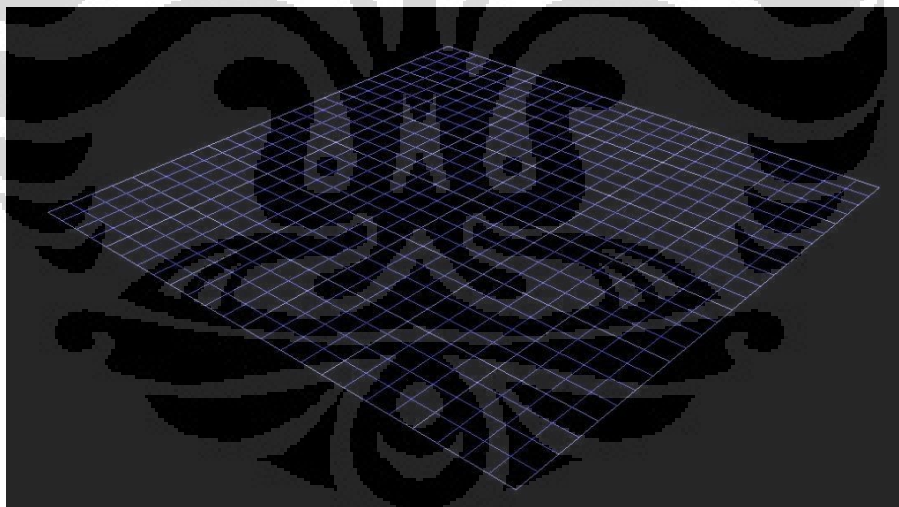
Gambar 2.6 Tampilan Hasil Rekonstruksi Gerakan pada *Vicon Nexus*

2.5 Software Siemens Jack 6.1

2.5.1 Pendahuluan Mengenai Jack

Software Jack merupakan sebuah *software* yang berfungsi untuk mensimulasikan atau memodelkan rangkaian pekerjaan. Simulasi dari rangkaian pekerjaan tersebut, dengan *software Jack* kemudian akan dianalisis dengan menggunakan perangkat analisis untuk dilihat sejauh mana kelayakan suatu desain dan lingkungan kerja dari sisi pandang ergonomi.

Fokus pengembangan yang dapat dilakukan Jack adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat, yang terdapat dalam sistem apapun. Kemampuan terbaik dari Jack adalah Jack mampu mengisi lingkungan yang dimilikinya dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri yang dapat diatur dan ditentukan sendiri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata. Lingkungan pada *software* ini dapat terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Lingkungan pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version 6.1

Model manekin pada Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan. Jack telah memperhatikan keseimbangan tubuh, mampu melakukan kegiatan berjalan, dan dapat diberikan perintah untuk mengangkat suatu benda. Model pada

Jack juga memiliki “kekuatan” dan jika telah melebihi batas tertentu, maka Jack dapat memberikan peringatan pada penggunanya. Selain itu, pengguna Jack dapat membuat model pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran tubuh, berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Jack 6.1 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 untuk membuat model. Namun, Jack juga menyediakan formulir khusus jika pengguna ingin membuat model manekin berdasarkan data antropometri yang ingin diteliti. Gambar 2.8 menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



Gambar 2.8 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version

Banyak perusahaan telah menggunakan perangkat lunak ini untuk mendapatkan banyak keuntungan, beberapa diantaranya:

- Mempersingkat waktu dari proses desain.
- Biaya pengembangan produk yang lebih rendah.
- Meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkan.
- Meningkatkan produktivitas.
- Meningkatkan keamanan dan keselamatan kerja.
- Secara tidak langsung akan meningkatkan moral dari pekerja.

Secara umum, ada tujuh langkah yang digunakan dalam melakukan simulasi pada Jack, yaitu:

1. Membuat *virtual environment* pada Jack.

2. Membuat *virtual human*.
3. Memposisikan *virtual human* pada *virtual environment* sesuai dengan yang diinginkan.
4. Memberikan *virtual human* sebuah tugas atau kerja, dan
5. Menganalisis kinerja dari tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* dengan TAT.

2.5.2 Jack Motion Capture Modules

Pada Jack versi 6.1 terdapat modul tambahan *Motion Capture* yang dapat menghubungkan peralatan *virtual reality* (VR) seperti Vicon System dengan Jack. Data-data dari peralatan VR tersebut digunakan untuk menggerakkan manekin manusia di dalam Jack. Pergerakan manekin tersebut kemudian dapat direkam sebagai *Jack channelset* dan dapat diputar ulang. Animasi manekin manusia yang dibuat menggunakan modul *Motion Capture* akan memiliki postur manusia yang realistis. Hal ini dapat memberikan pengertian mendalam mengenai bagaimana manusia mengerjakan pekerjaan atau berinteraksi dengan sebuah desain produk. *Software* Jack sendiri dapat dihubungkan dengan peralatan VR sebagai berikut:

- Flock Of Birds
- Motionstar
- Cyberglove
- 5DT Data Glove
- MotionAnalysis
- Vicon

Dengan penggunaan modul *Motion Capture*, maka langkah-langkah dalam melakukan simulasi pada Jack menjadi lebih cepat tanpa harus memposisikan manekin dan memberikan tugas atau kerja, yaitu:

1. Membuat *virtual environment* pada Jack.
2. Menghubungkan peralatan VR dengan manekin Jack
3. Membuat *virtual human*
4. Merekam gerakan *virtual human*

5. Menganalisis kinerja dari tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* dengan *Task Analysis Toolkit*.

2.5.3 *Jack Task Analysis Toolkit*

Task Analysis Toolkit (TAT) adalah sebuah modul tambahan pada *software* Jack yang dapat memperkaya kemampuan pengguna untuk menganalisis aspek ergonomi dan faktor manusia dalam desain kerja di dunia industri. Dengan TAT, para perancang bisa menempatkan *virtual human* ke dalam berbagai macam lingkungan untuk melihat bagaimana model manusia tersebut menjalankan tugas yang diberikan. TAT dapat menaksir resiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi. Kemudian, TAT dapat memberikan intervensi untuk mengurangi resiko. Modul ini juga dapat menunjukkan batasan maksimal dari kemampuan pekerja ketika melakukan kegiatan mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membengkokkan. Selain itu, TAT juga dapat menunjukkan kegiatan-kegiatan yang tidak produktif dan rentan menjadi penyebab cedera atau kelelahan. Dengan Jack TAT, analisis ergonomi dapat dilakukan lebih awal, yaitu pada fase pembuatan desain, sebelum bahaya dan resiko menjadi semakin sulit untuk diatasi dan menimbulkan biaya yang lebih tinggi.

Jack TAT menyediakan sembilan buah metode analisis ergonomi, seperti tertulis di bawah ini:

- *Low Back Compression Analysis*, yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan yang bekerja pada tulang belakang dalam kualitas postur dan kondisi beban tertentu.
- *Static Strength Prediction*, yang digunakan untuk mengevaluasi jumlah persentase populasi pekerja yang mampu menjalankan pekerjaan yang diberikan berdasarkan postur, tenaga yang dibutuhkan, dan ukuran antropometri.
- *NIOSH Lifting Analysis*, yang digunakan untuk mengevaluasi kegiatan mengangkat benda berdasarkan persamaan NIOSH.

- *Metabolic Energy Expenditure*, yang digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja berdasarkan karakteristik pekerja dan rangkaian kegiatan yang akan dilakukan.
- *Fatigue and Recovery Analysis*, yang digunakan untuk menaksir apakah waktu pemulihan yang diberikan bisa mencegah pekerja mengalami kelelahan.
- *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*, yang digunakan untuk mengecek apakah postur yang digunakan dalam bekerja sudah memberikan kenyamanan.
- *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*, yang digunakan untuk mengevaluasi resiko yang menyebabkan gangguan pada tubuh bagian atas.
- *Manual Material Handling Limits*, yang digunakan untuk mengevaluasi dan merancang kegiatan kerja yang berkaitan dengan proses *material handling*, sehingga tingkat resiko cedera dapat dikurangi, dan
- *Predetermined Time Analysis*, yang digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja berdasarkan sistem *method time measurement (MTM-I)*.

2.6 Static Strength Prediction (SSP)

Static Strength Prediction adalah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi persentase populasi yang memiliki kemampuan untuk melaksanakan suatu tugas. Analisis ini dibuat berdasarkan kualitas postur, tenaga yang dibutuhkan, dan ukuran antropometri dari populasi. Prinsip dasar yang digunakan SSP adalah (Chaffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003)).:

$$\begin{aligned} \text{[Each Joint Load Moment]} &< \text{[Population Strength Moments]} \\ \text{(Predicted from model)} &\quad \text{(Statistically defined norms)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika diaplikasikan dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit dan bergerak. Pada tubuh manusia pergerakan otot akan membuat tulang cenderung berotasi pada setiap persendiaan

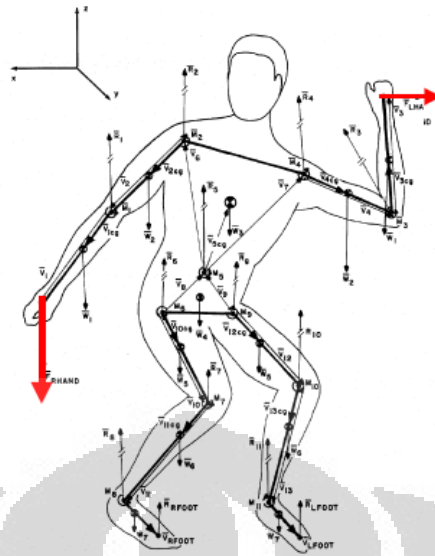
yang ada. Besarnya kecenderungan berotasi ini disebut dengan momen rotasi pada suatu sendi. Selama terjadi pergerakan, maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal lainnya. Secara matematis, hal ini dituliskan dalam persamaan:

$$M_j = S_j \quad (2.2)$$

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

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

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul, maka data tersebut diolah dengan mekanika Newton. Gaya yang didapatkan 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 2.9 adalah model biomekanikal manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan sebuah aktivitas. Dengan model biomekanikal manusia tersebut akan dapat terlihat sendi pada tubuh manusia bagian mana saja yang akan menerima gaya dari luar tersebut



Gambar 2.9 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian

Sumber: Chaffin, Don B., G Lawton, & Louise G. Johnson, 2003

Metode SSP dapat digunakan untuk membantu:

- Menganalisis tugas dan kerja yang berkaitan dengan operasi *manual handling* meliputi proses mengangkat, menurunkan, mendorong, dan menarik.
- Memprediksi persentase pekerja pria dan wanita yang memiliki kemampuan statis untuk melaksanakan sebuah tugas.
- Memberikan informasi apakah kebutuhan dari postur kerja yang digunakan melebihi batasan dalam standar NIOSH atau batasan kemampuan yang ditentukan sendiri.

Di dalam fase perancangan, sebuah kegiatan kerja (seharusnya) hanya dapat diterima, jika persentase pekerja yang mampu melakukannya mencapai 100%. Dalam praktiknya, hal ini mustahil dilakukan karena banyak kerja yang menghasilkan nilai di bawah 100%. Rancangan kegiatan kerja yang menghasilkan nilai 0% haruslah dieliminasi. Selain itu, kegiatan yang memiliki nilai di bawah batas tertentu sebaiknya juga tidak dilanjutkan ke fase selanjutnya pasca perancangan. Dengan informasi yang diberikan SSP, seorang perancang dapat mendesain sebuah kerja yang mampu dilaksanakan oleh sebanyak mungkin orang dalam suatu populasi.

2.7 Low Back Analysis (LBA)

Low Back Analysis (LBA) merupakan metode untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja di tulang belakang manusia pada kondisi beban dan postur tertentu (Siemens PLM Software, Op Cit, hal. 2 – 3). Metode LBA bertujuan untuk:

- Menentukan apabila posisi kerja yang ada telah sesuai dengan batasan beban ideal ataupun menyebabkan pekerja rentan terkena cedera pada tulang belakang.
- Memberikan informasi terjadinya peningkatan risiko cedera pada bagian tulang belakang manusia.
- Memperbaiki tata letak sebuah stasiun kerja beserta tugas-tugas yang akan dilakukan di dalamnya sehingga risiko cedera pada bagian tulang belakang pekerja dapat dikurangi.
- Memprioritaskan jenis-jenis kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

Metode ini menggunakan sebuah model biomekanika kompleks dari tulang belakang manusia yang menggabungkan anatomi terbaru dan data-data fisiologis yang didapatkan dari literatur-literatur ilmiah yang ada. Selanjutnya, metode ini akan mengkalkulasi gaya tekan dan tegangan yang terjadi pada ruas lumbar 4 (L4) dan lumbar 5 (L5) dari tulang belakang manusia dan membandingkan gaya tersebut dengan batas nilai beban ideal yang dikeluarkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH).

Secara matematis, standar *lifting* NIOSH dapat dirumuskan sebagai berikut (NIOSH, 1998) :

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM \quad (2.3)$$

dimana RWL adalah *recommended weight limit*, LC adalah beban konstan (*load constant*) dan faktor lain adalah seperti yang tertulis di bawah:

- HM, faktor "Horizontal Multiplier",
- VM, faktor "Vertical Multiplier",

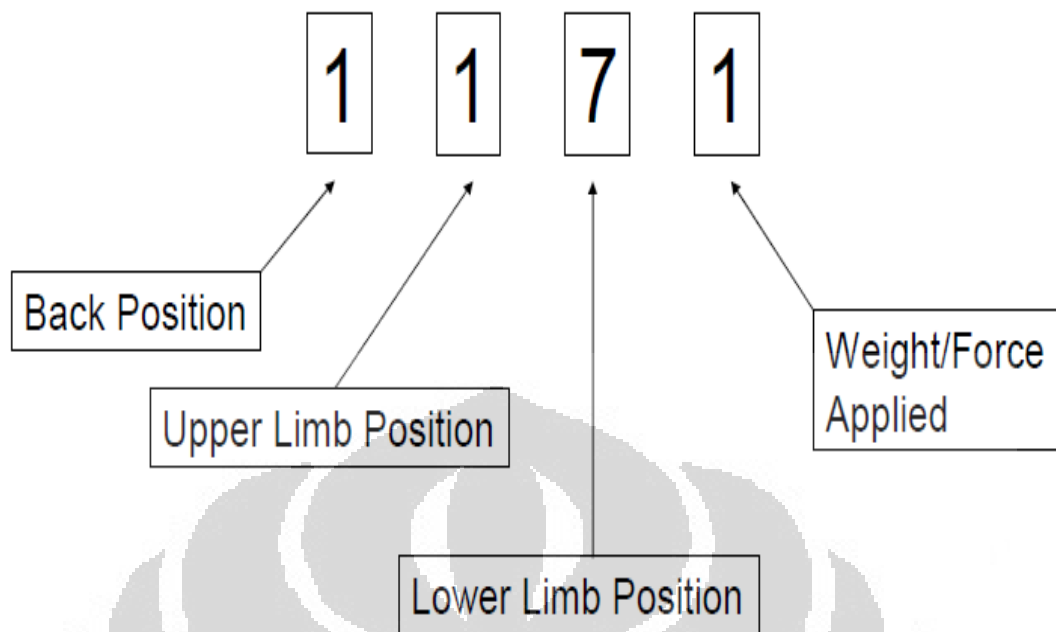
- DM, faktor "Distance Multiplier",
- FM, faktor "Frequency Multiplier",
- AM, faktor "Asymmetric Multiplier", dan
- CM, faktor "Coupling Multiplier".

2.8 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

OWAS merupakan metode untuk menganalisa dan mengevaluasi postur kerja manusia yang paling awal dan termudah. Metode ini ditemukan pertama kali oleh Ovako Oy, sebuah perusahaan manufaktur besi yang terletak di Negara Finlandia pada tahun 1977. Metode OWAS didasarkan pada klasifikasi postur kerja yang sederhana dan sistematis yang dikombinasikan dengan tugas, atau pekerjaan, dapat diaplikasikan dalam beberapa bidang, contohnya adalah sebagai berikut:

- Pengembangan tempat kerja atau metode kerja, untuk mengurangi beban muskuloskeletal dengan tujuan membuat usulan yang lebih aman dan lebih produktif
- Perencanaan tempat kerja baru atau metode kerja
- Survei Ergonomi
- Survei kesehatan kerja
- Penelitian dan pengembangan

Metode ini menilai empat bagian tubuh yang dirangkum dalam 4 digit kode (Gambar 2.10). Angka pertama dalam kode untuk menjelaskan postur kerja bagian *back* (tulang punggung), digit kedua adalah bagian *upper limb*, digit ketiga *lower limb* dan terakhir adalah beban yang digunakan selama proses kerja berlangsung. Penjelasan mengenai kode digit akan dijelaskan sebagai berikut.

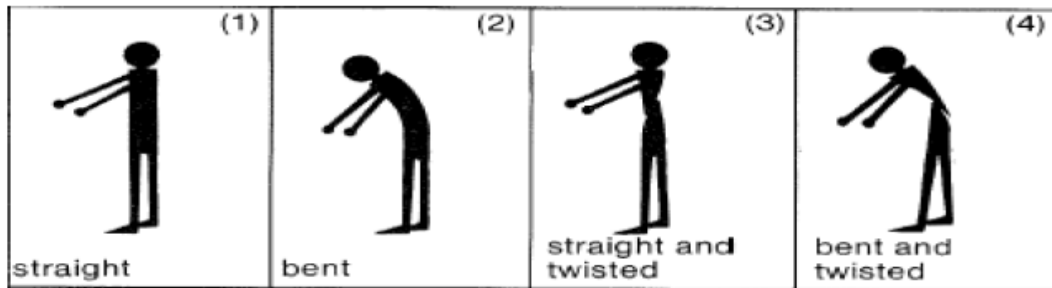


Gambar 2.10 Model Kode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

1. Postur Bagian Punggung

Seperti telah disebutkan sebelumnya, angka pertama dari kode OWAS merupakan kode yang mendefinisikan posisi atau postur bagian punggung manusia. Posisi punggung manusia ini diklasifikasikan ke dalam 4 jenis posisi yang masing – masing posisi tersebut memiliki kode angka mulai dari angka 1 hingga angka 4. Postur bagian punggung pertama, yang memiliki kode 1 adalah posisi punggung yang memiliki karakteristik tegak, lurus tidak mengalami *flexion* ataupun *extension* sedikitpun. Berdasarkan kode OWAS, posisi ini merupakan posisi terbaik untuk punggung. Posisi kedua, yaitu yang memiliki kode 2 adalah posisi punggung yang membungkuk (*bent*). Kemudian untuk posisi yang ketiga, yang merupakan kode 3 adalah posisi punggung yang tegak, namun mengalami putaran, atau *twisted*. Terakhir, posisi punggung yang memiliki kode 4 adalah posisi punggung yang mengalami perputaran (*twisted*) sekaligus membungkuk (*bent*). Menurut skala OWAS, nilai 4 inilah yang memiliki tingkat keparahan terbesar untuk posisi punggung manusia.

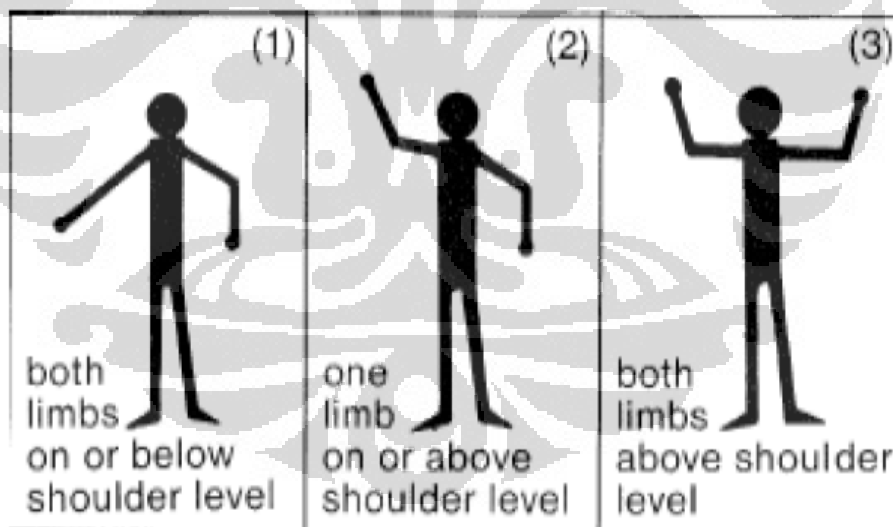


Gambar 2.11 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

2. Posisi Tungkai Bagian Tubuh Atas

Angka kedua dari sistem 4 angka dari kode OWAS merupakan angka yang mendefinisikan posisi tungkai bagian atas tubuh. Dalam hal ini, tungkai bagian atas tubuh dapat dikatakan sebagai lengan dan tangan. Posisi lengan dan tangan diklasifikasikan menjadi tiga posisi. Posisi pertama yang memiliki kode 1 adalah posisi lengan dan tangan yang berada di bawah level ketinggian bahu.



Gambar 2.12 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode

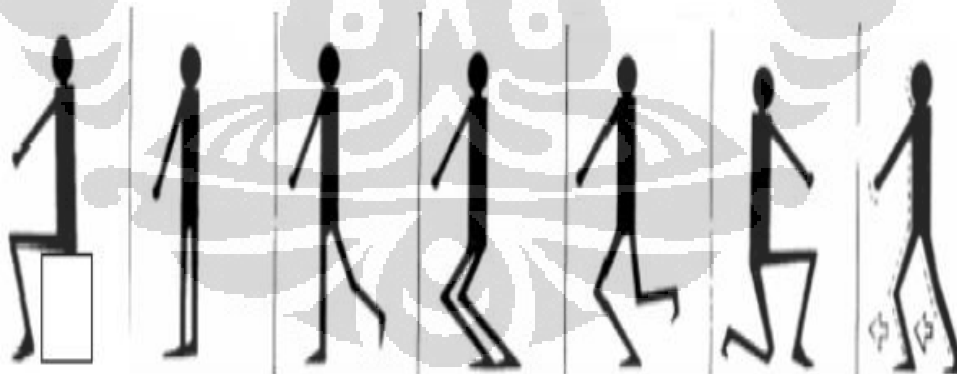
OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

Kemudian posisi kedua adalah posisi tangan dan lengan yang salah satunya (kanan atau kiri) berada di atas level ketinggian bahu. Dan yang terakhir adalah posisi yang memiliki nilai 3, dimana lengan dan tangan berada di atas level ketinggian bahu. Keterangan gambar mengenai posisi *upper limb* ini dapat dilihat pada gambar 2.15.

3. Posisi Tungkai Tubuh Bagian Bawah

Angka ketiga dari sistem 4 angka dari kode OWAS merupakan angka yang mendefinisikan posisi tungkai dari bagian tubuh bawah (kaki). Posisi kaki dalam metode OWAS diklasifikasikan ke dalam 7 jenis posisi, yang memiliki kode 1 hingga 7. Posisi pertama yaitu posisi kaki yang berada dalam kondisi duduk, dimana kaki (legs) berada di bawah level ketinggian dudukan kursi. Kemudian posisi kedua adalah posisi berdiri dengan dua kaki menapak sempurna di tanah. Ketiga, posisi berdiri dengan satu kaki terangkat. Keempat, posisi berdiri dengan kedua kaki tertekuk di bagian lutut dan pergelangan kaki. Kelima, posisi berdiri dengan satu kaki terangkat sekaligus tertekuk. Keenam, posisi berlutut, dan terakhir posisi tubuh yang sedang berjalan. Keterangan gambar mengenai posisi *lower limb* ini dapat dilihat pada gambar 2.16



Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Bawah dalam Metode

OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

4. Beban Ditanggung / Gaya yang Dikerjakan

Angka terakhir dalam metode OWAS adalah angka yang mendefinisikan besarnya beban yang ditanggung, atau gaya yang dikerjakan oleh seseorang ketika melakukan sebuah pekerjaan. Terdapat tiga buah klasifikasi beban, yaitu kurang dari 10 kg, diantara 10 kg hingga 20 kg dan terakhir, lebih dari 20 kg.

Setelah mendapatkan nilai – nilai dari keempat parameter diatas, dilakukan perhitungan untuk menghasilkan skor akhir OWAS. Skor akhir ini memiliki range nilai dari 1 hingga 4, dengan keterangan dari masing – masing skor dapat dilihat dari tabel 2.1

Tabel 2.3 Detail Usulan Berdasarkan Skor OWAS

Skor	Keterangan	Penjelasan
1	<i>Normal posture</i>	Tindakan perbaikan tidak diperlukan
2	<i>Slightly harmful</i>	Tindakan perbaikan diperlukan di masa datang
3	<i>Distinctly harmful</i>	Tindakan perbaikan diperlukan segera
4	<i>Extremely harmful</i>	Tindakan perbaikan diperlukan secepat mungkin

Sumber: *Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002*

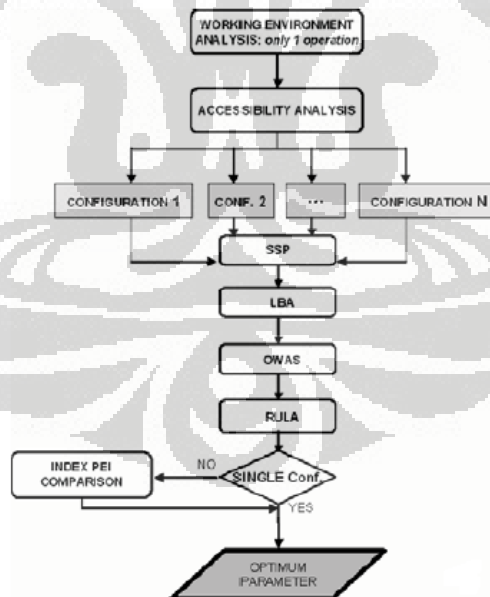
2.9 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Rapid Upper Limb Assessment adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat resiko cedera dan gangguan muskuloskeletal pada tubuh bagian atas. Analisis dibuat berdasarkan kualitas postur, penggunaan otot, berat beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensinya. Metode ini dibuat melalui pengisian lembar kerja, dimana lembar tersebut akan memudahkan penggunanya untuk menghitung sebuah nilai yang mengindikasikan derajat kepentingan dari tingkat intervensi yang diperlukan untuk mereduksi resiko dan bahaya yang dapat terjadi. Salah satu bentuk lembar kerja dari analisis metode RULA terlihat pada gambar 2.13. Seperti terlihat pada

2.10 Metode *Posture Evaluation Index* (PEI)

Metodologi PEI dan WEI dikembangkan oleh Prof. Frans Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D dari University of Naples Frederico II, Italia. Metodologi ini dikembangkan berdasarkan aplikasi *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack. Tujuan dari penggunaan metodologi ini adalah untuk melakukan optimalisasi terhadap fitur geometri pada sebuah stasiun kerja. Dengan optimalisasi yang dilakukan, postur kerja yang paling memberikan kenyamanan pada pekerja, dalam berbagai macam persentil populasi, dapat ditentukan¹⁷.

Jika fitur geometri yang menjadi karakter dari sebuah stasiun kerja hanya mempengaruhi sisi ergonomi dari sebuah operasi, maka metode PEI dapat digunakan sehingga optimalisasi dari sebuah operasi pada satu buah stasiun kerja dapat dilakukan.. Metode ini mengikuti alur yang ada pada gambar di bawah:



Gambar 2.15 Diagram Alir Metode PEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

2.10.1 Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan seluruh pergerakan alternatif yang memungkinkan: hal ini, secara umum, meliputi pemahaman terhadap rute alternatif, postur dan kecepatan eksekusi, yang kesemuanya memberikan kontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil. Sangatlah penting untuk mensimulasikan semua operasi di atas untuk memverifikasi kelayakan dari operasi tersebut. Faktanya, sebagai contoh, tidak menjadi jaminan apakah semua titik yang ditentukan bisa dijangkau oleh postur yang berbeda. Eksekusi dari analisis ini menjamin tingkat kelayakan dari tugas yang ada. Diantara seluruh fase optimalisasi, fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena fase ini membutuhkan pembuatan simulasi secara *real time* dalam jumlah yang banyak, padahal banyak diantaranya yang akan menjadi sia-sia.

2.10.2 Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas

Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu membutuhkan kajian pendahuluan terhadap aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Hal ini adalah masalah yang menarik dan sering muncul dalam lini produksi. Masalah ini berkenaan dengan apakah memungkinkan untuk membawa seluruh metode gerakan yang telah dirancang ke dalam sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Sebuah analisis dapat dilakukan dalam Jack, dengan mengaktifkan algoritma mengenai deteksi benturan. Kegiatan kerja yang tidak memberikan hasil yang memuaskan pada fase ini lebih baik tidak dilanjutkan ke fase berikutnya. Dari analisis terhadap lingkungan, keterjangkauan, dan aksesibilitas, konfigurasi dari tata letak maupun metode kerja yang akan dianalisis pada fase berikutnya dapat ditentukan. Jika jumlah konfigurasi yang memungkinkan untuk diteliti terlalu banyak, maka prosedur *Design of Experiment* (DOE) dapat diterapkan.

2.10.3 Fase Ketiga: *Static Strength Prediction*

Setelah konfigurasi kegiatan kerja disusun, pertanyaan berikutnya adalah: berapa banyak pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan tiap kegiatan

yang ada pada konfigurasi. Seperti yang telah tertuang pada sub-bab 2.6, kegiatan yang memiliki nilai persentase di bawah batas tertentu sebaiknya tidak dilanjutkan ke fase selanjutnya. Batas bawah yang digunakan dalam penelitian ini adalah 90% seperti yang juga dipakai pada penelitian PEI18. Sehingga konfigurasi yang memiliki persentase di bawah 90% akan dieliminasi.

2.10.4 Fase Keempat: *Low Back Analysis*

Kegiatan kerja yang memiliki persentase SSP lebih dari atau sama dengan 90%, kemudian dianalisis dengan menggunakan metode *low back analysis*. Analisis ini mengevaluasi secara *real time* beban yang diterima oleh bagian tulang belakang model manekin saat melakukan tugas yang diberikan. Nilai tekanan yang dihasilkan, kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standar NIOSH yaitu 3400 N.

2.10.5 Fase Kelima: *Ovako Working Posture Analysis*

Kegiatan yang telah dianalisis dengan metode LBA, kemudian, dievaluasi dengan menggunakan OWAS. Metode OWAS mengevaluasi secara *real time* tingkat kenyamanan bentuk postur tubuh dari model manekin selama pelaksanaan aktivitas. Kemudian, OWAS memberikan nilai level antara 1 s.d 4 dan kode 4 digit yang digunakan untuk menilai posisi dari tubuh bagian belakang, kedua tangan, dan kaki beserta tingkat beban yang diterima. Nilai level menunjukkan tingkat kualitas postur secara kuantitatif dan tingkat kepentingan dari langkah-langkah koreksi yang harus dilakukan.

2.10.6 Fase Keenam: *Rapid Upper Limb Assessment*

Dari skenario konfigurasi yang diajukan, prosedur mengeliminasi secara progresif kegiatan kerja pada konfigurasi yang: 1) tidak memungkinkan untuk mengakses titik-titik kritis, 2) tidak mampu dilakukan oleh populasi pekerja yang ada 3) sangat memungkinkan memberikan bahaya dan cedera pada bagian tulang belakang. Pada fase kelima, kualitas dari postur kerja dianalisis. Analisis ini mengacu pada keberadaan resiko terjadinya penyakit dan atau bahaya yang dapat timbul pada tubuh bagian atas. Resiko tersebut diberikan nilai antara 1 s.d. 7.

Nilai tersebut mengindikasikan tingkat bahaya dari resiko beserta langkah korektif yang harus dilakukan.

2.10.7 Fase Ketujuh: Evaluasi PEI

Perbandingan kualitas ergonomi antara satu kegiatan kerja dengan kegiatan lainnya dapat dilakukan pada fase ini. Perbandingan tersebut akan memberikan sebuah klasifikasi resiko yang terjadi pada para bagian muskuloskeletal pekerja, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Yang menjadi acuan dari perbandingan tersebut adalah nilai PEI yang dihasilkan. Nilai PEI tersebut mengintegrasikan hasil dari analisis LBA, OWAS, dan RULA. Konfigurasi dengan nilai tertinggi dinyatakan sebagai konfigurasi yang paling optimal.

Nilai PEI merupakan jumlah total dari tiga buah variabel; I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 merupakan hasil normalisasi dari nilai LBA dengan batas kekuatan tekanan pada standar NIOSH (3400 N). Variabel I_2 , dan I_3 merupakan hasil dari indeks OWAS yang dinormalisasi dengan nilai kritisnya ("4") dan indeks RULA yang dinormalisasi dengan nilai kritisnya ("7")¹⁹.

$$PEI = I_1 + I_2 + mr.I_3 \quad (2.4)$$

dimana:

$I_1 = LBA/3400$ N, $I_2 = OWAS/4$, $I_3 = RULA/7$, dan mr adalah *amplification factor* dengan nilai 1,42.

Definisi dari PEI dan penggunaan dari ketiga buah metode analisis (LBA, OWAS, RULA) bergantung terhadap hal-hal berikut. Faktor-faktor yang menjadi penyebab utama dari pembebanan yang berlebihan pada biomekanikal adalah: repetisi, frekuensi, postur, usaha kerja, dan waktu pemulihan. Faktor yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kegiatan adalah postur ekstrim, khususnya pada tubuh bagian atas. Konsekuensinya, perhatian yang lebih harus diberikan pada evaluasi tingkat ketidaknyaman pada *lumbar disc* L4/L5 (pengaruh I_1) dan evaluasi dari tingkat kelelahan pada tubuh bagian atas (pengaruh I_3). PEI memungkinkan penggunaannya untuk menentukan modus operandi untuk

menjalankan kegiatan kerja dalam cara yang sederhana. Faktanya, postur optimal yang berkaitan dengan kegiatan dasar adalah postur kritis dengan nilai PEI minimum. Variabel yang mempengaruhi nilai akhir PEI bergantung pada tingkat ketidaknyamanan pada postur yang dianalisis: semakin tinggi tingkat ketidaknyamanan, semakin tinggi nilai PEInya.

Untuk memastikan tingkat kenyamanan dari kerja, dengan memperhatikan standar keamanan dan keselamatan, sebuah postur yang nilai *I1*-nya lebih dari atau sama dengan 1 akan diasumsikan tidak absah. Berdasarkan hal ini, nilai maksimal yang dapat diterima adalah 3 (kekuatan tekanan yang bekerja pada *lumbar disc* L4/L5 sama dengan batas pada standar NIOSH 3400 N, nilai dari sudut sendi tidak dapat diterima). Dengan mengulangi semua fase di atas untuk tiap konfigurasi, maka nilai ergonomi dari tiap konfigurasi dapat ditentukan, dan akhirnya, kegiatan kerja yang paling optimal dalam konfigurasi dapat dipilih.

2.11 Kendaraan Tempur

2.11.1 Jenis Kendaraan Tempur

- Tank

Tank adalah kendaraan lapis baja, yang bergerak menggunakan ban berbentuk rantai. Ciri utama tank adalah pelindungnya yang biasanya adalah lapisan baja yang berat, senjatanya yang merupakan meriam besar, serta mobilitas yang tinggi untuk bergerak dengan lancar di segala medan. Meskipun tank adalah kendaraan yang mahal dan membutuhkan persediaan logistik yang banyak, tank adalah senjata paling tangguh dan serba-bisa pada medan perang modern, dikarenakan kemampuannya untuk menghancurkan target darat apapun, dan *shock value*-nya terhadap infanteri.



Gambar 2.16 Kendaraan Tempur Tank

Sumber : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Leo2A5.JPG>

- Pengangkut Personil Lapis Baja

Pengangkut personel lapis baja (bahasa Inggris: *Armoured personnel carrier* atau APC) adalah kendaraan tempur lapis baja ringan yang dibuat untuk mentransportasikan infanteri di medan perang. APC biasanya hanya dipersenjatai senapan mesin, tapi varian-variannya bisa saja dipersenjatai meriam, peluru kendali anti-tank, atau mortir. Kendaraan ini sebenarnya tidak dirancang untuk melakukan pertarungan langsung, melainkan untuk membawa tentara secara aman dilindungi dari senjata ringan dan pecahan-pecahan ledakan. APC bisa menggunakan roda biasa maupun roda rantai.



Gambar 2.17 Kendaraan Tempur Pengangkut Personil Lapis Baja

Sumber :

<http://www.defenseimagery.mil/imagery.html#guid=ef8236baf856daf195599a8c4fbe1ea9f3f18949>

- Kendaraan Tempur Infanteri

Kendaraan tempur infanteri (bahasa Inggris: *Infantry fighting vehicle* atau IFV) adalah pengangkut infanteri lapis baja yang memiliki persenjataan yang lebih berat, dan bisa digunakan untuk pertarungan langsung. Kendaraan ini memiliki lapisan pelindung yang lebih tebal dari pengangkut personel lapis baja, dan memiliki persenjataan yang bisa menghancurkan pengangkut personel lapis baja lawan, seperti meriam otomatis dan peluru kendali anti-tank.

Kendaraan seperti ini sudah dipakai untuk menggantikan peran tank ringan, digunakan untuk pengintaian, serta dipakai juga oleh satuan penerjun payung yang tidak mungkin membawa tank yang berat.



Gambar 2.18 Kendaraan Tempur Infanteri

Sumber : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/1BFV01.jpg>

- Penghancur Tank

Meriam anti-tank gerak sendiri, disebut penghancur tank (bahasa Inggris: *Tank destroyer*), digunakan untuk memberikan dukungan melawan tank pada operasi bertahan atau mundur. Kendaraan ini bisa dipersenjatai meriam anti-tank atau peluru kendali anti-tank.

Penghancur tank ini tidak bisa menggantikan tank, karena penghancur tank tidak fleksibel seperti tank, karena antara lain kendaraan ini tidak memiliki perlindungan terhadap infanteri yang baik. Tetapi kendaraan ini lebih murah untuk diproduksi dan dirawat dibandingkan dengan tank.



Gambar 2.19 Kendaraan Tempur Penghancur Tank

Sumber: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/NM142_x_3.jpg

- Artileri Gerak Sendiri dan Meriam Serbu

Artileri gerak sendiri adalah meriam artileri yang diberikan alat transportasi terintegrasi, yang bisa merupakan badan kendaraan lapis baja dengan roda rantai maupun roda biasa. Ini membuat artileri bisa berjalan dengan cepat, mengikuti kecepatan peperangan lapis baja, membuatnya bisa bergerak dan mencapai jarak jangkauan dengan cepat, serta menghindari serangan artileri balasan dan serangan senjata ringan.

Meriam serbu adalah artileri gerak sendiri yang fungsinya mendukung pasukan infanteri. Kendaraan ini biasanya dipersenjatai meriam otomatis yang bisa menembakkan peluru berdaya ledak tinggi, cocok untuk melawan tentara yang bersembunyi di parit atau pertahanan.



Gambar 2.20 Kendaraan Tempur Artileri Gerak Sendiri dan Mariam Serbu

Sumber :

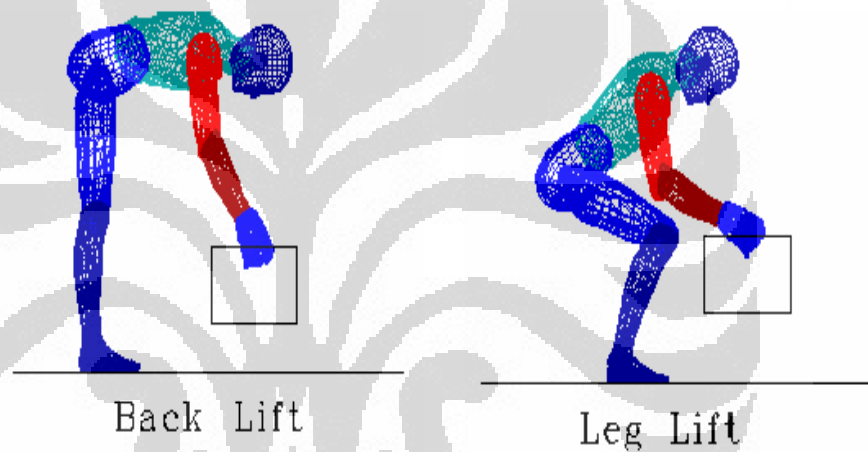
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/M190_houwitser.png

2.12 *Lifting Motion*

Sebuah aspek yang penting dalam produktivitas kerja dan penilaian kualitas erat kaitannya dengan cycle time. Dalam interaksi antara manusia dengan mesin, kalkulasi dari cycle time memerlukan penentuan dari motion time dari si pekerja dan operation time dari mesin. Motion time sangat dipengaruhi oleh interaksi dari postur pekerja, massa beban dan dimensi dari ruang lingkup pekerja. Interaksi ini akan kemudian menghasilkan sebuah tingkat kenyamanan kerja yang akan meningkatkan produktivitas dan kualitas dari pekerja. Sebuah model telah dikembangkan dengan menggunakan dasar aspek biodinamika yang terfokus kedalam prinsip energi yang digunakan dalam sebuah pekerjaan untuk menentukan *motion time* dari tubuh pengerja. Pembuatan model tersebut menggunakan 3 variabel yaitu jarak *motion*, massa beban dan postur pengerjaan. Jarak *motion* ditentukan oleh dimensi dari ruang lingkup kerja dan postur pengerjaan. Massa beban menentukan jenis pekerjaan yang dilakukan dan postur

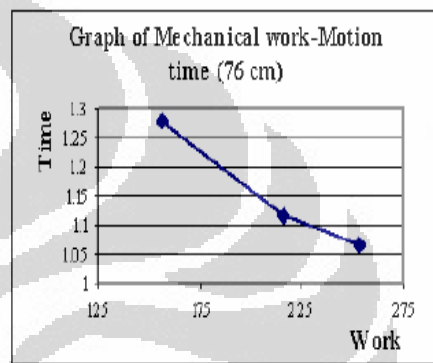
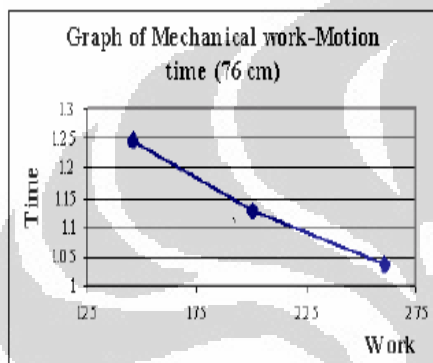
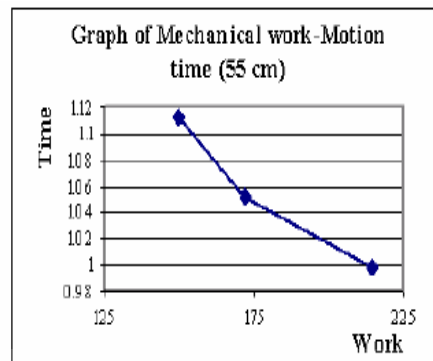
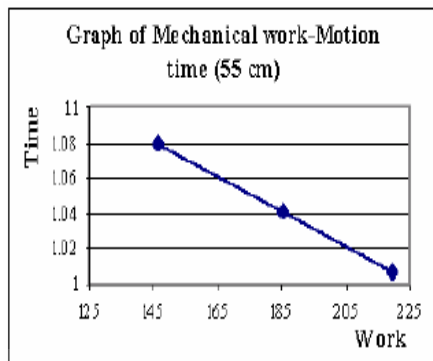
pengerjaan berkaitan dengan metode pengerjaan. Postur dan *motion* yang kurang tepat akan mempengaruhi kecepatan dari *body motion* yang pada akhirnya akan menghasilkan terbuangnya waktu kerja dengan sia-sia dan stres mekanis pada tubuh pengerja dan hilangnya energi. Sebagai contoh : untuk menggapai sebuah objek yang terletak lebih rendah dari posisi lutut akan membuat batang tubuh untuk membengkok ke depan secara ekstrim. *Motion* ini akan menyebabkan turunnya produktivitas dan kualitas kerja serta memakan waktu yang lama.

Ada 2 jenis teknik yang digunakan untuk pekerjaan *lifting* yang disebut dengan *lifting motion techniques* yaitu sebagai berikut



Gambar 2.21 *Back lift* dan *Leg lift*

Sebuah Ekseperimen dilakukan untuk mensimulasikan aktivitas pengangkatan beban dengan melibatkan pekerja yang berusia diantara 21 hingga 25 tahun. Pekerja tersebut diinstruksikan untuk mengangkat tiga masa beban yang berbeda yaitu 2 kilogram, 6 kilogram dan 10 kilogram ke atas meja kerja dengan tinggi masing-masing 55 cm dan 76 cm dengan menggunakan dua postur pengangkatan, postur membungkuk (*Stooping*) dan postur berjongkok (*Squatting*), dan telah terbukti bahwa kedua postur ini lah yang paling disarankan dalam pekerjaan *lifting* (pengangkatan). Hal ini juga diperkuat oleh hasil analisis stres mekanis yang diuji pada eksperimen tersebut sebagai berikut



(a)

(b)

Gambar 2.22 Grafik pengaruh *mechanical work vs motion time*

(a) *squatting posture (leg lift)* **(b)** *stooping posture (back lift)*

Kedua teknik inilah yang akan digunakan dalam proses pengangkatan beban seberat 2 kilogram sampai dengan 10 kilogram.

BAB 3

PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab 3 ini akan berisi tentang pengumpulan, teknis pengambilan data serta pengolahan data yang telah dilakukan dalam penelitian ini. Jenis konfigurasi dan cara pembuatan model manekin dan *environment* juga akan dijelaskan dalam bab ini.

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengukuran langsung terhadap pintu kendaraan tempur yang menjadi objek dalam penelitian yaitu kendaraan tempur Kanon 90 mm tipe *Infantry Fighting Vehicle* (IFV). Data antropometri juga diambil dari *International Journal Anthropometry of the Singaporean and Indonesian military populations 2010* yang dapat merepresentasikan antropometri Tentara Nasional Indonesia.

3.1.1 Data Spesifikasi Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur Kanon 90 mm tipe *Infantry Fighting Vehicle* (IFV)

Kendaraan tempur yang dijadikan sebagai objek penelitian kali ini merupakan kendaraan tempur *Infantry Fighting Vehicle* (IFV). Bagian yang akan diteliti yaitu pada bagian pintu *loading dock* kendaraan tempur IFV tersebut. Berikut spesifikasi *loading dock* kendaraan tempur tersebut.

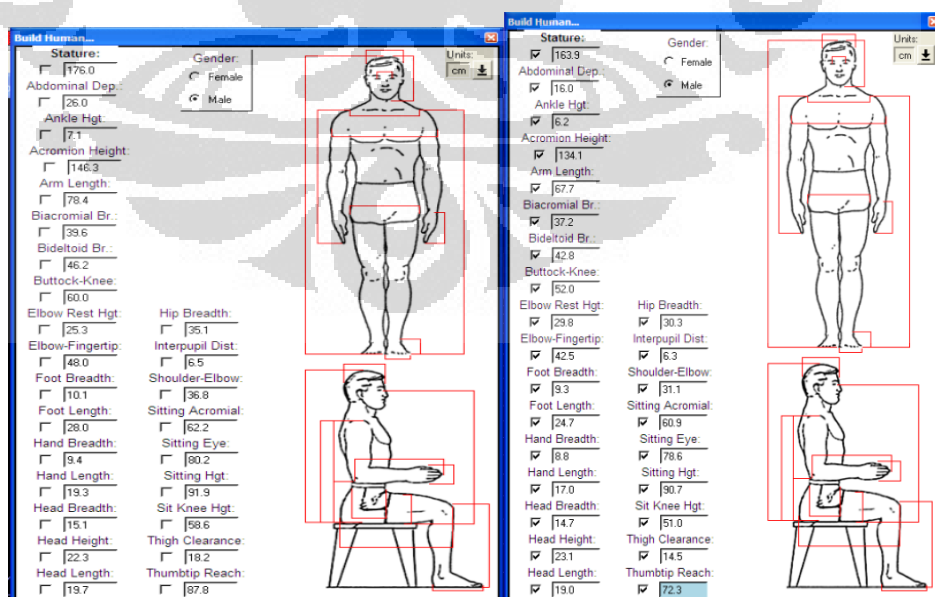
- Tinggi pintu : 106 cm
- Lebar pintu : 112 cm
- Jarak pintu ke tanah : 82 cm
- Kemiringan Patahan pertama : 40 cm dan 20° kearah luar
- Kemiringan Patahan kedua : 70 cm dan 25° kearah dalam



Gambar 3.1 Kendaraan Tempur *Infantry Fighting Vehicle (IFV)*

3.1.2 Data Anthropometri Tentara Nasional Indonesia

Data anthropometri yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) di dalam *software* Jack 6.1 dalam penelitian ini adalah data anthropometri yang disajikan pada jurnal internasional yaitu *International Journal Anthropometry of the Singaporean and Indonesian military populations 2010*. Pemilihan pengambilan data anthropometri dari jurnal ini dikarenakan data tersebut sudah valid dan dapat merepresentasikan tentara nasional Indonesia yang akan menggunakan kendaraan tempur Kanon 90 mm tipe Infantry Fighting Vehicle (IFV) yang diteliti. Data anthropometri yang disajikan diperoleh dari pengukuran 100 personel tentara Indonesia dan Singapura.



Gambar 3.2 Data Antropometri Persentil 95 (kiri) dan Persentil 5 (kanan)

Sumber : Penulis

Berikut merupakan jenis-jenis data antropometri yang diperoleh untuk keperluan dalam software Jack 6.1 sebanyak 16 dimensi tubuh :

- Dimensi tinggi tubuh posisi berdiri tegak (*stature*)
- Tinggi lutut saat duduk kaki tegak
- Jarak antara lantai sampai bawah paha
- Panjang telapak kaki
- Jarak bokong ke lutut (depan)
- Jarak bokong ke lutut (belakang)
- Tinggi bahu dari bantalan duduk
- Tinggi mata dari bantalan duduk
- Tinggi duduk (kepala ke bantalan duduk)
- Jarak bahu ke siku
- Jarak siku ke ujung jari
- Lebar bahu
- Lebar pelana (diukur setinggi pusar)
- Lebar bokong
- Lebar perut (tampak samping)

Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Tentara

No.	Dimensi	Persentil 5	Persentil 95
1.	Tinggi	164.0	176.0
2.	Tinggi lutut saat duduk kaki tegak	51.0	58.6
3.	Jarak antara lantai sampai bawah paha	42.0	48.0
4.	Panjang telapak kaki	24.7	28.0
5.	Jarak Bokong ke lutut depan	52.0	60.0
6.	Jarak bokong ke lutut belakang	43.0	50.6
7.	Tinggi bahu dari bantalan duduk	50.0	59.0
8.	Tinggi mata dari bantalan duduk	69.0	78.0
9.	Tinggi duduk, kepala ke bantalan duduk	79.5	89.0
10.	Jarak bahu ke siku	31.0	37.0
11.	Jarak siku ke ujung jari	42.0	48.0
12.	Lebar bahu	39.0	46.0
13.	Lebar pelana, setinggi pusar	26.0	35.0
14.	Lebar bokong	32.0	40.0
15.	Lebar perut	16.0	26.0
16.	Berat Badan	54.0	75.6

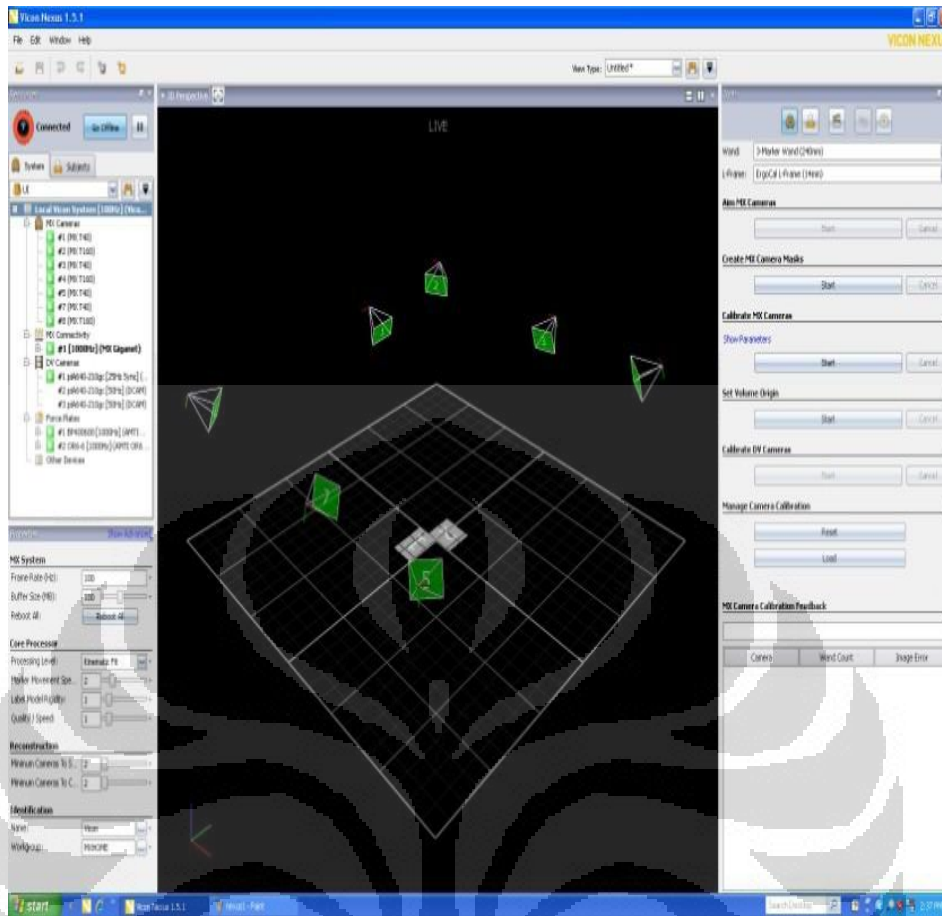
3.1.3 Data Postur dan Gerakan Tentara Mengangkat Peluru Kanon Kaliber 90 mm

Perekaman gerakan tentara ketika mengangkat peluru *turret* untuk kendaraan tempur Kanon 90 mm dilakukan dengan menggunakan peralatan *motion capture* dan Vicon System Observer sebagai operator Vicon System.

Data gerakan yang diperoleh dari perekaman tersebut akan dijadikan sebagai *input* untuk mensimulasikan manekin (*virtual human*) dalam pergerakan mengangkat peluru dan memasukkannya melalui pintu *loading dock* Kanon 90 mm virtual pada *software* Jack 6.1. Postur manekin yang disimulasikan pada *software* Jack 6.1 tersebut akan dijadikan sebagai pertimbangan utama dalam mengeluarkan hasil analisis aspek ergonomi yang dimilikinya.

Peralatan *motion capture* Vicon System yang digunakan terdiri dari 6 kamera MX, 2 plat gaya (*forceplate*) dan 45 *marker*. *Marker* adalah bola-bola kecil yang digunakan untuk memantulkan cahaya inframerah yang dipancarkan kamera LED ke lensa kamera. Penggunaan Vicon System sendiri dilakukan lewat *software* Vicon Nexus 1.5.1. Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam melakukan *motion capture* :

1. Mengkalibrasi Vicon System
2. Mempersiapkan subjek manusia
3. Melakukan proses *motion capture*
4. Menandai *markers*



Gambar 3.3 Tampilan Vicon Nexus 1.5.1

3.1.3.1 Mengkalibrasi Vicon System

Pengkalibrasian Vicon System harus dilakukan sebelum melakukan pengambilan data *motion capture*, kalibrasi dilakukan agar instrumen dapat berjalan dengan baik dan hasil gerakan yang didapat adalah representasi keadaan nyata. Ada 2 jenis alat yang digunakan untuk kalibrasi yaitu wand dan L-frame. Jenis *wand* yang dipakai adalah *3-marker wand (240mm)* dan untuk *L-frame* adalah *ErgoCal L-Frame (14mm)*

Ketika hendak melakukan kalibrasi, alat-alat yang bersifat pendukung dan berhubungan dengan kegiatan *motion capture* harus ditempatkan terlebih dahulu. Frame pintu *loading dock* yang dibuat dari bahan besi harus di posisikan terlebih dahulu. Kemudian kalibrasi baru dapat dilakukan. Pada Vicon Nexus, langkah-langkah kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.4 Penempatan Frame Pintu



Gambar 3.5 Tampilan Tab Calibration pada Vicon Nexus

Ada beberapa hal yang perlu dilakukan agar proses kalibrasi dalam keadaan *live* dapat berhasil dengan sebaik mungkin, salah satunya adalah *masking*. *Masking* adalah proses penutupan cahaya-cahaya *noise*. *Noise* adalah gangguan yang terjadi akibat dari cahaya yang bukan merupakan pantulan dari *markers*, tetapi merupakan pantulan dari benda-benda yang dapat memantulkan cahaya yang terletak di sekitar kamera. Dengan menutup *noise* tersebut, maka proses kalibrasi selanjutnya tidak akan mengalami gangguan.

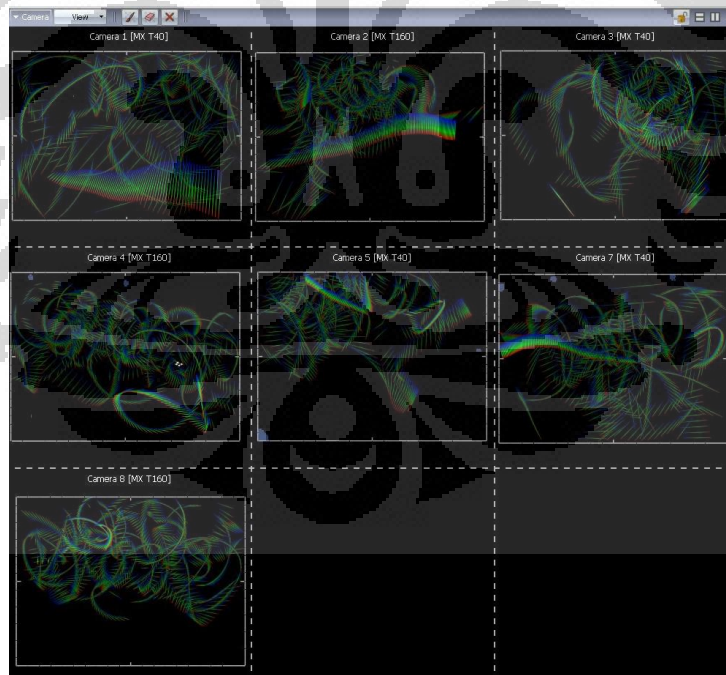
Pada Gambar 3.6 terlihat *noise* cahaya yang telah ditutupi berwarna ungu yang merupakan hasil dari proses *masking*. Proses selanjutnya setelah *masking* adalah kalibrasi untuk kamera MX yang dilakukan dengan menggunakan *3-marker wand* (240 mm). *Wand* tersebut diputar seperti pada Gambar 3.7 mengelilingi daerah perekaman gerakan sehingga *markers* yang terletak dalam daerah perekaman dapat dikenali oleh kamera MX. Pada Gambar 3.8 terlihat hasil kalibrasi kamera MX dengan *wand* yang tersajikan dalam *software* Vicon Nexus 1.5.1



Gambar 3.6 Tampilan Noise yang Telah Ditutup



Gambar 3.7 Proses Kalibrasi dengan *Wand*



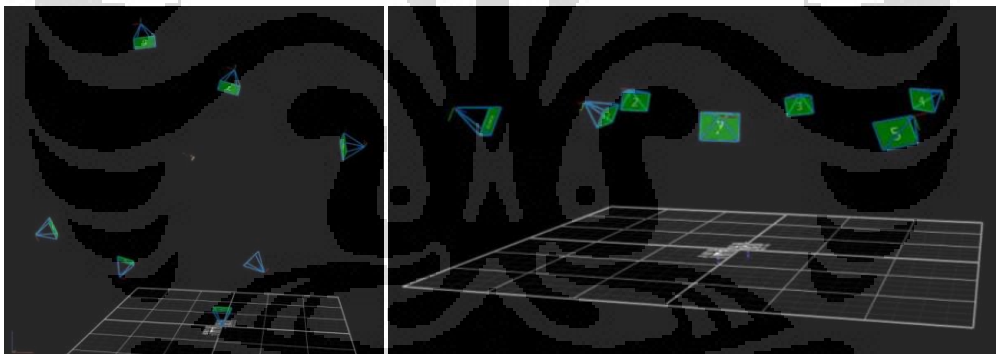
Gambar 3.8 Tampilan *Wand* pada Vicon Nexus

Setelah dilakukan kalibrasi kamera MX, dilakukan proses *Set Volume Origin*. Hal ini dilakukan untuk menetapkan arah X, Y, dan Z pada *virtual*

environment. Pada Gambar 3.9 dapat dilihat peletakan *ErgoCal L-Frame (14mm)* sebagai titik awal (*origin*) dan pada Gambar 3.10 dapat dilihat tampilan sebelum dan sesudah proses *Set Volume Origin*.



Gambar 3.9 Peletakan *L-Frame* pada Area Perekaman



Gambar 3.10 Tampilan Sebelum dan Sesudah Proses *Set Volume Origin*

3.1.3.2 Mempersiapkan Subjek Manusia

Markers ditempelkan pada titik tubuh tertentu pada subjek manusia yang hendak direkam gerakannya agar gerakannya dapat terbaca oleh *Vicon System*. Susunan penempatan *markers* sangat bergantung dengan analisis apa yang akan digunakan. Maka dari itu susunan *markers* yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti analisis yang nantinya digunakan dalam *software* Jack 6.1 untuk menganalisis data gerakan dan postur. Pada Tabel 3.2 dapat dilihat titik-titik tempat *markers* ditempelkan dan penamaannya. Sedangkan ilustrasi penempatan *markers* pada subjek manusia dapat dilihat pada Gambar 3.11.

Tabel 3.2 Susunan *Markers* untuk *Software Jack*

Label	Penempatan
1. TopHead	Ubun-ubun
2. BackHead	Bagian tengah belakang kepala
3.FrontHead	Kening bagian atas
4.LHead	Atas telinga kiri
5. RHead	Atas telinga kanan sedikit ke depan
6. RShoulder	Tengah bahu kanan
7. LShoulder	Tengah bahu kiri
8. BNeck	Belakang leher
9. Sternum	Ujung tulang dada dekat perut
10. LBack	Tonjolan belikat kiri
11.RBack	Ujung tulang rusuk bagian belakang
12. RBicep	Tengah lengan kanan
13. RElbow	Siku kanan bagian luar
14. RPostElbow	Siku kanan bagian dalam
15. RForeArm	Tengah tangan kanan
16. RRadius	Pergelangan tangan kanan searah ibu jari
17. RUlna	Pergelangan tangan kanan searah kelingking
18. Rthumb	Pangkal ibu jari tangan kanan
19. RMHand	Tengah metakarpal kanan
20. Rpinky	Pangkal jari kelingking tangan kanan
21. LBicep	Tengah lengan kiri
22. LElbow	Siku kiri bagian luar
23. LPostElbow	Siku kiri bagian dalam
24. LForearm	Tengah tangan kiri
25. LRadius	Pergelangan tangan kiri searah ibu jari
26. LUlna	Pergelangan tangan kiri searah kelingking
27. LThumb	Pangkal ibu jari tangan kiri
28. LMHand	Tengah metakarpal kiri
29. LPinky	Pangkal kelingking tangan kiri
30. Clav	Pangkal tulang dada dekat leher
31. RASIS	Tonjolan depan tulang panggul kanan
32. LASIS	Tonjolan depan tulang panggul kiri
33. RPSIS	Tonjolan belakang tulang panggul kanan
34. LPSIS	Tonjolan belakang tulang panggul kiri
35. Sacrum	Punggung sejajar rpsis dan lpsis
36. Rhip	Pangkal paha kanan

Tabel 3.3 Susunan *Markers* untuk *Software Jack*

37. LHip	Pangkal paha kiri
38. RThigh	Paha kanan bagian depan
39. RPostThigh	Paha kanan bagian belakang
40. RKnee	Lutut kanan
41. RShank	Betis kanan
42. RAnkle	Mata kaki kanan
43. RHeel	Tumit kanan
44. RToe	Pangkal ibu jari kaki kanan
45. RLatFoot	Pangkal kelingking kaki kanan

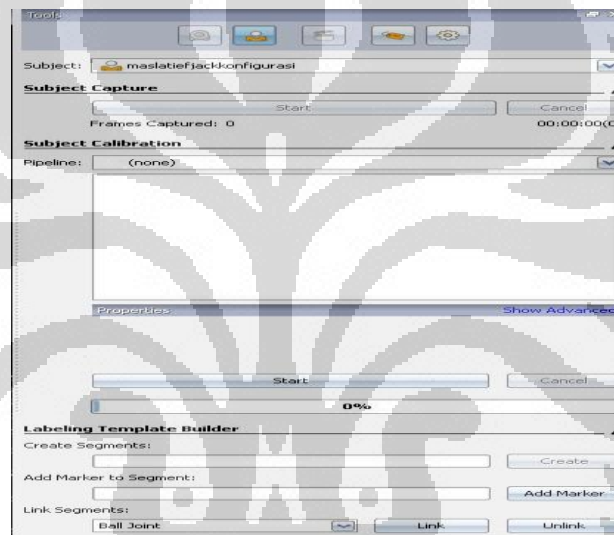


Gambar 3.11 Ilustrasi Penempatan *Markers* di Subjek Manusia

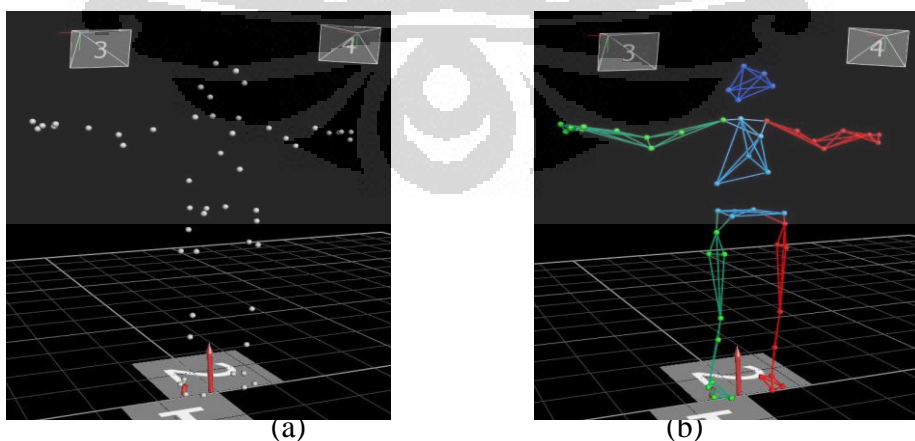
Proses *Subject Calibration* pada software Vicon Nexus 1.5.1 akan dimulai setelah semua *markers* dilekatkan pada subjek. Pada proses *Subject Calibration* Vicon Nexus kemudian akan merekam posisi statik dari subjek yang hendak direkam gerakannya. Posisi statik subjek adalah dengan berdiri di tengah daerah perekaman dengan posisi menyerupai huruf T (*T-Pose*). *T-pose* berguna untuk software Vicon Nexus 1.5.1 agar dapat mengenali masing-masing *markers* yang

dilekatkan pada titik-titik tubuh tertentu ketika dilakukan perekaman gerakan yang dinamis.

Alur kerjanya dimulai dengan merekam *T-Pose* selama 1-7 detik. Kemudian pada keadaan *Offline*, data posisi statis tersebut direkonstruksi dan akan terlihat seperti Gambar 3.13(a). Setelah itu, pada tab Labelling, titik-titik tersebut dinamai sesuai dengan nama dan penempatannya seperti pada Tabel 3.3 dan hasilnya akan terlihat seperti Gambar 3.13(b). Dengan demikian, Vicon Nexus akan otomatis mengenali *markers* tersebut dan mempermudah pengamat dalam mengolah data.



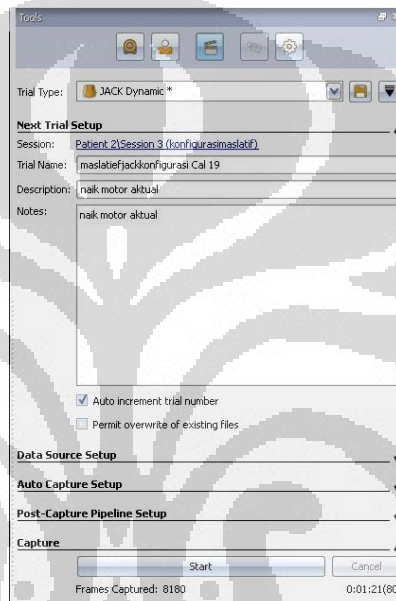
Gambar 3.12 Ilustrasi Tab Labelling



Gambar 3.13 (a) Hasil Rekonstruksi (b) Hasil Rekonstruksi yang Telah Dinamai

3.1.3.3 Melakukan Proses *Motion Capture*

Setelah subjek siap untuk direkam dan sistem telah dikalibrasi, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan proses *motion capture* masuk frame pintu yang dibuat sesuai dengan bentuk dan posisi pintu *loading dock* kendaraan tempur tipe *IFV*. Perekaman dapat langsung dilakukan dengan mengklik tombol *capture* seperti yang terlihat pada gambar 3.14 ketika subjek telah siap di area perekaman. Perekaman dapat dilakukan sebanyak-banyaknya secara cepat karena secara otomatis sesi perekaman akan berganti ketika tombol *Stop* diklik.



Gambar 3.14 Tampilan *Tab Capture*

3.1.3.4 Memberi Label pada *Markers*

Gerakan yang sudah direkam pada proses ini dirapihkan. Hal ini dikarenakan tidak terdeteksinya *markers* oleh kamera MX yang kerap kali terjadi atau Vicon Nexus salah menamai *markers* sesuai pada kalibrasi *T-pose*. Tidak terdeteksinya *markers* dapat seringkali terjadi karena *markers* tertutupi oleh bagian tubuh subjek manusia itu sendiri.

Data gerakan diberi label dan direkonstruksi secara otomatis, akan tetapi pada prosesnya terkadang ada beberapa *markers* yang salah penempatan dan hilang sehingga membuat kerangka manusia menjadi tidak seperti yang diharapkan. *Manual labelling* dilakukan untuk memposisikan ulang *markers* yang hilang dan salah penamaan sehingga kerangka manusia kembali normal dan dapat

diproses lebih lanjut pada software Jack 6.1. Setelah proses *Labelling* ini, data postur dan gerakan memasukan peluru *turret* 90 mm ke dalam kendaraan tempur berupa kerangka manusia telah siap untuk diolah menjadi *virtual human* pada *software* Jack 6.1.

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Jack 6.1. Ada 6 tahapan umum yang dilakukan dalam pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack 6.1, yaitu :

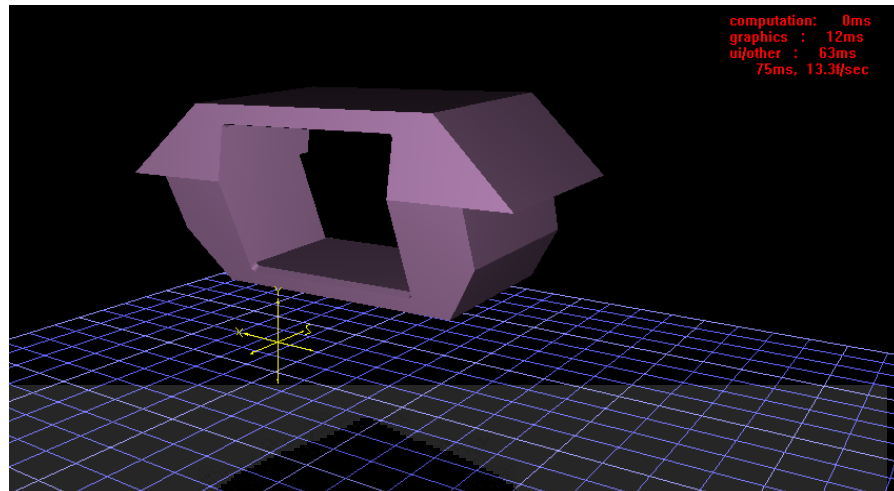
1. Membuat lingkungan virtual (*virtual environment*).
2. Memasukkan data postur statis manusia
3. Membuat manekin (*virtual human*)
4. Menyatukan manekin dengan data postur statis manusia
5. Memberikan beban (*weights*)
6. Menganalisa Kinerja Manekin dan Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual (*Virtual Environment*)

Tahapan awal dari pengolahan data menggunakan *software* Jack 6.1 adalah membangun lingkungan virtual. Lingkungan virtual yang ada pada penelitian ini adalah model pintu *loading dock* kendaraan tempur tipe *IFV*.

Pembuatan model tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* AutoCad. . Pemilihan *software* ini dikarenakan fitur-fitur pada *software* yang sesuai dengan kebutuhan. Selain itu *software* AutoCad juga digunakan untuk memudahkan proses pemasukkan model ke *software* Jack 6.1.

Software AutoCad digunakan untuk membuat model pintu *Loading Dock* panzer yang kemudian dimasukkan ke dalam *software* Jack 6.1 untuk melakukan gerakan *Leg Lift* dalam memasukan peluru *turret* berkaliber 90 mm dari kendaraan tempur panzer Kanon 90 mm tipe *Infantry Fighting Vehicle* (IFV).

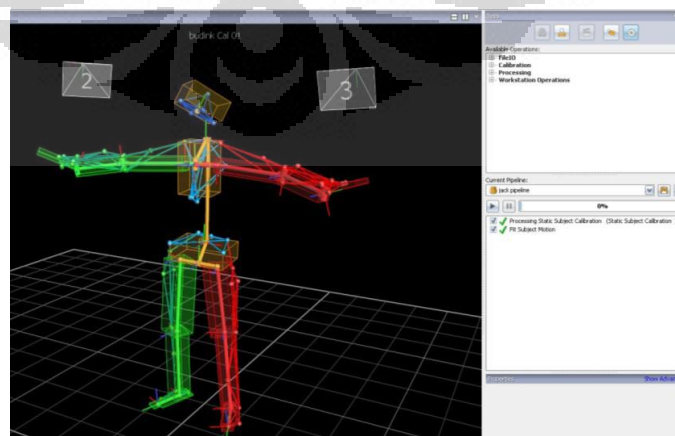


Gambar 3.15 Model Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur

Setelah semua model yang diperlukan selesai dibuat, langkah selanjutnya yaitu mengkonversikan model tersebut kedalam format STL File (*.stl). Model yang sudah di konversi ke format STL File kemudian dapat dimasukkan ke dalam *software* Jack 6.1 agar bisa digunakan.

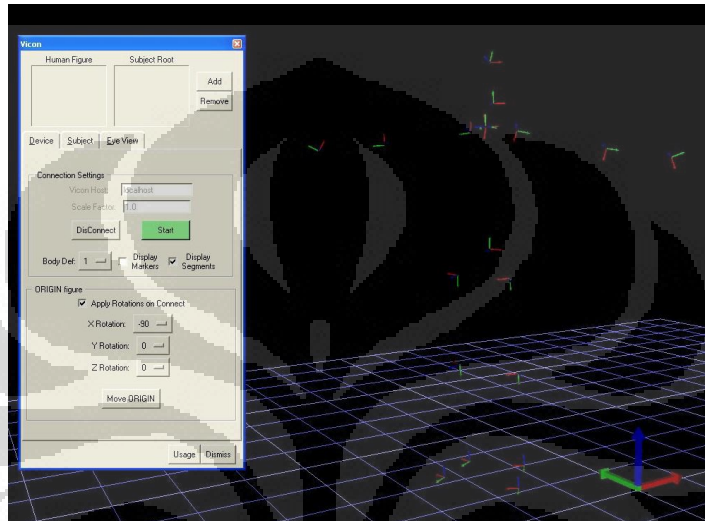
3.2.2 Memasukkan Data Postur Statis Manusia

Data postur statis manusia digunakan sebagai pegangan utama bagi manekin agar dapat bergerak sesuai gerakan sebenarnya. Pada proses ini, *software* Vicon Nexus 1.5.1 dan Jack 6.1 saling berhubungan. Pada *software* Vicon Nexus pertama kali dibuka data postur *T-pose* yang telah dilabel. Pada *tab Processing* dijalankan *pipeline Static Subject Calibration* dan *Fit Subject Motion* dan klik *Play*.

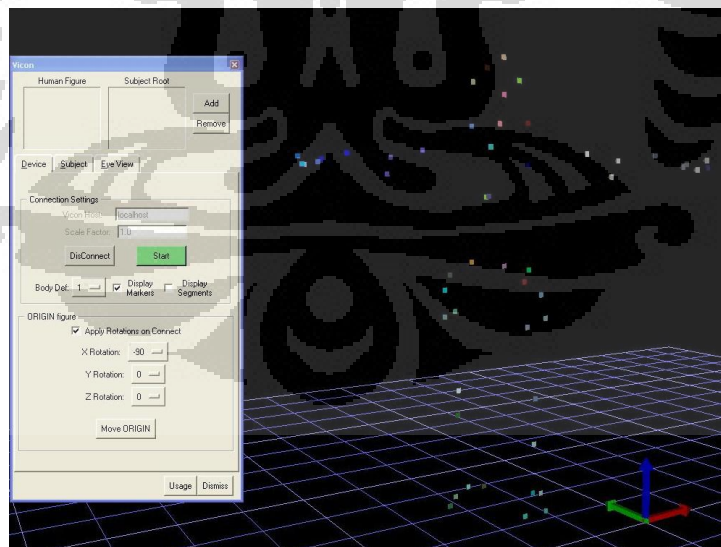


Gambar 3.16 Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan *Pipeline*

Setelah *pipeline* dijalankan, maka data postur siap untuk ditranslasikan ke *software* Jack 6.1 dengan menggunakan modul *motion capture* untuk Vicon. Jika *software* Vicon Nexus dan Jack berhasil terkoneksi maka akan terlihat segmen-segmen tubuh menyerupai *T-pose* pada Jack. Segmen-segmen tersebut dapat diganti menjadi tampilan *markers* ataupun dihilangkan tergantung kemauan peneliti.



Gambar 3.17 Postur dengan *Display Segments*



Gambar 3.18 Postur dengan *Show Markers*

3.2.3 Membuat Manekin (*Virtual Human*)

Setelah postur tubuh *T-pose* telah dimasukkan, maka langkah selanjutnya adalah membuat manekin (*virtual human*). Membuat manekin akan berdasarkan data antropometri tentara yang sudah ada.

Manekin pada *software* Jack 6.1 terdiri dari 71 segmen, 69 persendian, serta 135 derajat kebebasan. Dalam mendefinisikan bentuk dan ukuran dimensi tubuh manekin manusia, *software* Jack 6.1 menyediakan *database* antropometri yang mengacu pada ANSUR (*Army Natick Survey User Requirement*) sebagai *default*. Namun demikian *software* Jack 6.1 juga menyediakan menu tersendiri yang memungkinkan pengguna untuk membuat manekin dengan data antropometri tertentu.

Manekin pada penelitian ini menggunakan manekin *High Resolution Man*. Maka secara otomatis manekin manusia akan muncul pada lingkungan virtual. Setelah itu manekin tersebut diubah ukuran tubuhnya sehingga sesuai dengan data antropometri yang digunakan.

Ada dua cara memasukkan data antropometri pada manekin. Cara pertama adalah *basic scaling* dan yang kedua adalah *advanced scaling*. Metode *basic scaling* adalah dengan cara memasukkan nilai tinggi badan dan berat badan yang dimiliki ke dalam form isian yang tersedia tampilan menu.

Selain dengan metode *basic scaling*, *software* Jack 6.1 juga menyediakan metode *advanced scaling* dalam mendefinisikan dimensi dan bentuk tubuh manekin. Perbedaannya bila dibandingkan dengan *basic scaling* adalah *advanced scaling* memungkinkan pengguna untuk memasukkan data ukuran tubuh secara lebih detail,

3.2.4 Menyatukan Manekin dengan Data

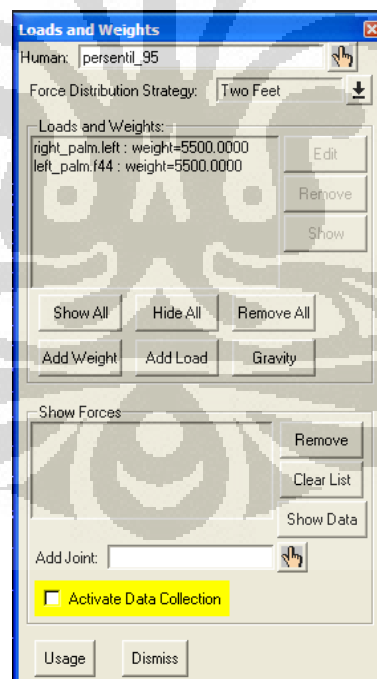
Pada tahapan ini manekin yang telah dibuat sebelumnya digabungkan dengan hasil *motion capture* yang telah dilakukan. Hal pertama yang dilakukan yaitu memasang manekin pada segmen yang ingin disatukan melalui *Add Pair*. Pilih manekin yang akan disatukan, kemudian secara otomatis postur manekin akan mengikuti segmen yang telah direkam dengan menekan *Capture T-*

pose Offset pada *tab Subject* menu modul Vicon. Manekin kemudian dikunci dengan segmen gerakan tersebut dengan menekan *Constrain*. Setelah itu, kembali ke *tab Device* lalu menekan tombol *Start*, maka manekin akan mengikuti gerakan-gerakan sesuai yang direkam pada Vicon Nexus.

3.2.5 Memberi Beban (*Weights*)

Manekin dikondisikan dengan tentara pekerja yang hendak memasukkan peluru *turret* Kanon 90 mm melalui pintu *loading dock*. Beban didistribusikan di kedua tangan pekerja seberat masing-masing tangan 5.5 kilogram karena berat satu peluru untuk *turret* 90 mm adalah 11 kilogram.

Pemberian beban pada kedua tangan manekin tersebut dilakukan melalui modules *Loads And Weights* seperti pada gambar 3.19. Force Distribution Strategy yang digunakan yaitu *two feet*, hal ini dikarenakan postur tubuh tentara yang berdiri ketika akan mengangkat peluru dan memasukkannya kedalam kendaraan tempur.



Gambar 3.19 Modul *Loads And Weights*

3.2.6 Memilih Jenis *Lifting Motion* dengan Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Memilih jenis *lifting motion* dengan melihat nilai *Static Strength Prediction* (SSP), *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) yang terdapat pada *Task Analysis Toolkits* (TAT). Nilai yang dihasilkan dari masing metode tersebut kemudian di catat dan dimasukkan kedalam perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI).

Dibawah ini adalah perhitungan nilai PEI untuk kondisi aktual dan menentukan *lifting motions* yang akan dipilih (*back lift* atau *leg lift*) pada manekin persentil 5 dan 95 yang mempunyai hasil sebagai berikut :

PERHITUNGAN PEI		
Persentil 5 back lift	LBA	1787
	OWAS	2
	RULA	7
	PEI	2.448529
Persentil 5 leg lift	LBA	1813
	OWAS	2
	RULA	7
	PEI	2.394412
Persentil 95 back lift	LBA	1816
	OWAS	3
	RULA	7
	PEI	2.704118
Persentil 95 leg lift	LBA	2150
	OWAS	2
	RULA	7
	PEI	2.552353
Waktu rata-rata back lift	3.474	
Waktu rata-rata leg lift	2.834	

Tabel 3.3 Rekapitulasi Hasil Analisis TAT pada *Software Jack 6.1*

$PEI = 1797/3400 + 2/4 + (7/7 \times 1.42)$ $PEI = 0.528529 + 0.5 + 1.42$ $PEI = 2.448529$	Persentil 5 back lift
$PEI = 1613/3400 + 2/4 + (7/7 \times 1.42)$ $PEI = 0.474412 + 0.5 + 1.42$ $PEI = 2.394412$	Persentil 5 leg lift
$PEI = 1816/3400 + 3/4 + (7/7 \times 1.42)$ $PEI = 0.534118 + 0.75 + 1.42$ $PEI = 2.704118$	Persentil 95 back lift
$PEI = 2150/3400 + 2/4 + (7/7 \times 1.42)$ $PEI = 0.632353 + 0.5 + 1.42$ $PEI = 2.552353$	Persentil 95 leg lift

Tabel 3.4 Rekapitulasi Kalkulasi Nilai PEI untuk Persentil 5 dan 95 Pada *Back Lift* dan *Leg Lift*

Nilai PEI yang dihasilkan dari setiap jenis *lifting motion* kemudian dibandingkan. dan dipilih *lifting motion* yang memiliki nilai PEI paling kecil sebagai *lifting motion* yang digunakan untuk mengkerucutkan masalah dan terlebih lagi dalam menentukan desain pintu *loading dock* kendaraan tempur yang ergonomis yang dalam penelitian ini adalah *leg lift*.

3.3 Perancangan Konfigurasi Model

Sebelum merancang konfigurasi model pintu, peneliti terlebih dahulu menghitung nilai PEI yang lebih rendah dari kedua jenis *lifting motions* untuk melihat teknik mana yang lebih baik digunakan dengan spesifikasi pekerjaan yang ada. Setelah memilih *lifting motion* dengan nilai PEI terkecil barulah peneliti melakukan Perancangan konfigurasi model. Perancangan konfigurasi model perlu di lakukan untuk menentukan desain pintu *loading dock* kendaraan tempur yang lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual berdasarkan perhitungan nilai *Postur Evaluation Index* (PEI). Setelah nilai PEI dari setiap konfigurasi diperoleh, kemudian nilai tersebut akan dibandingkan untuk mencari konfigurasi yang memiliki nilai PEI yang terkecil.

Perancangan konfigurasi dilakukan berdasarkan kendala yang terjadi di lapangan ketika mengangkat peluru kanon 90 mm seberat 11 kilogram dan memasukkannya ke dalam loker peluru kendaraan tempur. Variabel yang menjadi masalah yaitu lebar pintu dan penambahan pijakan di bawah pintu *loading dock* kendaraan tempur tersebut.

Penentuan lebar pintu dalam konfigurasi yang akan di rancang dilihat dari ruang kosong yang terdapat di samping pintu aktual sehingga tidak mengganggu desain utama kendaraan tempur. Dari pengamatan yang diperoleh di lapangan, didapatlah lebar pintu yang dapat di tambah untuk konfigurasi desain yang akan di rancang yaitu sepanjang 5 cm ke samping kanan dan ke samping kiri dari lebar pintu kendaraan tempur yang aktual.

Terdapat dua jenis variabel untuk merancang pijakan dalam konfigurasi yang akan dibuat, yaitu tinggi tangga dan sudut tangga. Penentuan kedua variabel tersebut dilakukan dengan cara studi literatur sehingga diperoleh tinggi tangga yang menjadi konfigurasi yaitu sejauh 30 cm dan 15 cm dari dasar pintu *loading dock*, serta dengan dua buah sudut yaitu 50° dan 75° . Berikut ini merupakan tabel konfigurasi desain yang akan dibuat:

Tabel 3.5 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat

Konfigurasi	Posisi Pijakan Kaki	Kemiringan Pijakan	Lebar Pintu	Persentil	Keterangan
1	Tidak ada (aktual)	Tidak ada (aktual)	Aktual	5	Aktual
				95	
2	Tidak ada (aktual)	Tidak ada (aktual)	Diperlebar 5 cm ke kanan dan ke kiri	5	
				95	
3	30 cm dibawah pintu	50 derajat	Aktual	5	
				95	
4	30 cm dibawah pintu	50 derajat	Diperlebar 5 cm ke kanan dan ke kiri	5	
				95	
5	15 cm dibawah pintu	75 derajat	Aktual	5	
				95	
6	15 cm dibawah pintu	75 derajat	Diperlebar 5 cm ke kanan dan ke kiri	5	Perubahan
				95	

Keterangan: jarak perpindahan diukur terhadap posisi aktualnya

3.4 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat berhasil disimulasikan. Sementara validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi model bernilai tepat. Dengan kata lain,

verifikasi model lebih berorientasi pada proses yang dapat berlangsung, sedangkan validasi model lebih berorientasi pada hasil.

Verifikasi dilakukan dengan menjalankan animation system yang telah dibuat sambil memperhatikan output yang dihasilkan dari Task Analysis Toolkits berupa nilai SSP, OWAS, dan RULA. Ternyata selama simulasi dijalankan, perubahan postur yang terjadi menyebabkan perubahan nilai pada LBA, OWAS, maupun RULA. Ini berarti, model yang dibuat telah berhasil disimulasikan dan bisa dikatakan telah diverifikasi.

Sedangkan validasi model dilakukan dengan cara merekayasa beban pada kedua tangan yang melebihi nilai normal. Jika pada kondisi aktual, beban angkut pada tangan memiliki berat 11 kg (massa rata-rata satu buah peluru *turret* 90 mm). Maka pada saat validasi model, beban angkut dinaikkan menjadi 13 kg (masing-masing 6.5 kg pada tangan kanan dan kiri) dan 15 kg (masing-masing 7.5 kg untuk tangan bagian kanan dan kiri). Penambahan beban pada tangan seharusnya mempengaruhi nilai LBA yang diperoleh. Semakin berat beban yang diangkat tangan, maka semakin besar pula nilai LBA yang akan diperoleh. Jika hubungan berbanding lurus ini terjadi, maka dapat dikatakan model ini valid.

Validasi dilakukan terhadap keadaan aktual di bagian bahu. Dalam keadaan normal (beban 11 kg), nilai LBA untuk persentil 5 diperoleh sebesar 1797 N. Sedangkan ketika beban ditambah menjadi 13 kg dan 15 kg, maka nilai LBA yang diperoleh berturut-turut menjadi 2122 N dan 2306 N. Dengan demikian, model ini bisa dikatakan valid.

BAB 4

ANALISIS

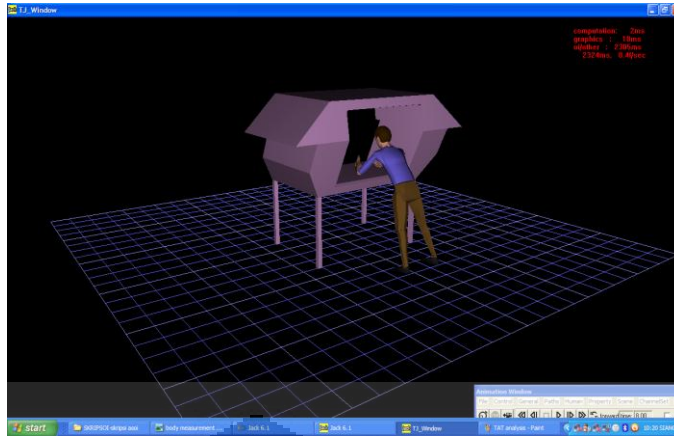
Pada bab ini akan dibahas penjelasan setiap konfigurasi dari desain pintu *loading dock* dan perbandingan nilai *Posture Evaluation Index* dengan desain aktual yang didapatkan dengan mengukur secara langsung pintu *loading dock* pintu kendaraan tempur kanon 90 mm tipe *Infantry Fighting Vehicle*. Nilai PEI didapatkan dari mengkalkulasi ketiga nilai yang ada pada *Task Analysis Toolkit* pada *software* Jack 6.1 yaitu *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Nilai PEI yang didapatkan untuk masing-masing konfigurasi tersebut dibandingkan antara satu dengan yang lainnya untuk mendapatkan konfigurasi yang paling ergonomis untuk pintu *loading dock* kendaraan tempur, yaitu konfigurasi dengan nilai PEI yang paling kecil. Pembahasan akan dilakukan secara berurutan dari konfigurasi 1 sampai dengan konfigurasi 6.

4.1 KONFIGURASI 1 : Analisa Desain Aktual Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur

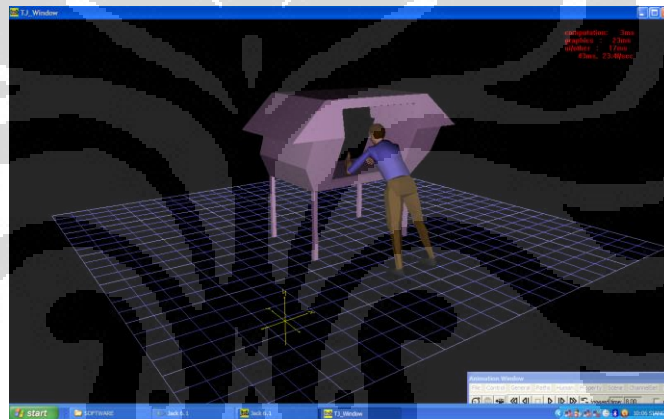
Desain aktual adalah desain dengan dimensi pintu sesuai dengan dimensi pada kenyataannya dan tidak diberlakukan konfigurasi pada pintu tersebut. Pintu *Loading Dock* panser Kanon 90 mm tipe *Infantry Fighting Vehicle* (IFV) mempunyai ukuran sebagai berikut:

- Panjang pintu : 112 cm
- Lebar pintu : 106 cm
- Jarak pintu dengan tanah : 82 cm

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dibawah ini adalah desain pintu *loading dock* aktual dengan menggunakan persentil 5 dan 95.



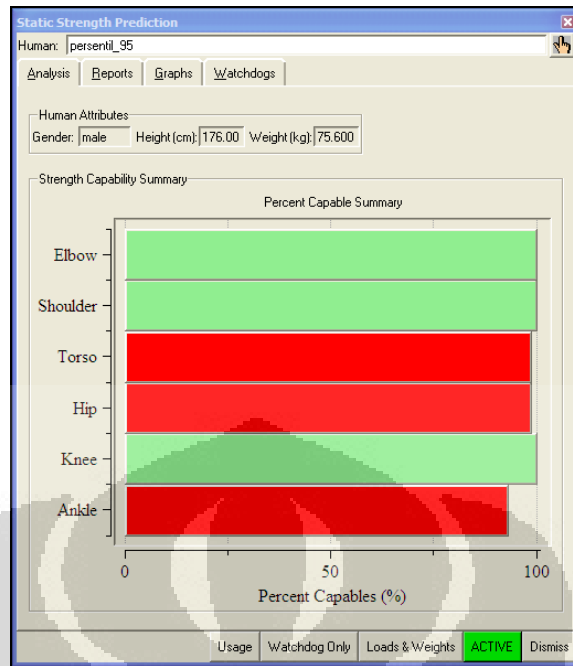
Gambar 4.1 Desain Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 5



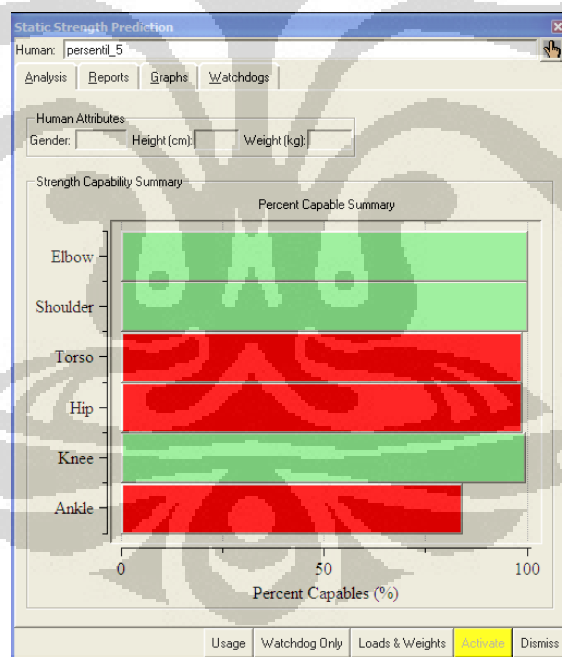
Gambar 4.2 Desain Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 95

4.1.1 Static Strength Prediction

Sebelum dilakukan kalkulasi nilai PEI, peneliti terlebih dahulu melakukan analisa Static Strength Prediction (SSP). Analisa SSP dilakukan untuk kapabilitas manusia untuk melakukan postur atau gerakan yang disimulasikan. Ada enam bagian tubuh yang diukur kapabilitasnya, yaitu siku (*elbow*), bahu (*shoulder*), batang tubuh (*torso*), pinggul (*hip*), lutut (*knee*), serta pergelangan kaki (*ankle*). Dibawah ini akan disajikan grafik SSP dari manekin persentil 5 dan 95 yang didapatkan dari *software* Jack 6.1



Gambar 4.3 Grafik SSP Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 95



Gambar 4.4 Grafik SSP Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 5

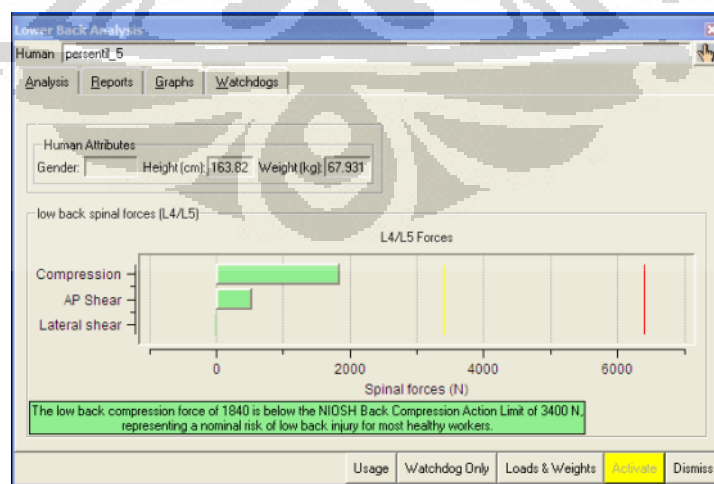
Dari gambar grafik SSP tersebut, terlihat ada tiga bagian tubuh yang berwarna merah yaitu batang tubuh (*torso*), pinggul (*hip*) dan pergelangan kaki

(*ankle*). Hal ini menandakan bahwa tidak semua orang dapat melakukan gerakan yang disimulasikan dan hanya orang-orang yang terlatih saja yang dalam hal ini adalah TNI yang dapat melakukannya. Grafik SSP ini juga menunjukkan bahwa desain pintu *loading dock* kendaraan tempur lebih ekstrim daripada desain kendaraan pada umumnya.

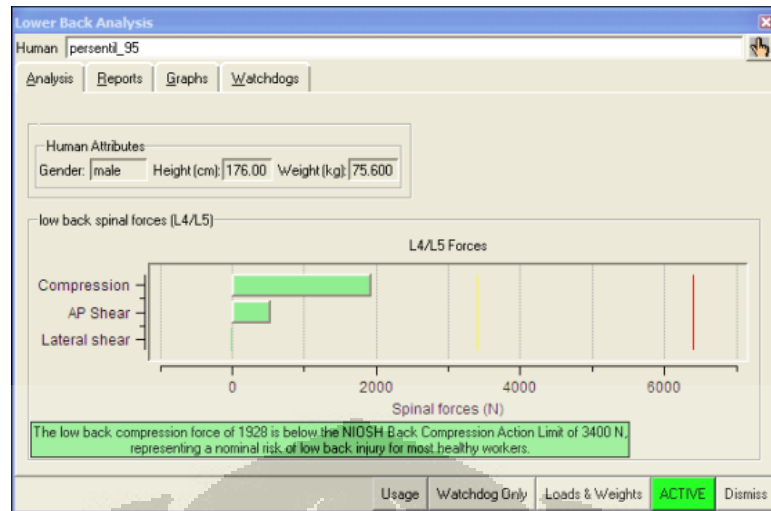
Grafik SSP yang berwarna merah tersebut disebabkan dari gerakan manekin pada saat memasukkan peluru *turret* 90 mm seberat 11 kilogram dengan gerakan *leg lift* yang mengharuskan batang tubuh untuk condong ke depan, pinggul yang menahan beban dan pergelangan kaki untuk menopang beban berat peluru yang dialami pada kedua tangan.

4.1.2 Lower Back Analysis (LBA)

LBA adalah suatu metode untuk mengevaluasi *compression* (tekanan) pada tulang belakang manusia dalam postur kerja dan kondisi beban tertentu. Tekanan standar yang menjadi batasan menurut NIOSH adalah 3400 N, tulang belakang manusia yang mengalami tekanan lebih 3400 N akan cenderung mengalami cedera tulang belakang. Dibawah ini adalah kedua gambar dari grafik LBA pada manekin persentil 5 dan persentil 95 ketika mensimulasikan *leg lift* pada konfigurasi 1 yaitu desain aktual pintu *loading dock* kendaraan tempur.



Gambar 4.5 Grafik LBA Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 5



Gambar 4.6 Grafik LBA Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 95

Pada grafik LBA diatas dapat dilihat bahwa compression untuk tulang belakang persentil 5 adalah sebesar 1840 N dan compression untuk persentil 95 adalah sebesar 1940 N. Kedua gaya compression ini masih berada jauh dibawah batasan compression oleh NIOSH yaitu 3400 N yang berarti resiko terjadinya cedera tulang belakang cenderung rendah. Nilai LBA yang diambil adalah nilai LBA terbesar saat simulasi dengan manekin dijalankan, karena seiring dengan berjalannya simulasi nilai LBA cenderung berubah sesuai dengan tekanan yang dialami oleh tulang belakang pada postur saat itu.

4.1.3 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

Dalam *Task Analysis Toolkit* pada *software Jack 6.1* OWAS berfungsi untuk mengetahui tingkat kenyamanan dari sebuah postur kerja dan mengetahui seberapa perlunya untuk dilakukan perbaikan dari postur kerja yang lama untuk mengurangi potensi cedera pada pekerja. Ketidaknyamanan yang dievaluasi dengan OWAS adalah ketidaknyamanan dari postur kerja terhadap tulang punggung, kedua tangan dan kaki dan juga beban kerja yang disimulasikan. Evaluasi ketidaknyamanan postur kerja dinyatakan dalam bentuk kode OWAS. Kode OWAS terdiri dari empat digit angka yang masing-masing angka menggambarkan tingkat kenyamanan punggung (*back*), lengan (*arm*), kaki (*leg*), dan beban angkut (*load handle*). Table 4.1 dibawah ini menjelaskan tentang deskripsi kode OWAS.

Body parts	OWAS code	Description of position
Back	1	Back straight
	2	Back bent
	3	Back Twisted
	4	Back bent and twisted
Arm	1	Both arms below shoulder level
	2	One arm at or above shoulder level
	3	Both arms at or above shoulder level
Leg	1	Sitting
	2	Standing on both straight legs
	3	Standing on one straight legs
	4	Standing or squatting on both feet, knees bent
	5	Standing or squatting on one foot, knee bent
	6	Kneeling on one or both knee
	7	Walking or moving
Load Handle	1	Load < 10kg
	2	10 < Load < 20kg
	3	Load > 20kg

Tabel 4.1 Deskripsi Kode OWAS

Kombinasi dari kode OWAS diatas akan menghasilkan suatu nilai total yang menunjukkan tingkat urgensi pengambilan suatu aksi perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera pada pekerja. Adapun kategori nilai OWAS total yang menunjukkan tingkat urgensi perlunya dilakukan perbaikan dapat dilihat pada tabel 4.2.

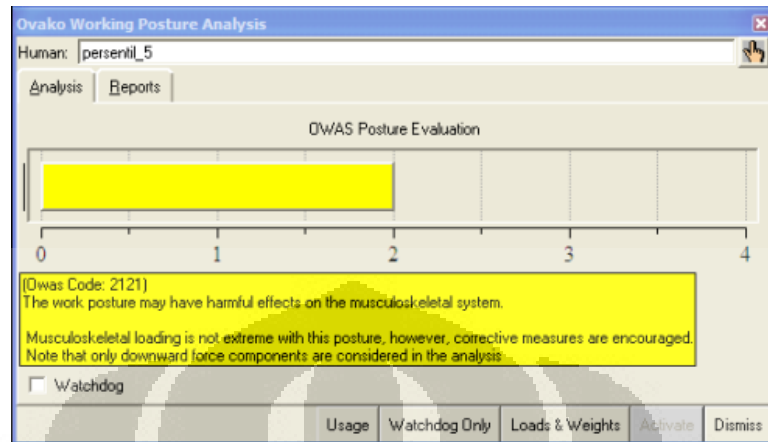
OWAS Category	Description
Action category I	Work postures are considered usually with no particular harmful effect on musculoskeletal system. No actions are needed to change work postures
Action category II	Work postures have some harmful effect on the musculoskeletal system Light stress, no immediate action is necessary, but changes should be considered in future planning
Action category III	Work postures have a distinctly harmful effect on the musculoskeletal system The working methods involved should be changed as soon as possible
Action category IV	Work postures with an extremely harmful effect on the musculoskeletal system. Immediate solutions should be found to change these postures

Tabel 4.2 Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS

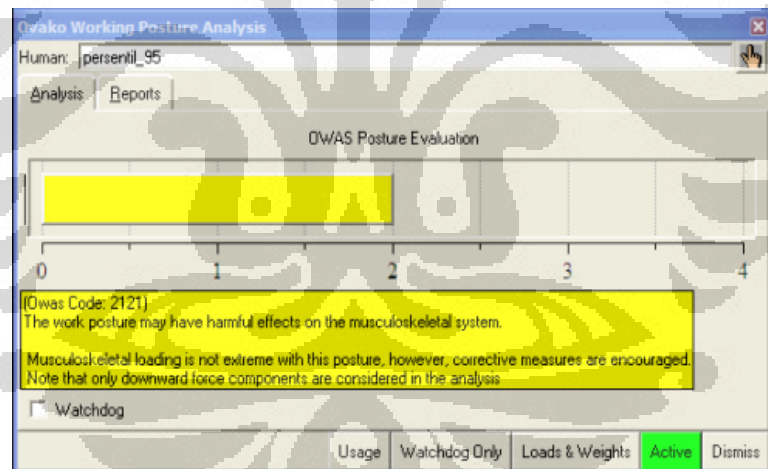
Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

Dibawah ini adalah kedua gambar tampilan OWAS pada persentil 5 dan persentil 95 pada manekin yang sedang mensimulasikan *leg lift* dalam

pengangkatan peluru *turret* 90 mm seberat 11 kilogram melalui pintu *loading dock* kendaraan tempur dengan konfigurasi 1 yaitu desain aktual.



Gambar 4.7 Hasil OWAS Desain Aktual Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur Persentil 5



Gambar 4.8 Hasil OWAS Desain Aktual Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur Persentil 95

Pada gambar grafik OWAS diatas didapat nilai OWAS yang sama untuk kedua persentil yaitu 2 dengan kode OWAS yang sama pula yaitu 2121 karena simulasi *leg lift* yang dilakukan oleh kedua persentil memang mempunyai gerakan yang serupa. Kode OWAS yang tertera diatas memiliki arti sebagai berikut :

1. Postur bagian punggung masuk dalam kategori nilai 2, yang menunjukkan bahwa postur punggung dalam keadaan membungkuk.
2. Postur bagian lengan bernilai 1, yang menunjukkan bahwa postur kedua lengan berada di bawah bahu. Postur ini merupakan postur paling ergonomis karena memiliki resiko cedera yang paling kecil.
3. Postur bagian kaki memiliki nilai 2, yang menunjukkan bahwa kedua kaki dalam kondisi memiliki tumpuan (bertumpu pada pijakan kaki), dan postur lutut dalam keadaan lurus.
4. Karena beban yang diberikan pada bagian pundak dan kepala untuk mensimulasikan tentara yang sedang mengangkat peluru turet berkaliber 90 mm seberat 11 kilogram, maka nilai untuk beban ini masuk dalam kategori 1.

4.1.4 *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

RULA adalah sebuah analisis dalam TAT pada *software* Jack 6.1 yang berfungsi untuk mengetahui tingkat resiko cedera dan gangguan *musculoskeletal* pada tubuh bagian atas khususnya persendian. RULA mengevaluasi kualitas postur tubuh, penggunaan otot, berat beban yang diterima, durasi kerja dan frekuensi. Nilai yang kemudian tertera pada hasil RULA mempunyai penjelasan masing-masing. Nilai 1 dan 2 pada RULA berarti resiko masih dapat diterima. Nilai 3 dan 4 pada RULA berarti harus dilakukan investigasi lebih lanjut. Nilai 5 dan 6 pada RULA berarti harus dilakukan investigasi lebih lanjut dan harus dilakukan perbaikan sesegera mungkin. Nilai 7 berarti harus dilakukan investigasi dan diberi perbaikan.

Ada dua bagian tubuh yang dievaluasi oleh RULA yaitu *Body Group A* dan *Body Group B*. *Body Group A* meliputi lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*lower arm*), pergelangan tangan (*wrist*) dan puntiran pergelangan tangan (*wrist twist*). *Body Group B* meliputi leher (*neck*) dan batang tubuh (*trunk*). Dibawah ini adalah hasil RULA dari simulasi yang dilakukan dengan manekin persentil 5 dan persentil 95 pada konfigurasi 1 pintu *loading dock* kendaraan tempur.

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 4
 Lower arm: 2
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 Total: 7

Body Group B Posture Rating

Neck: 4
 Trunk: 3
 Total: 6

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 7
 Action: Investigation and changes are required immediately.

Update Analysis

Usage | Dismiss

Gambar 4.9 Hasil RULA Desain Aktual Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 4
 Lower arm: 2
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 Total: 7

Body Group B Posture Rating
 Neck: 4
 Trunk: 3
 Total: 6

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating
 Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 7
 Action: Investigation and changes are required immediately.

Update Analysis

Usage Dismiss

Gambar 4.10 Hasil RULA Desain Aktual Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Pada kedua hasil RULA di atas dapat dilihat bahwa di kedua persentil mempunyai nilai RULA maksimum yaitu 7 dengan resiko cedera paling tinggi. Maka dari itu perlu dilakukan perbaikan untuk mengurangi resiko cedera tersebut. Salah satu cara untuk mengurangi resiko cedera tersebut adalah dengan merubah desain pintu *loading dock* dengan tujuan mengurangi nilai RULA dan analisis lainnya dalam TAT yang diperlukan untuk mendapatkan nilai PEI.

4.1.5 Perhitungan Nilai PEI

Nilai PEI dapat dihitung setelah mendapatkan nilai LBA, OWAS dan RULA. Nilai PEI untuk persentil 5 dan persentil 95 pada konfigurasi 1 dapat dihitung dengan rumus PEI yaitu :

$$PEI = I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$$

Dimana :

- $I1 = LBA / 3400 N$
- $I2 = OWAS / 4$
- $I3 = RULA / 7$
- $Mr = \text{amplification factor of } 1.42$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 5 pada konfigurasi 1 pintu *loading dock* :

$$\begin{aligned} &= 1840 / 3400 + 2 / 4 + (7 / 7 \times 1.42) \\ &= 0.54 + 0.5 + 1.42 \\ &= 2.46 \end{aligned}$$

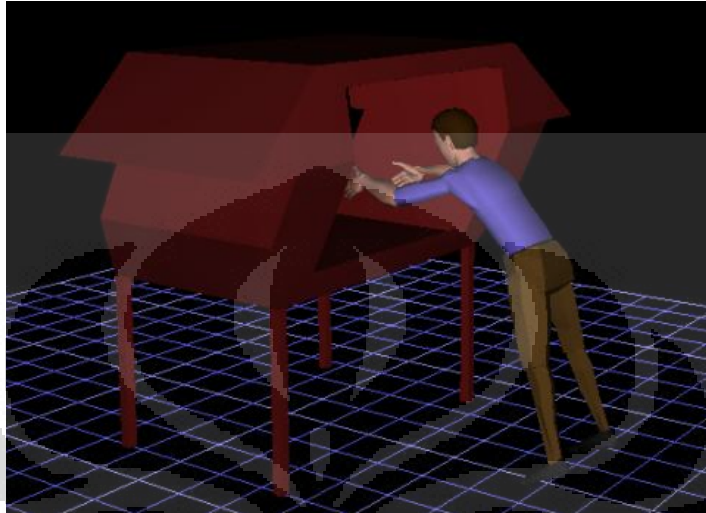
Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 95 pada konfigurasi 1 pintu *loading dock* :

$$\begin{aligned} &= 1928 / 3400 + 2 / 4 + (7 / 7 \times 1.42) \\ &= 0.56 + 0.5 + 1.42 \\ &= 2.48 \end{aligned}$$

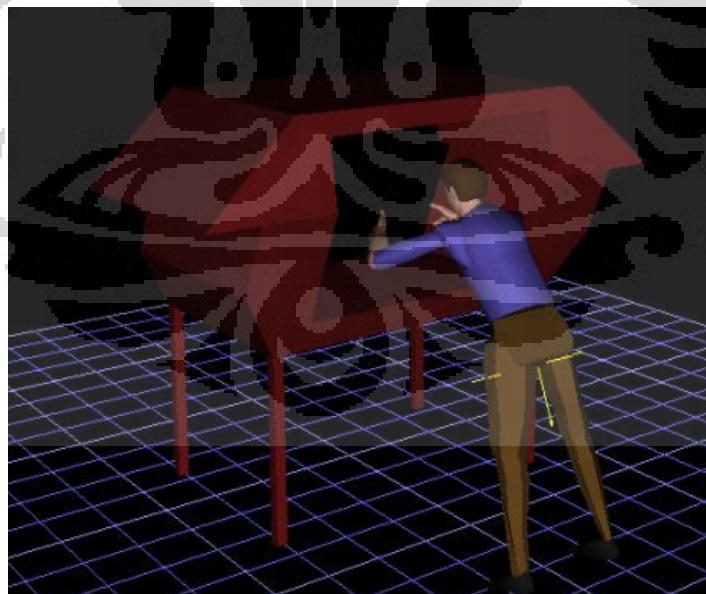
4.2 KONFIGURASI 2 : Analisa Desain Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur dengan Perlebaran Pintu 10 cm

Pada konfigurasi 2, peneliti menambahkan lebar pintu sebesar 10 cm, dengan melebarkan ke arah kanan dan ke arah kiri masing-masing sebesar 5 cm. Tujuan dari peneliti menambahkan lebar pintu *loading dock* adalah untuk menambahkan *accessibility* dalam memasukkan peluru *turret* 90 mm ke dalam loker peluru yang berada di belakang pintu *loading dock*. *Accessibility* harus

ditambahkan karena ada beberapa *slot* dari loker peluru yang terhalangi oleh badan luar panser jika menggunakan desain pintu aktual. Berikut ini adalah gambaran desain pintu dengan konfigurasi 2 yang disimulasikan oleh persentil 5 dan 95.



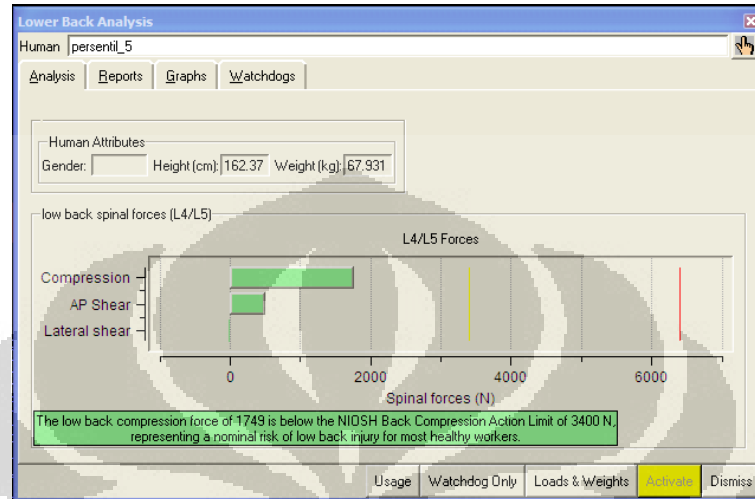
Gambar 4.11 Desain Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



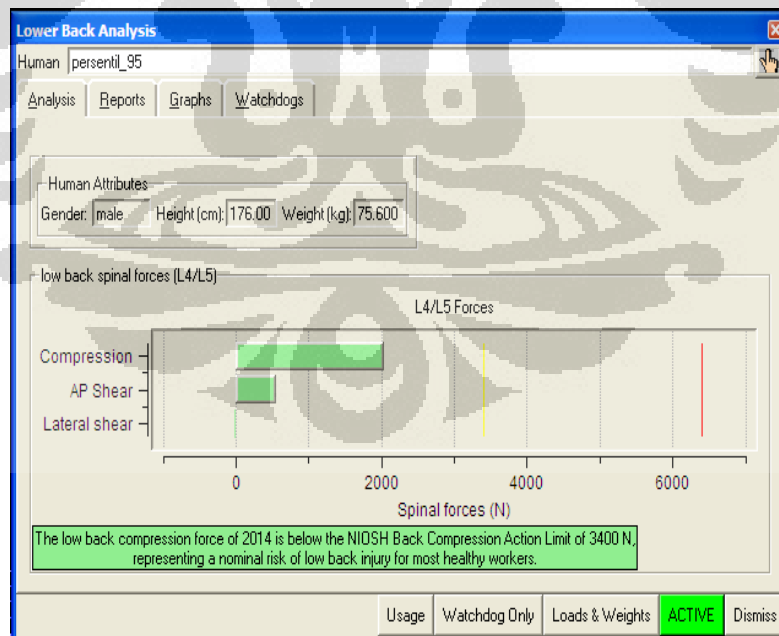
Gambar 4.12 Desain Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

4.2.1 Lower Back Analysis (LBA)

Berikut ini adalah gambar grafik LBA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 2.



Gambar 4.13 Hasil LBA Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

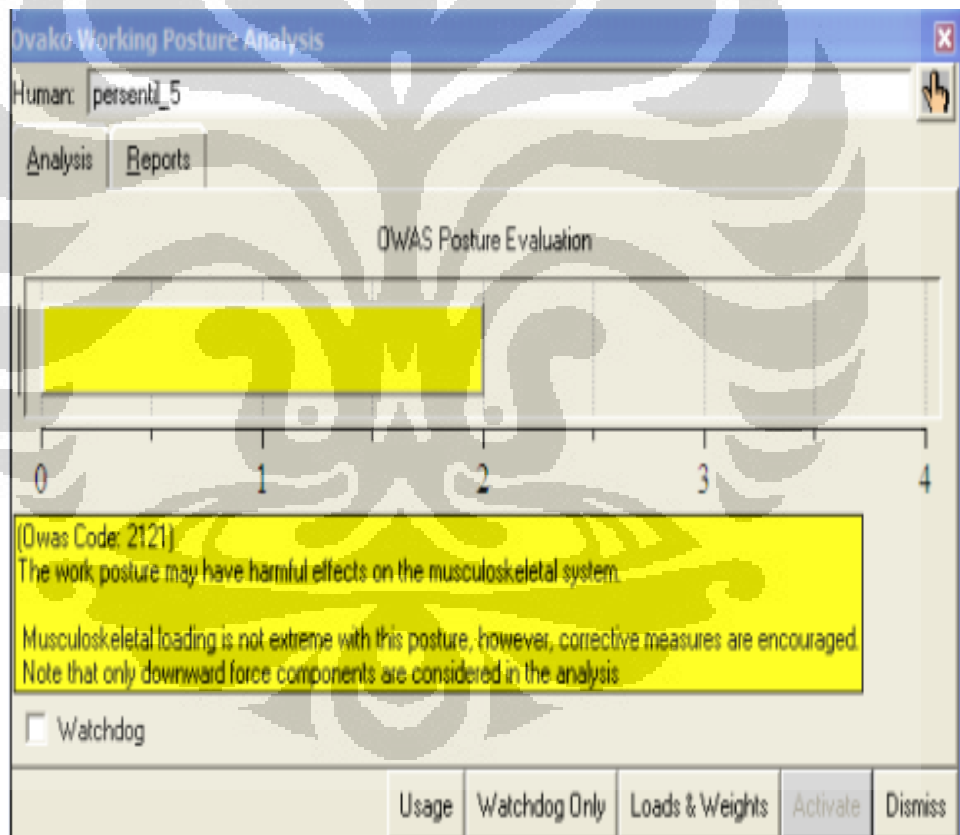


Gambar 4.14 Hasil LBA Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

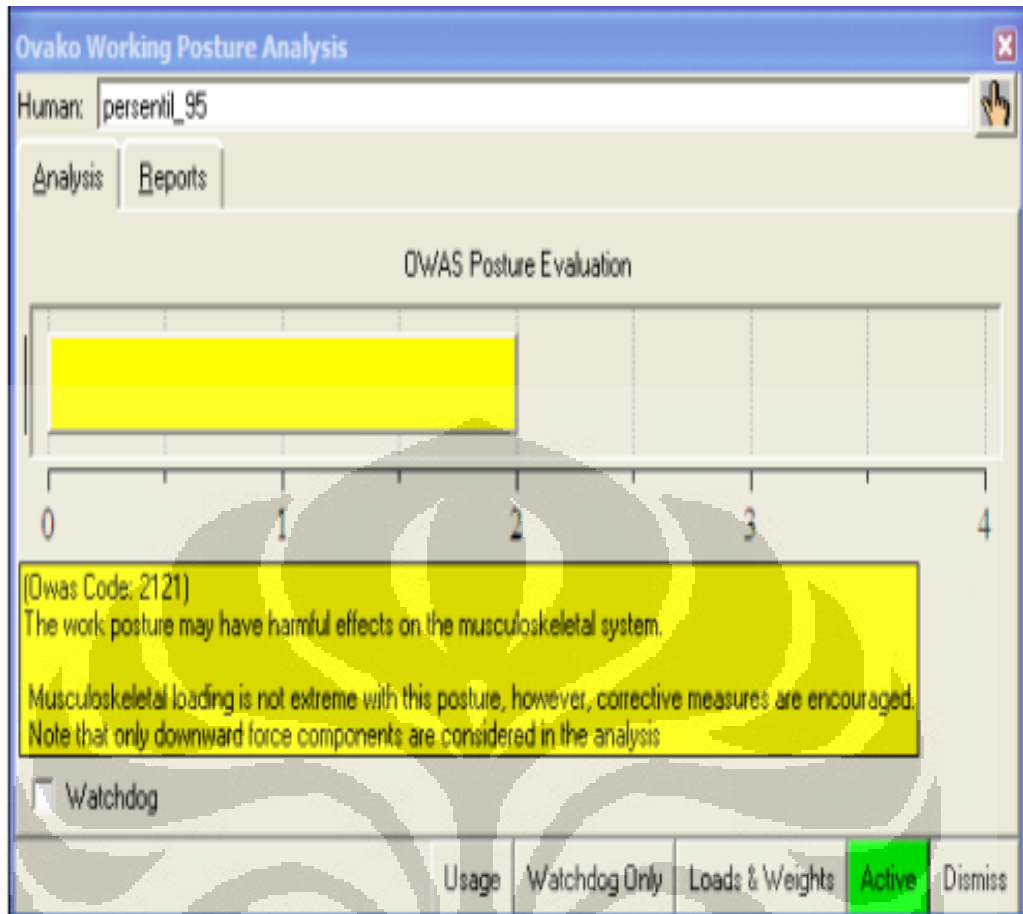
Nilai LBA mengalami perubahan yang tidak terlalu signifikan, pada persentil 5 compression yang dialami tulang belakang mengalami penurunan jika dibandingkan dengan LBA dengan manekin persentil 5 pada konfigurasi 1. Nilai LBA pada persentil 95 mengalami sedikit kenaikan jika dibandingkan dengan nilai LBA pada manekin persentil 95 pada konfigurasi 1, kenaikan ini disebabkan karena tulang belakang mengalami sedikit tambahan kompresi ketika hendak memasukkan peluru ke daerah yang sudah diperlebar pada konfigurasi 2.

4.2.2 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

Berikut ini adalah gambar grafik OWAS yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 2.



Gambar 4.15 Hasil OWAS Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



Gambar 4.16 Hasil OWAS Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Tidak terjadi perubahan apapun pada nilai OWAS pada kedua persentil manekin ketika simulasi *leg lift* dijalankan. Hal ini disebabkan karena postur kerja tidak mengalami perubahan pada simulasi *leg lift* dengan konfigurasi 2 pintu *loading dock* kendaraan tempur.

4.2.3 *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Berikut ini adalah gambar grafik RULA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 2.

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating

Upper arm:	4
Lower arm:	2
Wrist:	2
Wrist Twist:	1
Total:	7

Body Group B Posture Rating

Neck:	4
Trunk:	3
Total:	6

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 7
 Action: Investigation and changes are required immediately.

Update Analysis

Usage | Dismiss

Gambar 4.17 Hasil RULA Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

Gambar 4.18 Hasil RULA Konfigurasi 2 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Tidak terjadi perubahan pada nilai RULA pada manekin persentil 5 dan 95 dalam konfigurasi 2 jika dibandingkan dengan nilai RULA manekin persentil 5 dan 95 pada konfigurasi 1. Hal ini membuktikan bahwa memperlebar pintu *loading dock* hanyalah untuk memperbesar *accessibility* saja dan tidak menurunkan nilai RULA.

4.2.4 Perhitungan Nilai PEI

Nilai PEI dapat dihitung setelah mendapatkan nilai LBA, OWAS dan RULA. Nilai PEI untuk persentil 5 dan persentil 95 pada konfigurasi 2 dapat dihitung dengan rumus PEI yaitu :

$$PEI = I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$$

Dimana :

- $I1 = LBA / 3400 N$
- $I2 = OWAS / 4$
- $I3 = RULA / 7$
- $Mr = \text{amplification factor of } 1.42$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 5 pada konfigurasi 2 pintu *loading dock* :

$$\begin{aligned} &= 1749 / 3400 + 2 / 4 + (7 / 7 \times 1.42) \\ &= 0.51 + 0.5 + 1.42 \\ &= 2.43 \end{aligned}$$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 95 pada konfigurasi 2 pintu *loading dock* :

$$\begin{aligned} &= 2014 / 3400 + 2 / 4 + (7 / 7 \times 1.42) \\ &= 0.59 + 0.5 + 1.42 \\ &= 2.51 \end{aligned}$$

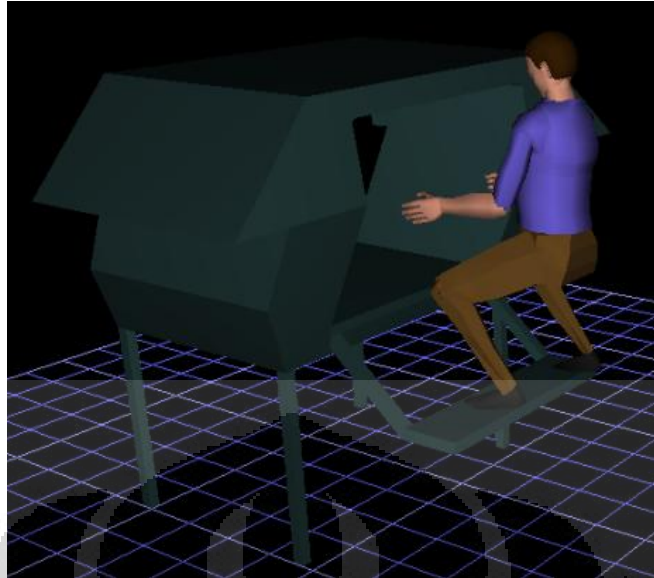
Nilai PEI pada konfigurasi 2 tidak terlalu banyak berubah jika dibandingkan dengan nilai PEI pada konfigurasi 1. Maka dari itu memperlebar pintu *loading dock* hanya untuk menambah *accessibility* saja dan tidak mengurangi nilai PEI secara signifikan.

4.3 KONFIGURASI 3 : Analisa Desain Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur Dengan Lebar Aktual dan Pijakan Berjarak 30 cm Dibawah Pintu dan Dengan Sudut Kemiringan 50°

Pada konfigurasi 3, peneliti melakukan perubahan desain pada pintu *loading dock* yang bertujuan untuk mengurangi nilai PEI secara signifikan. Perubahan desain yang diimplementasikan oleh peneliti adalah dengan menambahkan pijakan yang bertujuan untuk memperbaiki postur kerja sehingga mengurangi nilai-nilai LBA, OWAS dan RULA yang kemudian akan turut mengurangi nilai PEI. Pijakan dibuat dengan jarak 30 cm diukur dari bibir bawah pintu *loading dock* dan mempunyai sudut kemiringan 50° dari tanah. Pintu *loading dock* yang diberi pijakan dalam konfigurasi ini memiliki lebar aktual. Dibawah ini adalah gambar desain konfigurasi 3 pintu *loading dock* dengan manekin persentil 5 dan 95.



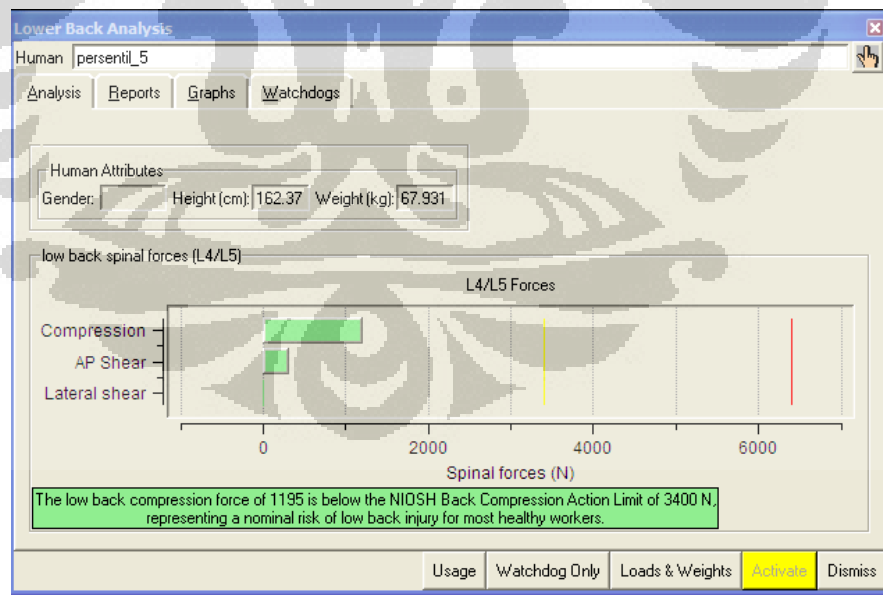
Gambar 4.19 Desain Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



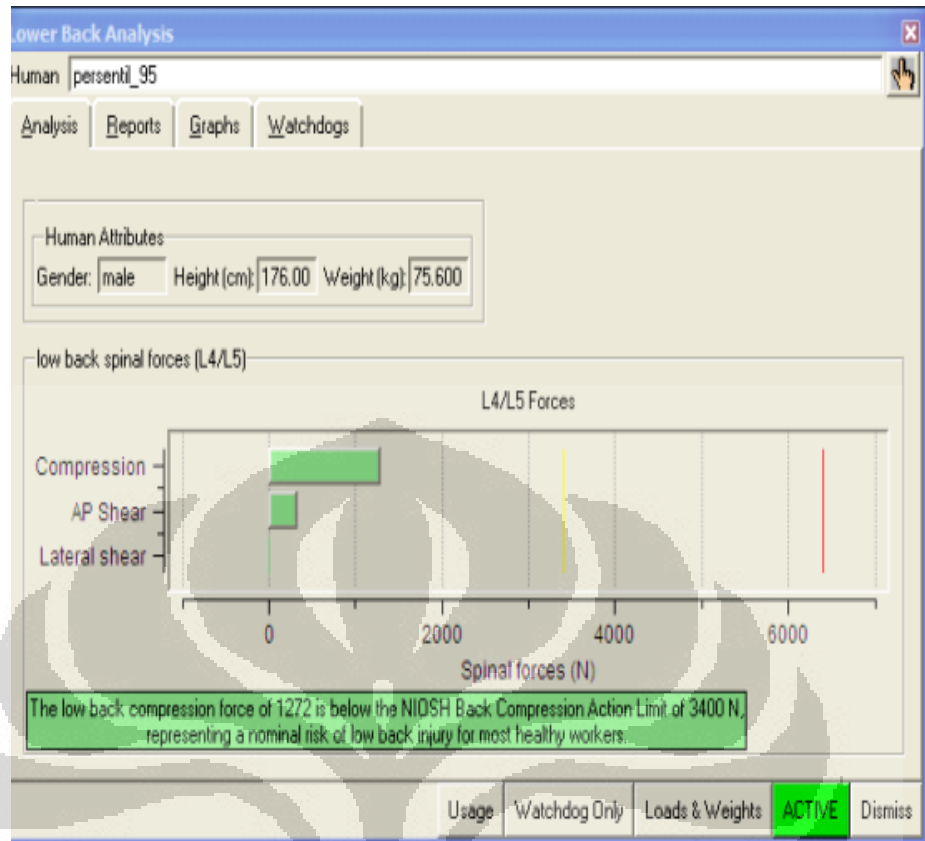
Gambar 4.20 Desain Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

4.3.1 Lower Back Analysis (LBA)

Berikut ini adalah gambar grafik LBA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 3.



Gambar 4.21 Hasil LBA Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

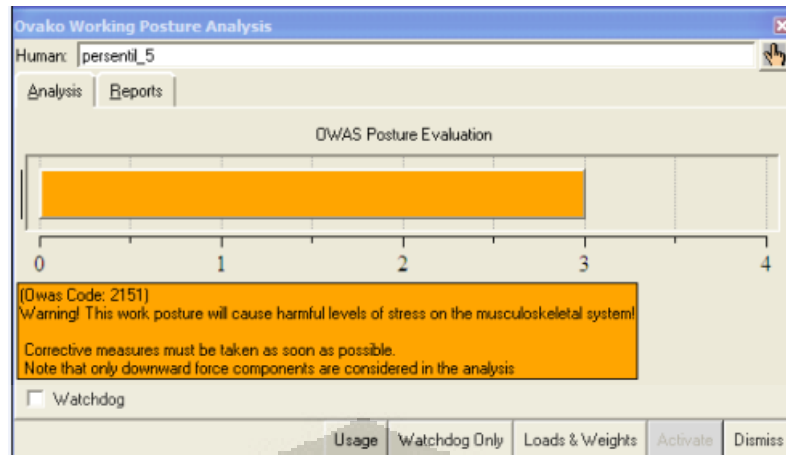


Gambar 4.22 Hasil LBA Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

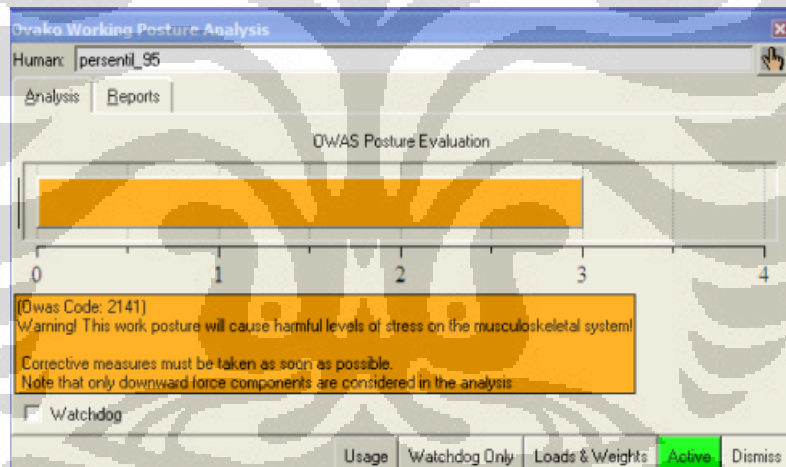
Nilai LBA pada kedua manekin mengalami penurunan nilai *compression* pada tulang belakang yang cukup signifikan. Hal ini terjadi karena postur tegak oleh tulang belakang ketika hendak memasukkan peluru *turret* 90 mm. Postur tulang belakang yang tegak ini didapat dari bantuan pijakan yang dipasang dalam konfigurasi 3, dengan demikian *compression* terhadap tulang belakang menurun dengan cukup signifikan.

4.3.2 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

Berikut ini adalah gambar grafik OWAS yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 3.



Gambar 4.23 Hasil OWAS Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



Gambar 4.24 Hasil OWAS Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Nilai OWAS pada konfigurasi 3 mengalami kenaikan 1 poin pada postur akhir yaitu ketika hendak memasukkan peluru ke loker peluru. Postur akhir tersebut memang tidak baik bagi si pekerja, tetapi postur akhir tidak akan memakan waktu yang lama pada simulasi sehingga tidak akan menimbulkan dampak yang signifikan. Nilai OWAS pada konfigurasi 3 menjadi lebih tinggi jika dibandingkan dari konfigurasi 2 karena pada konfigurasi 3, kaki dari manekin

menjadi bengkok ketika hendak berpijak pada pijakan dan hendak memasukkan peluru.

4.3.3 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Berikut ini adalah gambar grafik RULA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 3

The screenshot displays the RULA software interface with the following data:

Category	Item	Rating
Body Group A Posture Rating	Upper arm	4
	Lower arm	3
	Wrist	2
	Wrist Twist	1
	Total	7
Body Group B Posture Rating	Neck	1
	Trunk	1
	Total	1

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating: Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 5
Action: Investigation and changes are required soon.

Gambar 4.25 Hasil RULA Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 1
 Lower arm: 2
 Wrist: 1
 Wrist Twist: 1
 Total: 5

Body Group B Posture Rating
 Neck: 1
 Trunk: 1
 Total: 1

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating
 Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 4
 Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Usage Dismiss

Gambar 4.26 Hasil RULA Konfigurasi 3 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Pada konfigurasi 3 nilai RULA menurun dengan cukup signifikan dari dua konfigurasi sebelumnya dengan nilai RULA 7. Pada manekin persentil 5, nilai RULA untuk konfigurasi pintu *loading dock* adalah 5 dan pada manekin persentil 95, nilai RULA untuk konfigurasi pintu *loading dock* adalah 4. Penurunan nilai RULA ini terjadi karena sendi tubuh bagian atas mengalami pengurangan beban, karena dengan adanya pijakan maka pekerja tidak perlu mengangkat sendi bahunya ketika hendak memasukkan peluru turret 90 mm. Selain itu dengan adanya pijakan, maka akan membuat postur *body group b* lebih khususnya bagian *trunk* (batang tubuh) menjadi lebih tegak daripada konfigurasi sebelumnya tanpa pijakan yang kemudian mengurangi nilai RULA.

4.3.4 Perhitungan Nilai PEI

Nilai PEI dapat dihitung setelah mendapatkan nilai LBA, OWAS dan RULA. Nilai PEI untuk persentil 5 dan persentil 95 pada konfigurasi 3 dapat dihitung dengan rumus PEI yaitu :

$$PEI = I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$$

Dimana :

- $I1 = LBA / 3400 N$
- $I2 = OWAS / 4$
- $I3 = RULA / 7$
- $Mr = \text{amplification factor of } 1.42$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 5 pada konfigurasi 3 pintu *loading dock* :

$$= 1195 / 3400 + 3 / 4 + (5 / 7 \times 1.42)$$

$$= 0.35 + 0.75 + 1.01$$

$$= 2.11$$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 95 pada konfigurasi 3 pintu *loading dock* :

$$= 1272 / 3400 + 3 / 4 + (4 / 7 \times 1.42)$$

$$= 0.37 + 0.75 + 0.81$$

$$= 1.93$$

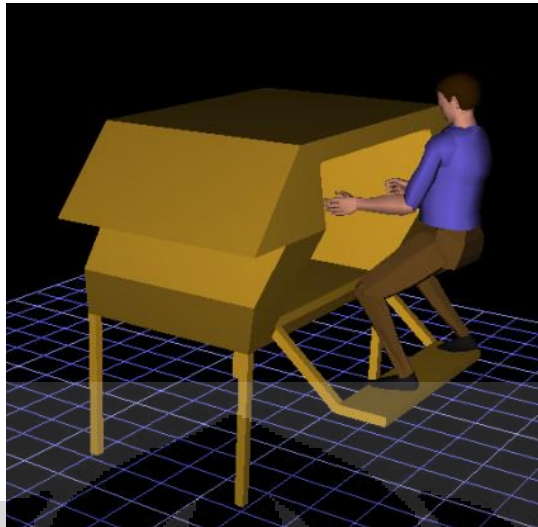
Dapat terlihat bahwa setelah diberi pijakan pada pintu *loading dock* sebagai alat bantu untuk memperbaiki postur pekerja dalam melakukan *leg lift* untuk memasukkan peluru *turret* 90 mm, nilai PEI mengalami penurunan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan konfigurasi 2 yang hanya memperlebar pintu *loading dock*. Hal ini membuktikan bahwa penambahan pijakan sebagai konfigurasi adalah solusi yang tepat untuk mengurangi nilai PEI.

4.4 KONFIGURASI 4 : Analisa Desain Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur Dengan Perlebaran 10 cm dan Pijakan Berjarak 30 cm Dibawah Pintu dan Dengan Sudut Kemiringan 50°

Pada konfigurasi 4, pintu *loading dock* dengan pijakan dikaji kembali nilai PEI nya jika pintu tersebut diperlebar 10 cm dalam arti ke kanan diperlebar 5 cm dan ke kiri diperlebar 5 cm. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah aspek *accessibility* yang diterapkan pada pintu *loading dock* yang mempunyai pijakan akan mempunyai pengaruh dalam menurunkan nilai PEI. Pijakan dibuat dengan jarak 30 cm diukur dari bibir bawah pintu *loading dock* dan mempunyai sudut kemiringan 50° dari tanah. .Dibawah ini adalah gambar desain konfigurasi 4 pintu *loading dock* dengan manekin persentil 5 dan 95.



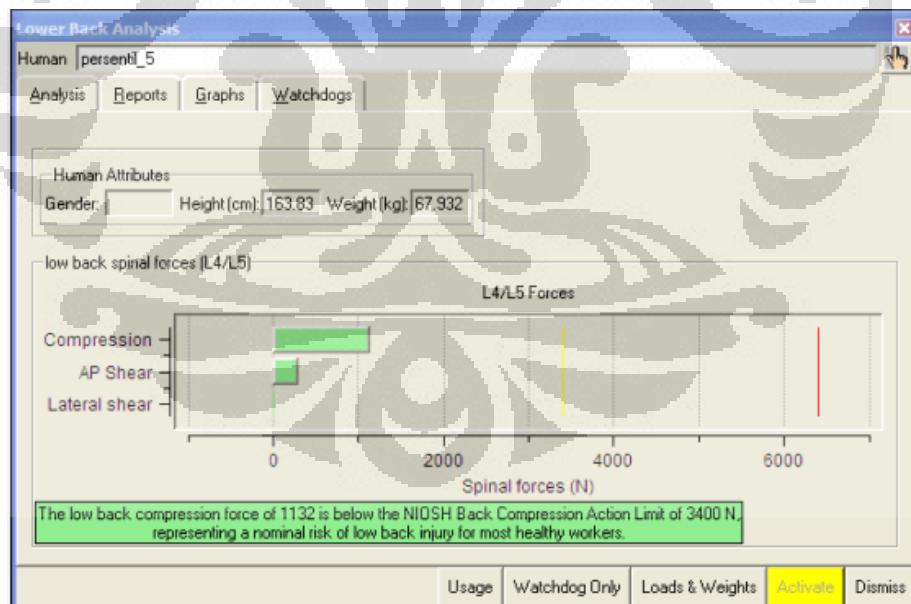
Gambar 4.27 Desain Konfigurasi 4 Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur pada Persentil 5



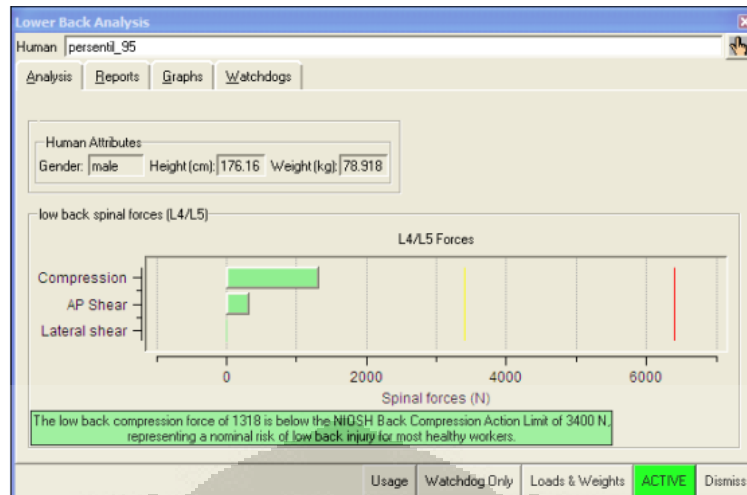
Gambar 4.28 Desain Konfigurasi 4 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

4.4.1 Lower Back Analysis (LBA)

Berikut ini adalah gambar grafik LBA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 4.



Gambar 4.29 Hasil LBA Konfigurasi 4 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

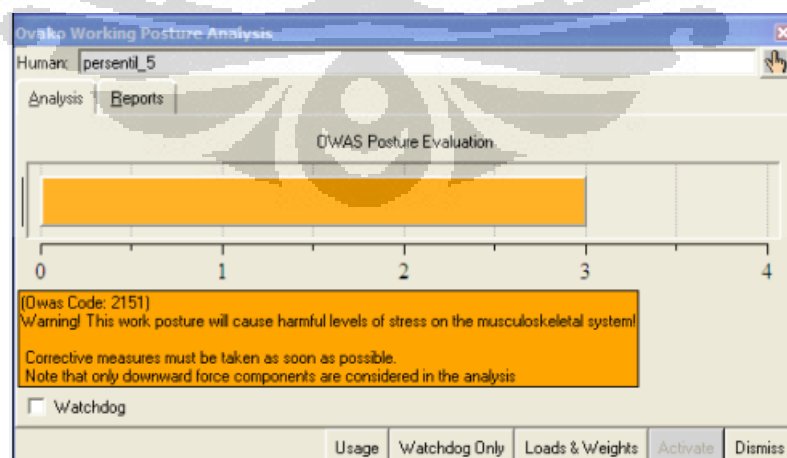


Gambar 4.30 Hasil LBA Konfigurasi 4 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

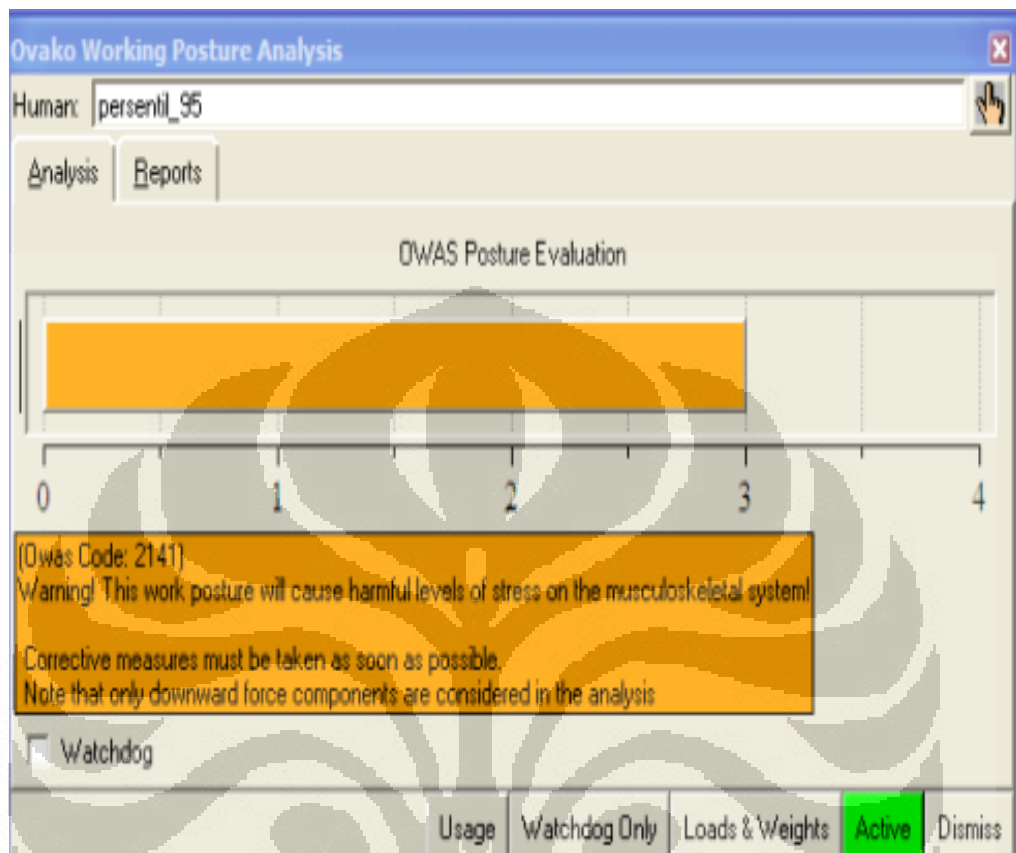
Nilai LBA pada konfigurasi 4 jika dibandingkan dengan konfigurasi 3 mengalami beberapa perubahan. Pada manekin persentil 5 nilai LBA menurun menjadi 1132 N dan pada manekin persentil 95 nilai LBA sedikit mengalami kenaikan menjadi 1318 N.

4.4.2 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

Berikut ini adalah gambar grafik OWAS yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 4.



Gambar 4.31 Hasil OWAS Konfigurasi 4 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



Gambar 4.32 Hasil OWAS Konfigurasi 4 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Nilai OWAS pada konfigurasi 4 tidak mengalami perubahan jika dibandingkan dengan nilai OWAS pada konfigurasi 3. Nilai OWAS tidak berubah karena postur pekerja dalam melakukan *leg lift* dengan pintu *loading dock* konfigurasi 4 serupa dengan konfigurasi 3.

4.4.3 *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Berikut ini adalah gambar grafik RULA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 4

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 1
 Lower arm: 2
 Wrist: 1
 Wrist Twist: 1
 Total: 5

Body Group B Posture Rating
 Neck: 1
 Trunk: 1
 Total: 1

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating
 Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 4
 Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Usage Dismiss

Gambar 4.33 Hasil RULA Konfigurasi 4 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 1
 Lower arm: 2
 Wrist: 1
 Wrist Twist: 1
 Total: 5

Body Group B Posture Rating
 Neck: 1
 Trunk: 1
 Total: 1

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating
 Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 4
 Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Usage | Dismiss

Gambar 4.34 Hasil RULA Konfigurasi 4 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Hasil RULA pada konfigurasi 4 mengalami penurunan nilai pada manekin persentil 5 sebesar 1 angka jika dibandingkan dengan nilai RULA oleh manekin persentil 5 pada konfigurasi 4. Penurunan nilai RULA ini terjadi karena penurunan beban yang ditanggung oleh *Body group A* karena perbaikan postur ketika hendak memasukkan peluru ke loker peluru karena pintu loading dock

diperlebar sehingga menambahkan accessibility bagi pekerja ketika simulasi dijalankan. Pada manekin persentil 95, hasil RULA tidak mengalami perubahan.

4.4.4 Perhitungan Nilai PEI

Nilai PEI dapat dihitung setelah mendapatkan nilai LBA, OWAS dan RULA. Nilai PEI untuk persentil 5 dan persentil 95 pada konfigurasi 4 dapat dihitung dengan rumus PEI yaitu :

$$PEI = I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$$

Dimana :

- $I1 = LBA / 3400 N$
- $I2 = OWAS / 4$
- $I3 = RULA / 7$
- $Mr = \text{amplification factor of } 1.42$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 5 pada konfigurasi 4 pintu *loading dock* :

$$= 1132 / 3400 + 3 / 4 + (4 / 7 \times 1.42)$$

$$= 0.33 + 0.75 + 0.81$$

$$= 1.89$$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 95 pada konfigurasi 4 pintu *loading dock* :

$$= 1318 / 3400 + 3 / 4 + (4 / 7 \times 1.42)$$

$$= 0.38 + 0.75 + 0.81$$

$$= 1.94$$

Nilai PEI pada konfigurasi 4 mengalami penurunan yang cukup signifikan pada simulasi manekin persentil 5 yang disebabkan oleh penurunan nilai RULA

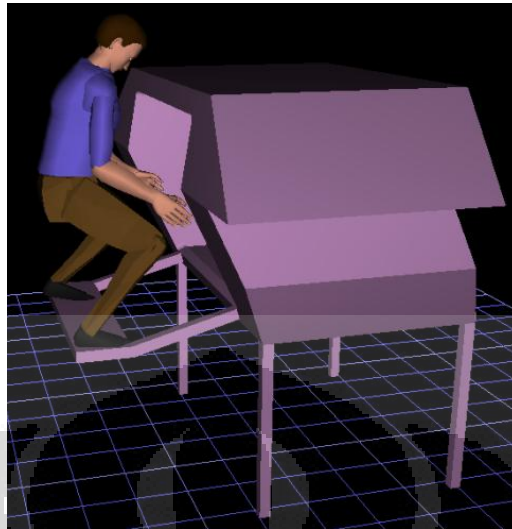
sebesar 1 poin karena perbaikan postur yang merupakan hasil dari penambahan *accessibility*. Nilai PEI pada simulasi dengan persentil 95 tidak banyak mengalami perubahan, hanya bertambah 0.01 angka saja jika dibandingkan dengan konfigurasi sebelumnya, penambahan yang tidak signifikan ini dapat diabaikan karena tidak terlalu berpengaruh pada resiko cedera.

4.5 KONFIGURASI 5 : Analisa Desain Pintu Aktual *Loading Dock* Kendaraan Tempur Dengan Pijakan Berjarak 15 cm Dibawah Pintu dan Dengan Sudut Kemiringan 75°

Pada konfigurasi 5, peneliti melakukan variasi ukuran dengan konsep penambahan pijakan pada pintu *loading dock* yang sudah terbukti dapat menurunkan nilai PEI jika dibandingkan dengan pintu *loading dock* yang tidak memiliki pijakan. Variasi ukuran pijakan dan variasi jarak pijakan dengan pintu didapatkan berdasarkan studi literatur yang sudah terlebih dulu dilakukan oleh peneliti. Pijakan dibuat dengan jarak 15 cm diukur dari bibir bawah pintu *loading dock* dan mempunyai sudut kemiringan 75° dari tanah. Lebar pintu yang dipakai di dalam konfigurasi ini adalah lebar pintu aktual. Dibawah ini adalah gambar desain konfigurasi 5 pintu *loading dock* dengan manekin persentil 5 dan 95.



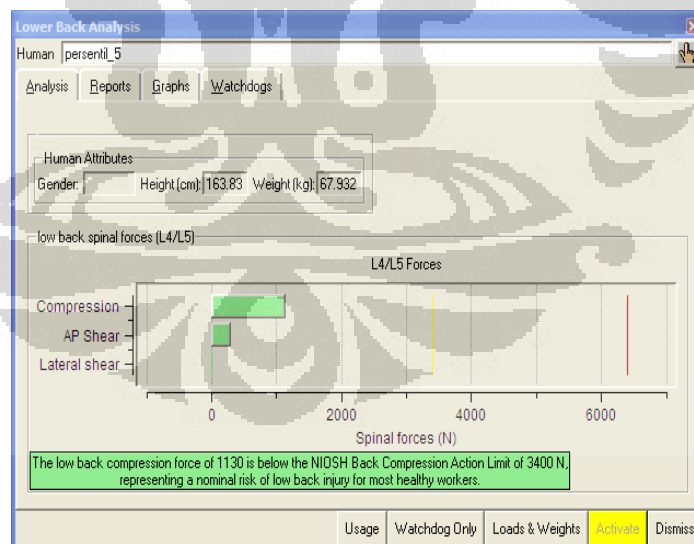
Gambar 4.35 Desain Konfigurasi 5 Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur pada Persentil 5



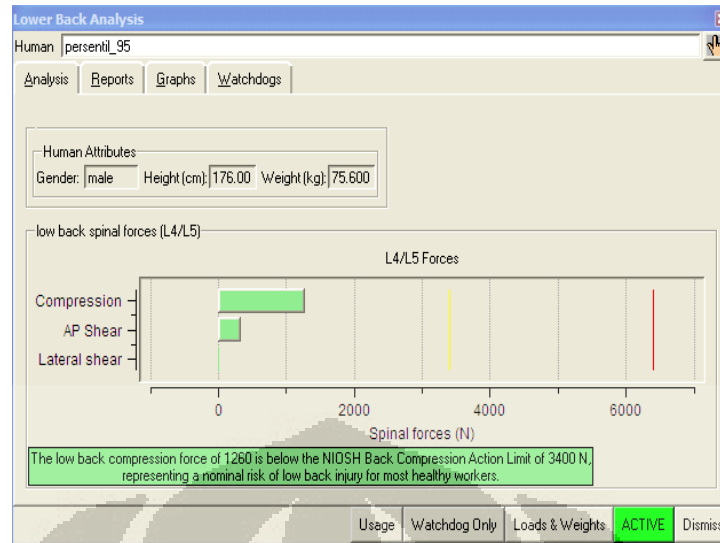
Gambar 4.36 Desain Konfigurasi 5 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

4.5.1 Lower Back Analysis (LBA)

Berikut ini adalah gambar grafik LBA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 5.



Gambar 4.37 Hasil LBA Konfigurasi 5 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

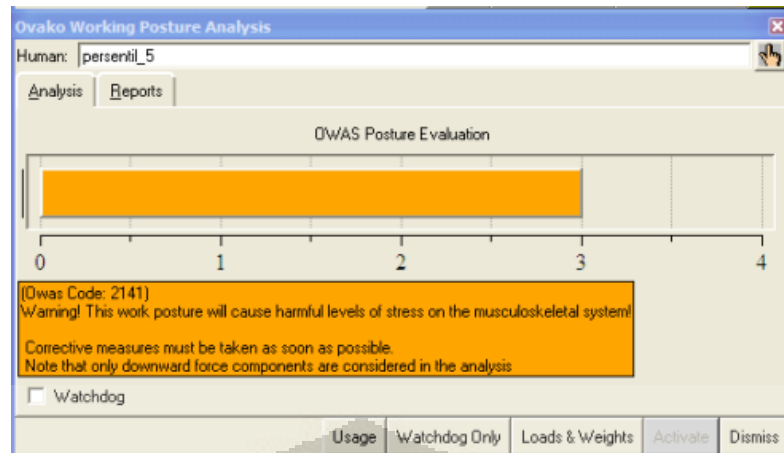


Gambar 4.38 Hasil LBA Konfigurasi 5 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

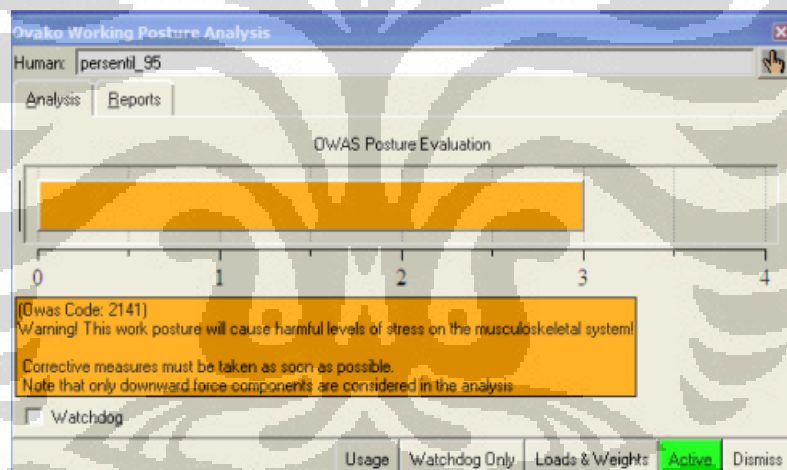
Nilai LBA pada konfigurasi 5 adalah sebesar 1130 N untuk simulasi dengan persentil 5 dan 1260 N untuk simulasi dengan persentil 95. Kedua nilai LBA ini mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan nilai LBA pada konfigurasi sebelumnya yaitu konfigurasi 4. Perubahan kemiringan pijakan dan jarak antara bibir bawah pintu dengan pijakan telah terbukti dapat menurunkan nilai LBA.

4.5.2 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

Berikut ini adalah gambar grafik OWAS yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 5.



Gambar 4.39 Hasil OWAS Konfigurasi 5 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



Gambar 4.40 Hasil OWAS Konfigurasi 5 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Pada konfigurasi 5, Nilai OWAS tidak mengalami perubahan jika dibandingkan dengan nilai OWAS pada konfigurasi 4. Nilai OWAS tidak berubah karena postur pekerja dalam melakukan *leg lift* dengan pintu *loading dock* konfigurasi 5 serupa dengan konfigurasi 4.

4.5.3 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Berikut ini adalah gambar grafik RULA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 5

The screenshot displays the RULA software interface with the following data:

Category	Item	Rating
Body Group A Posture Rating	Upper arm	1
	Lower arm	2
	Wrist	1
	Wrist Twist	1
	Total	5
Body Group B Posture Rating	Neck	1
	Trunk	1
	Total	1

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating: Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 4
Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

Gambar 4.41 Hasil RULA Konfigurasi 5 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

Gambar 4.42 Hasil RULA Konfigurasi 5 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Hasil RULA pada konfigurasi 5 tidak mengalami perubahan jika dibandingkan dengan nilai RULA pada konfigurasi 4. Hal ini terjadi karena postur pekerja yang serupa dalam melakukan *leg lift* yang disimulasikan pada manekin persentil 5 dan manekin persentil 95 pada konfigurasi 5 dengan manekin persentil 5 dan manekin persentil 95 pada konfigurasi 4.

4.5.4 Perhitungan Nilai PEI

Nilai PEI dapat dihitung setelah mendapatkan nilai LBA, OWAS dan RULA. Nilai PEI untuk persentil 5 dan persentil 95 pada konfigurasi 5 dapat dihitung dengan rumus PEI yaitu :

$$PEI = I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$$

Dimana :

- $I1 = LBA / 3400 N$

- $I2 = OWAS / 4$
- $I3 = RULA / 7$
- $Mr = \text{amplification factor of } 1.42$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 5 pada konfigurasi 5 pintu *loading dock* :

$$= 1130 / 3400 + 3 / 4 + (4 / 7 \times 1.42)$$

$$= 0.33 + 0.75 + 0.81$$

$$= 1.89$$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 95 pada konfigurasi 5 pintu *loading dock* :

$$= 1260 / 3400 + 3 / 4 + (4 / 7 \times 1.42)$$

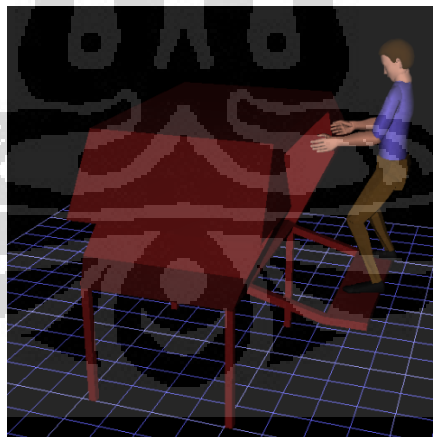
$$= 0.37 + 0.75 + 0.81$$

$$= 1.93$$

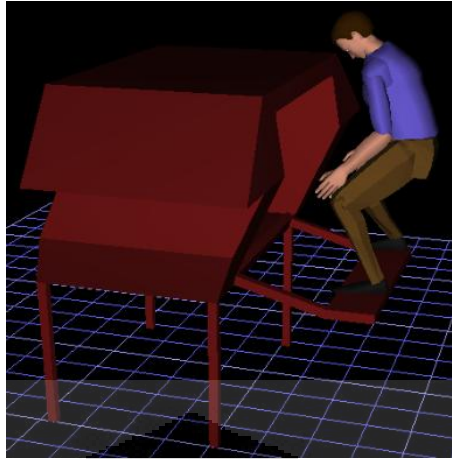
Nilai PEI pada konfigurasi 5 tidak jauh berbeda dengan nilai PEI pada konfigurasi 4. Hal ini terjadi karena elemen-elemen dalam TAT yang digunakan dalam kalkulasi PEI yaitu LBA, OWAS dan RULA juga tidak mengalami perubahan yang signifikan pada konfigurasi 5 jika dibandingkan dengan konfigurasi sebelumnya yaitu konfigurasi 4.

4.6 KONFIGURASI 6 : Analisa Desain Pintu *Loading Dock* Kendaraan Tempur Dengan Perlebaran 10 cm Pijakan Berjarak 15 cm Dibawah Pintu dan Dengan Sudut Kemiringan 75°

Pada konfigurasi terakhir yang dirancang oleh peneliti yaitu konfigurasi 6, pintu *loading dock* diperlebar 10 cm dalam arti diperlebar ke kanan sebesar 5 cm dan diperlebar ke kiri sebesar 5 cm untuk meningkatkan *accessibility* seperti yang sudah pernah diimplementasikan pada konfigurasi 2 dan konfigurasi 4. Pelebaran pintu *loading dock* sudah terbukti dapat menurunkan PEI pada konfigurasi 4. Maka dari itu konsep yang serupa akan diuji pada konfigurasi 6. Pijakan dibuat dengan jarak 15 cm diukur dari bibir bawah pintu *loading dock* dan mempunyai sudut kemiringan 75° dari tanah. Dibawah ini adalah gambar desain konfigurasi 6 pintu *loading dock* dengan manekin persentil 5 dan 95



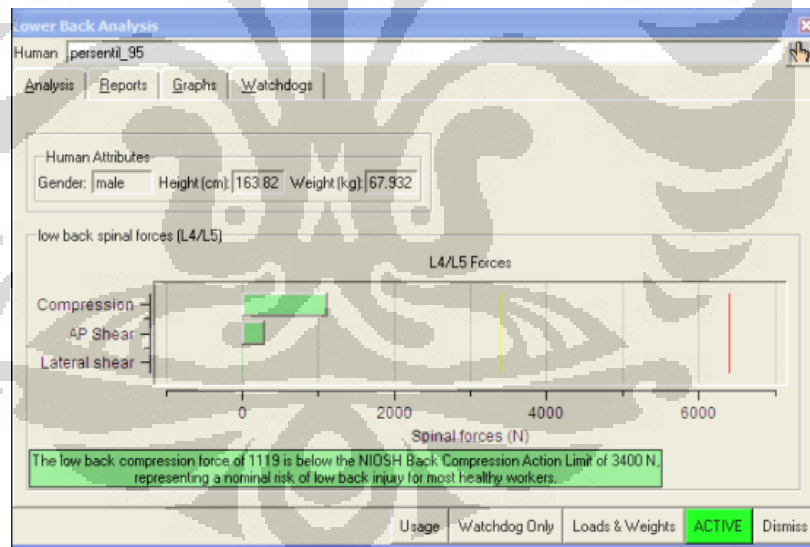
Gambar 4.43 Desain Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



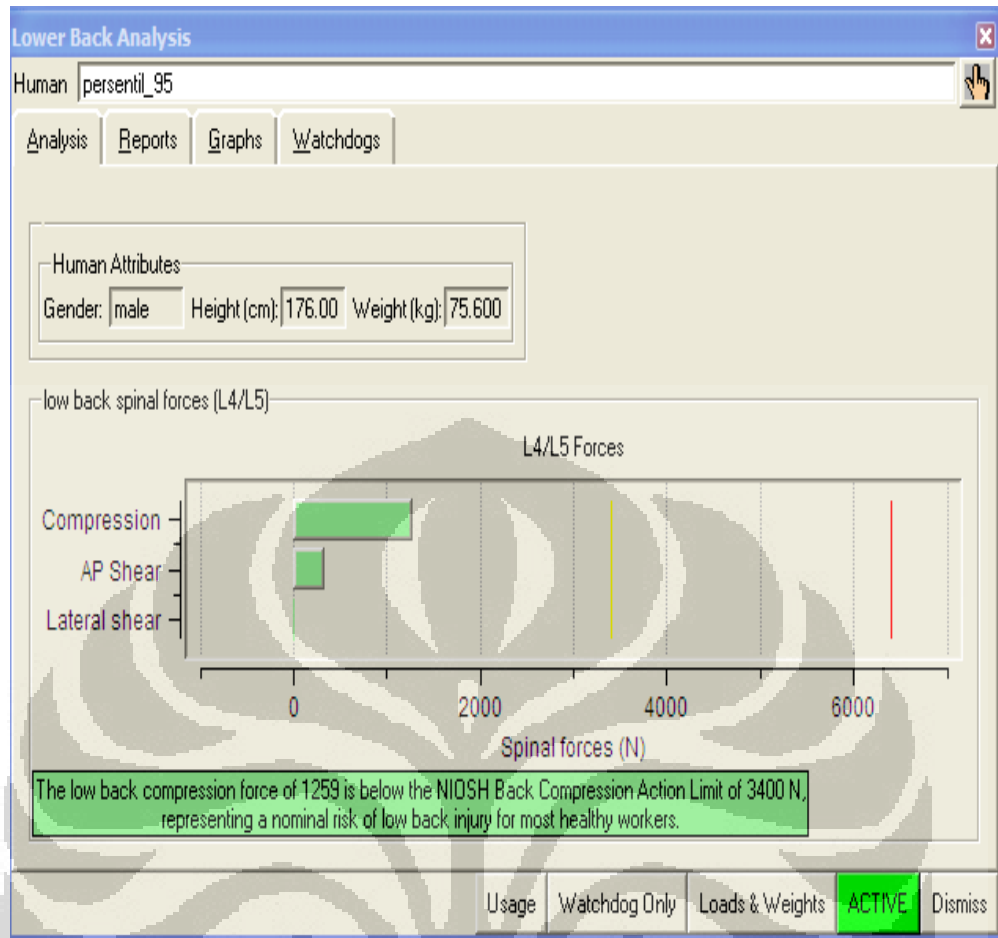
Gambar 4.44 Desain Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

4.6.1 Lower Back Analysis (LBA)

Berikut ini adalah gambar grafik LBA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 6.



Gambar 4.45 Hasil LBA Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

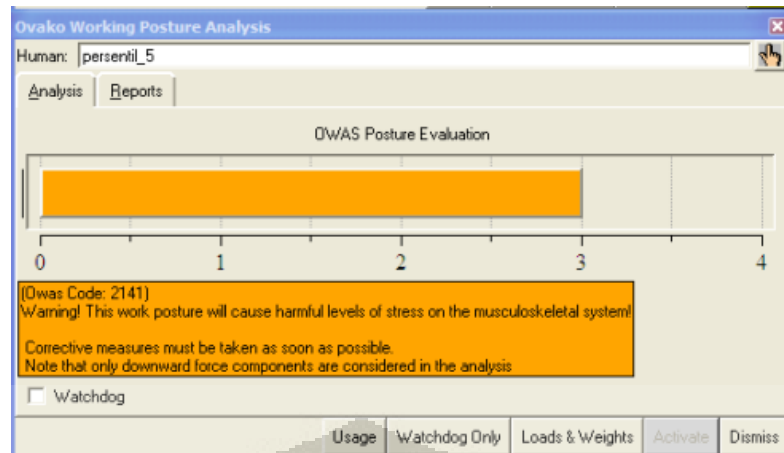


Gambar 4.46 Hasil LBA Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

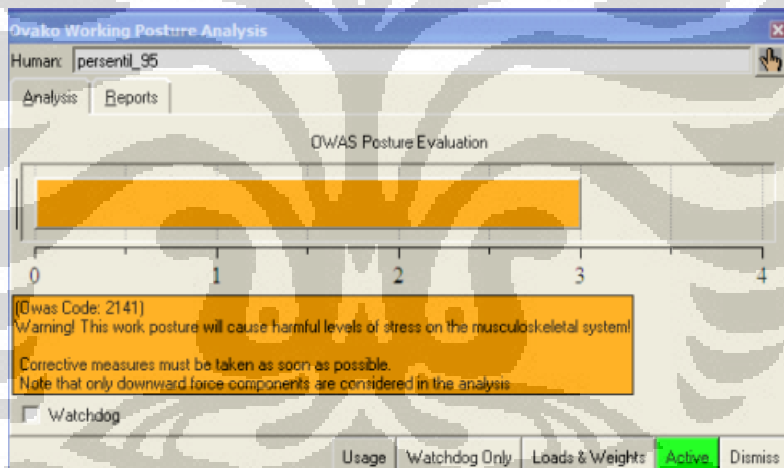
Nilai LBA untuk konfigurasi 6 tidak mengalami perubahan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan konfigurasi sebelumnya yaitu konfigurasi 5. Pada simulasi dengan manekin persentil 5, nilai LBA hanya mengalami penambahan sebesar 11 N, sedangkan pada simulasi dengan manekin persentil 95, nilai LBA hanya mengalami pengurangan sebesar 1 N dimana kedua nilai tersebut dibandingkan dengan konfigurasi sebelumnya.

4.6.2 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

Berikut ini adalah gambar grafik OWAS yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 6.



Gambar 4.47 Hasil OWAS Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5



Gambar 4.48 Hasil OWAS Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Nilai OWAS pada konfigurasi 6 tidak mengalami perubahan jika dibandingkan dengan konfigurasi sebelumnya yaitu konfigurasi 5. Hal ini terjadi karena postur pekerja dalam melakukan *leg lift* tidak berubah ketika menggunakan pintu *loading dock* dengan konfigurasi 6.

4.6.3 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Berikut ini adalah gambar grafik RULA yang didapat dari simulasi manekin 5 dan 95 pada pintu *loading dock* dengan konfigurasi 6

The screenshot displays the RULA software interface with the following data:

Category	Item	Rating
Body Group A Posture Rating	Upper arm	1
	Lower arm	2
	Wrist	1
	Wrist Twist	1
	Total	5
Body Group B Posture Rating	Neck	1
	Trunk	1
	Total	1

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating: Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 4
Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Gambar 4.49 Hasil RULA Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 5

Gambar 4.50 Hasil RULA Konfigurasi 6 Pintu Loading Dock Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Hasil RULA pada konfigurasi 6 tidak mengalami perubahan jika dibandingkan dengan nilai RULA pada konfigurasi 5. Hal ini terjadi karena postur pekerja yang serupa dalam melakukan *leg lift* yang disimulasikan pada manekin persentil 5 dan manekin persentil 95 pada konfigurasi 5 dengan manekin persentil 5 dan manekin persentil 95 pada konfigurasi 5.

4.6.4 Perhitungan Nilai PEI

Nilai PEI dapat dihitung setelah mendapatkan nilai LBA, OWAS dan RULA. Nilai PEI untuk persentil 5 dan persentil 95 pada konfigurasi 5 dapat dihitung dengan rumus PEI yaitu :

$$PEI = I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$$

Dimana :

- $I1 = LBA / 3400 N$

- $I2 = OWAS / 4$
- $I3 = RULA / 7$
- $Mr = \text{amplification factor of } 1.42$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 5 pada konfigurasi 6 pintu *loading dock* :

$$= 1119 / 3400 + 3 / 4 + (4 / 7 \times 1.42)$$

$$= 0.32 + 0.75 + 0.81$$

$$= 1.88$$

Dengan demikian nilai PEI untuk manekin 95 pada konfigurasi 6 pintu *loading dock* :

$$= 1259 / 3400 + 3 / 4 + (4 / 7 \times 1.42)$$

$$= 0.37 + 0.75 + 0.81$$

$$= 1.93$$

Nilai PEI yang didapat pada konfigurasi 6 tidak jauh berbeda dengan nilai PEI pada konfigurasi 5, dengan demikian telah terbukti bahwa variasi ukuran dan jarak pijakan untuk gerakan leg lift yang dilakukan oleh pekerja / tentara yang hendak memasukkan peluru *turret* 90 mm seberat 11 kilogram melalui pintu *loading dock* tidak terlalu berpengaruh terhadap penurunan nilai PEI.

4.7 Perbandingan Nilai LBA, OWAS, RULA dan PEI Dari Setiap Konfigurasi

Berikut ini adalah tabel-tabel berisi nilai yang didapatkan dari *Task Analysis Toolkit* yang ada di dalam *Software Jack 6.1*, yang terdiri dari *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)* dan *Rapid*

Upper Limb Assessment (RULA) disertai juga dengan hasil nilai *Posture Evaluation Index* pada setiap konfigurasi dengan kedua persentil manekin yaitu persentil 5 dan persentil 95.

Lower Back Analysis (LBA) (dalam Newton)		
Konfigurasi	Persentil 5	Persentil 95
1	1840	1928
2	1749	2014
3	1195	1272
4	1132	1318
5	1130	1260
6	1119	1259

Tabel 4.3 Tabel Perbandingan Nilai LBA Setiap Konfigurasi

Ovako Working Posture Analysis (OWAS)		
Konfigurasi	Persentil 5	Persentil 95
1	2	2
2	2	2
3	3	3
4	3	3
5	3	3
6	3	3

Tabel 4.4 Tabel Perbandingan Nilai OWAS Setiap Konfigurasi

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)		
Konfigurasi	Persentil 5	Persentil 95
1	7	7
2	7	7
3	5	4
4	4	4
5	4	4
6	4	4

Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Nilai RULA Setiap Konfigurasi

Posture Evaluation Index (PEI)		
Konfigurasi	Persentil 5	Persentil 95
1	2.46	2.48
2	2.43	2.51
3	2.11	1.93
4	1.89	1.94
5	1.89	1.93
6	1.88	1.93

Tabel 4.6 Tabel Perbandingan Nilai PEI Setiap Konfigurasi

Dari tabel-tabel perbandingan diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi 6 mempunyai nilai PEI yang paling kecil dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Konfigurasi 4 dan konfigurasi 5 mempunyai nilai PEI yang tidak berbeda jauh dengan konfigurasi 6, dan bahkan perbedaan yang sangat kecil itu dapat diabaikan karena tidak mempunyai banyak pengaruh terhadap resiko cedera. Maka dari itu konfigurasi yang dapat disarankan sebagai output evaluasi pintu *loading dock* berdasarkan perhitungan PEI di dalam *virtual environment* adalah konfigurasi 4, konfigurasi 5 dan konfigurasi 6. Akan tetapi pemilihan konfigurasi yang paling layak direkomendasikan sebagai output tidak hanya melihat dari aspek nilai PEI semata, ada satu variabel lagi yang diuji oleh peneliti yaitu variabel waktu.

4.8 Simulasi Variabel Waktu

Simulasi variabel waktu dilakukan untuk mencari konfigurasi mana yang mempunyai waktu simulasi paling cepat. Simulasi waktu dilakukan dengan menggunakan *mock up* pintu *loading dock* yang diatur konfigurasinya sesuai dengan rancangan konfigurasi yang sudah dibuat oleh peneliti. 25 orang responden diambil untuk mensimulasikan leg lift dengan mengangkat beban seberat 11 kilogram yang sebagai representasi dari peluru *turret* panzer kanon berkaliber 90 mm. Responden terletak pada jarak 50 cm dari *mock up* pintu *loading dock* dan beban seberat 11 kilogram berupa barbel diletakan pada jarak 35 cm dari *mock up* pintu *loading dock* . Jarak yang diberikan hanyalah untuk penyeragaman semata. Posisi awal responden adalah berjongkok seperti pada

posisi awal gerakan leg lift dan waktu dihitung ketika aba-aba diberikan. Responden diminta untuk melakukan *leg lift* dengan beban yang diberikan dan waktu dihentikan ketika beban telah terletak didalam *frame* yang dianggap sebagai representasi loker peluru pada kendaraan tempur.

Konfigurasi	Waktu rata-rata (detik)
1	2.834
2	2.916
3	2.487
4	2.336
5	2.595
6	2.698

Tabel 4.7 Tabel Waktu Rata-Rata Simulasi *Leg Lift* Pada 6 Konfigurasi

Dapat dilihat bahwa waktu tercepat dari simulasi waktu diatas adalah dengan konfigurasi 4. Pada konfigurasi 6, pijakan berada di posisi yang lebih tinggi daripada konfigurasi 4, maka pada konfigurasi 6 responden membutuhkan waktu yang lebih banyak untuk membengkokkan kaki agar dapat meletakkan beban di dalam *frame* pintu *loading dock*. Konfigurasi 6, meskipun mempunyai nilai PEI yang paling kecil, mempunyai waktu simulasi yang lebih lama dari konfigurasi 4. Terlebih lagi, perbedaan nilai PEI yang sangat kecil antara konfigurasi 4 dan konfigurasi 6 serta waktu simulasi konfigurasi 4 yang lebih kecil daripada konfigurasi 6 membuat konfigurasi 4 menjadi desain konfigurasi yang paling ergonomis dan merupakan *output* yang akan direkomendasikan oleh peneliti.

BAB 5

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1 Kesimpulan

Konfigurasi 4 merupakan konfigurasi desain pintu yang terbaik walaupun bukan konfigurasi dengan nilai PEI yang terkecil. Konfigurasi dengan nilai PEI yang paling kecil adalah konfigurasi 6, namun perbedaan nilai PEI antara konfigurasi 4 dan konfigurasi 6 hanya sebesar 0.01 pada setiap persentil manekin. Perbedaan yang sangat kecil tersebut tidak mempunyai pengaruh yang banyak pada resiko cedera dan dengan demikian jika dilihat dari segi nilai PEI konfigurasi 4 dan konfigurasi 6 dapat disarankan sebagai rekomendasi untuk perbaikan desain. Alasan peneliti memilih konfigurasi 4 adalah waktu simulasi pada konfigurasi 4 yang lebih cepat jika dibandingkan dengan konfigurasi 6. hal ini terjadi karena pada konfigurasi 6, pijakan berada di posisi yang lebih tinggi daripada konfigurasi 4, maka pada konfigurasi 6 responden membutuhkan waktu yang lebih banyak untuk membengkokkan kaki agar dapat meletakkan beban di dalam *frame* pintu *loading dock*.

Desain aktual pintu *loading dock* mempunyai nilai PEI sebesar 2.46 untuk simulasi dengan manekin persentil 5 dan 2.48 untuk simulasi dengan manekin persentil 95. Nilai PEI tersebut menurun secara signifikan jika dibandingkan dengan nilai PEI konfigurasi 4 yang adalah konfigurasi terbaik yang menjadi rekomendasi oleh peneliti. Nilai PEI konfigurasi 4 adalah sebesar 1.89 untuk simulasi dengan manekin persentil 5 dan 1.94 untuk simulasi dengan manekin persentil 95. Dengan demikian penurunan nilai PEI adalah sebesar 0.57 untuk persentil 5 dan 0.54 untuk persentil 95. Angka penurunan nilai PEI tersebut cukup signifikan dan dengan demikian konfigurasi yang disarankan peneliti dapat dikatakan relevan.

5.2 Rekomendasi

Desain kendaraan tempur panser kanon 90 mm tipe *infantry fighting vehicle* sebaiknya juga memperhatikan segi ergonomi dari personil yang menggunakannya, karena manusia adalah *asset* yang berharga. Jika segi ergonomi diabaikan, maka pengguna panser yang adalah manusia akan cenderung terkena cedera dan akan mempengaruhi efektifitas dan efisiensi kerja. Untuk pengembangan di masa depan, proses *Loading* melalui pintu *Loading Dock* dapat dipercepat dan dibuat lebih ergonomis lagi dengan ditambahkan alat bantu selain pijakan yang menggunakan proses mekanik yang lebih nyaman untuk manusia.



DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S., (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis, h.1.
- Bridger. R.S, (1995). *Introduction to Ergonomics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Chaffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention. University of Michigan.
- Direktorat Bina Kesehatan Kerja, Direktorat Bina Kesehatan Masyarakat, Departemen Kesehatan RI, Strategi Nasional Kesehatan Kerja di Indonesia, Katalog 613.63 Ind, Jakarta : Departemen Kesehatan; 2007.
- Erlinda Muslim, Boy Nurtjahyo, Zulkarnain, dan Liza Afrinotha, Departemen Teknik Industri, Analisis Ergonomi Sepeda UI dengan Metode *Posture Evaluation Index* Dalam *Virtual Environment*., Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia; 2010.
- F. Caputo, G . Di Gironimo, A. Marzano. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica* Vol. 46 No. 5/2006
- Hartomo, Azmi Hassan, Che Hassan ,Che Haron. (2005). *Validation of Ergonomics Model for Estimating Work Productivity and Quality in Manual Handling Activities*. Department of Industrial Engineering Faculty of Industrial Technology Islamic University of Indonesia Yogyakarta. Departement of Mechanical Engineering Faculty of Engineering National University of Malaysia
- Jean-francois debril (2007), *Human Articulation Efforts Estimation in the Automobile Vehicle Accessibility Movement – A Pilot Study*. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis. Le Mont Houy

- Johan Molenbroek. (2009). *Improved Human Modelling Means Better Design*. Industrial Design Engineering Department : Delft University of Technology
- Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Kalawsky, R. (1993b). *Critical Aspects of Visually Coupled Systems*. In: Earnshaw, R., Gigante, M. and Jones, H. (eds.), *Virtual Reality Systems*. London: Academic Press, h. 302–312.
- Karwowski, W., Marras, W.S. (2003). *Occupational Ergonomic Principles of Work Design*. Boca Raton: CRC Press. Pg 25-1 – 26-12.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Mark Sanders. S dan Ernest J McCormick,(1993). *Human Factor in Engineering and Design*, Attention (pp. 4), Singapore: MCGraw-Hill Inc.
- Mayor CPL Drs . Agus Budi Sulistyo. *Penggunaan dan Persyaratan Rantis Guna Keandalan dan Kelincahan di Medan Tempur*. Puslitbang Iptekhan Balitbang Dephan
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110*.
- Peter van der Meulen and Andreas Seidl (2007), *Ramsis – The Leading Cad Tool for Ergonomic Analysis of Vehicles*, Human Solutions GmbH Europaallee, 10 67657. Kaiserslautern. Germany
- Petzäll, J. (1995). *The Design of Entrances of Taxis for Elderly and Disabled Passengers An experimental study*. Applaid Ergonomics 26, 343–352
- Reed, Matthew P. (2009). *Simulating Crew Ingress and Egress for Ground Vehicles*. University of Michigan Transportation Research Institute.
- Reed, Matthew P., Ebert, Sheila M., & Hoffman, Suzanne G. (2008). *Modeling Foot Trajectories for Heavy Truck Ingress Simulation*. University of Michigan Transportation Research Institute.
- Siemens PLM Software Inc. (2008). *Jack user manual version 6.0*. California: Author.

- Siemens PLM Software Inc. (2008). *Jack task analysis toolkit (TAT) training manual*. California: Author.
- Tan Kay Chuan, Markus Hartono, Naresh Kumar. (2010). *Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations*. National University of Singapore
- UGS Tecnomatix (2005). *Jack human modeling and simulation*. <http://www.ugs.com/>
- Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D'Cruz, M.D. & Eastgate, R.M. (1995). *Manufacturing Operations in Virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4, hal. 306–317.
- Wilson, J.R. (1999). *Virtual Environments and Applied Ergonomics*." *Applied Ergonomics* 30.
- Yi-Chich Chiu, Suming Chen, Gang-Jhy Wu, Yi-Hao Lin. (2006). *3D Computer-aided Human Factor Engineering Analysis of A Grafting Robot*. Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University, 1, Sec. 1, Shen-Lung Rd., I-Lan 26041, Taiwan. Dept. of Bio-Industrial mechatronics Engineering, National Taiwan University, 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei

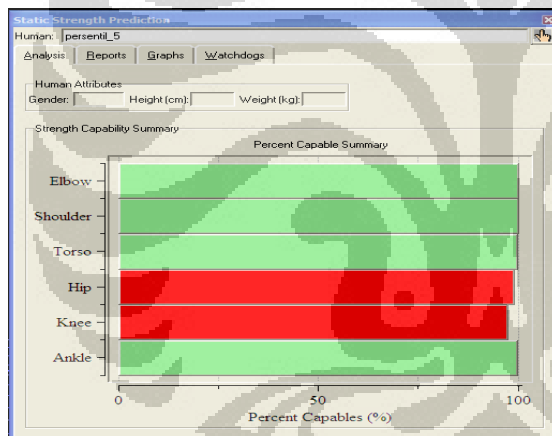
LAMPIRAN

Data Simulasi Waktu (detik)

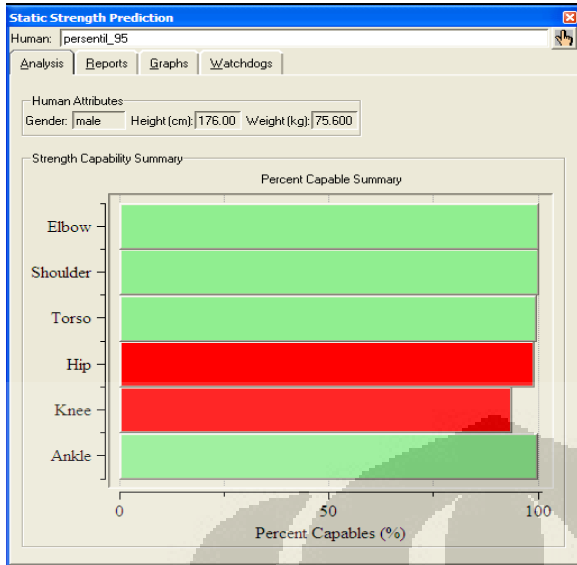
NO	KONFIGURASI					
	1	2	3	4	5	6
1	2.912	2.868	2.387	2.378	2.683	2.761
2	2.811	2.897	2.579	2.367	2.674	2.638
3	2.875	2.859	2.451	2.289	2.499	2.593
4	2.941	2.912	2.398	2.341	2.546	2.759
5	2.773	2.979	2.679	2.256	2.601	2.654
6	2.849	2.895	2.561	2.167	2.549	2.703
7	2.895	3.019	2.495	2.264	2.599	2.639
8	2.759	2.957	2.689	2.439	2.544	2.548
9	2.811	2.857	2.321	2.355	2.592	2.639
10	2.765	2.895	2.397	2.302	2.578	2.711
11	2.953	3.094	2.468	2.374	2.566	2.645
12	2.757	2.847	2.518	2.205	2.589	2.613
13	2.819	2.869	2.654	2.251	2.599	2.589
14	2.844	2.847	2.299	2.389	2.563	2.658
15	2.822	2.866	2.376	2.365	2.539	2.711
16	2.743	2.968	2.458	2.138	2.778	2.688
17	2.856	2.852	2.545	2.449	2.511	2.673
18	2.771	2.938	2.473	2.391	2.689	2.745
19	2.795	2.972	2.508	2.395	2.635	2.679
20	2.888	2.869	2.408	2.358	2.639	2.734
21	2.787	2.996	2.581	2.361	2.572	2.577
22	2.903	2.836	2.445	2.353	2.478	2.685
23	2.899	2.867	2.603	2.369	2.711	2.547
24	2.876	2.954	2.558	2.358	2.389	3.673
25	2.746	2.987	2.324	2.486	2.752	2.588
Rata-rata	2.834	2.916	2.487	2.336	2.595	2.698

Static Strength Prediction

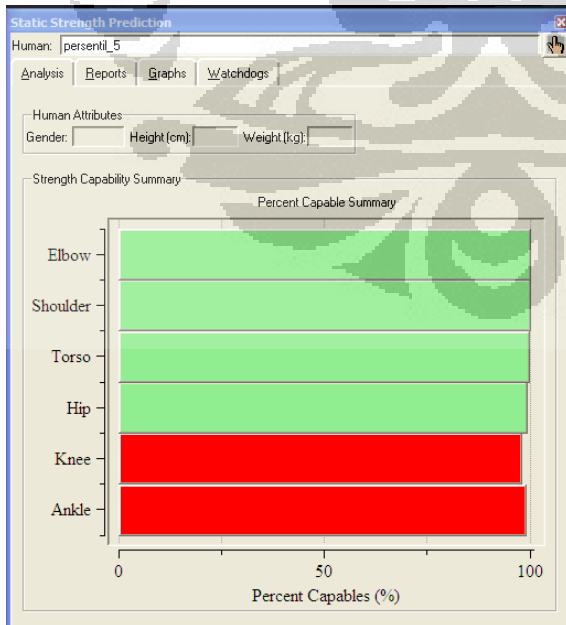
Konfigurasi 2 persentil 5



Konfigurasi 2 persentil 95



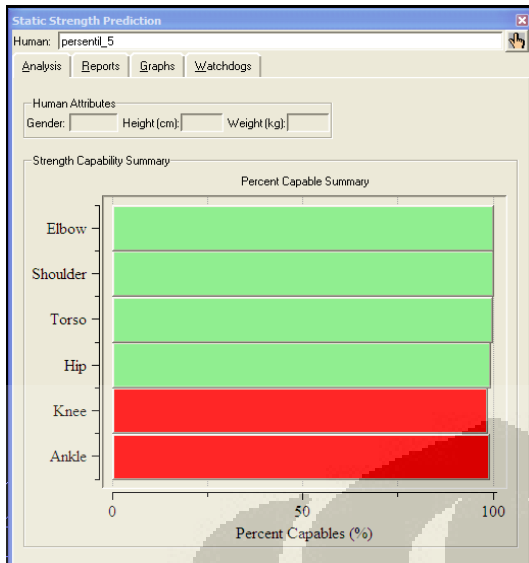
Konfigurasi 3 persentil 5



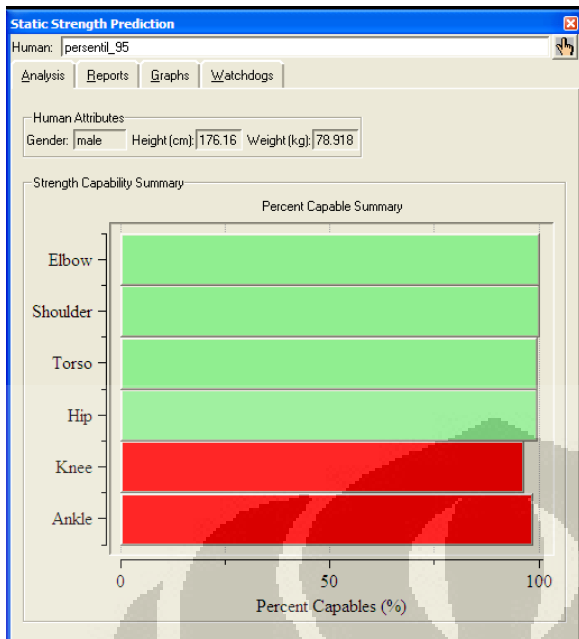
Konfigurasi 3 persentil 95



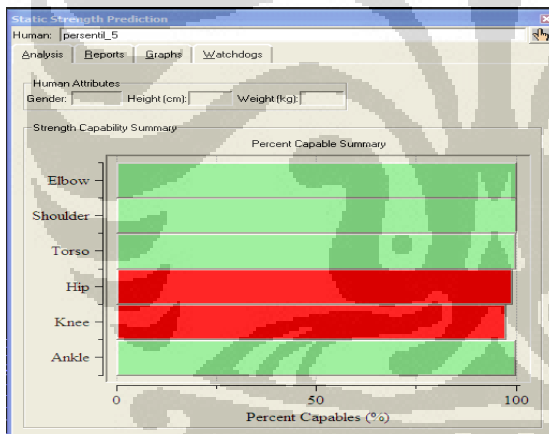
Konfigurasi 4 persentil 5



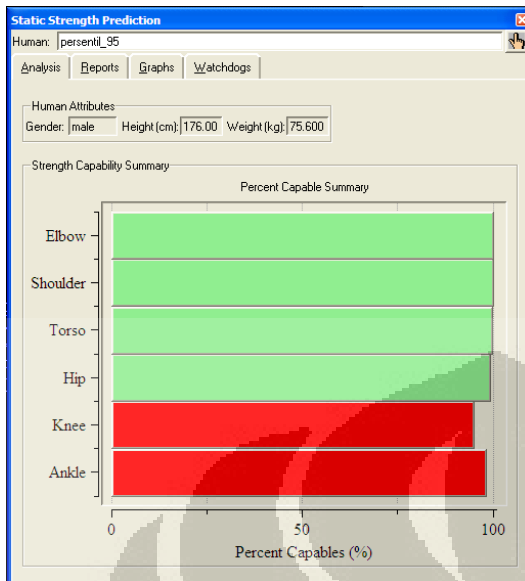
Konfigurasi 4 persentil 95



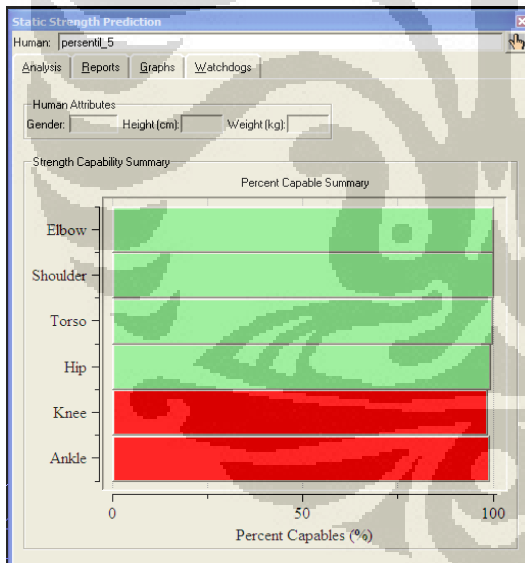
Konfigurasi 5 persentil 5



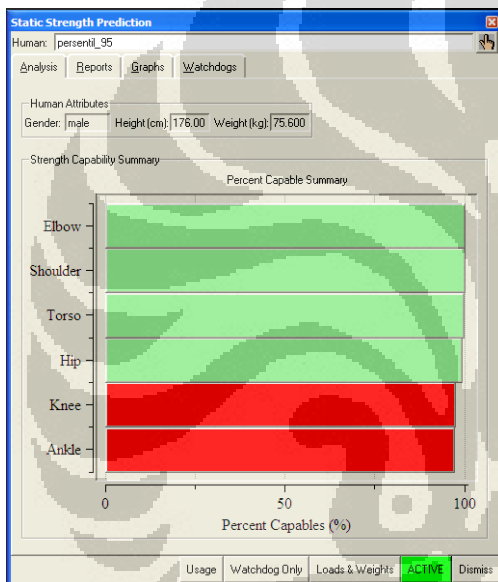
Konfigurasi 5 persentil 95



Konfigurasi 6 persentil 5



Konfigurasi 6 persentil 95



Data Antropometri

Dimension	Male citizens				Male Chinese				Female citizens				Female Chinese			
	5th	50th	95th	SD	5th	50th	95th	SD	5th	50th	95th	SD	5th	50th	95th	SD
1. Stature	162	172	183	6.23	165	171	180	4.81	150	159	169	5.76	151	159	166	5.06
2. Eye height	151	160	172	6.3	153	160	169	5.08	139	148	158	6.12	137	146	158	6.73
3. Shoulder height	134	143	155	6.41	134	143	151	5.05	123	132	141	5.91	123	132	139	5.43
4. Elbow height	99	107	114	5.12	99	106	112	4.29	91	99	108	6.4	92	98	107	5.35
5. Hip height	83	95	105	6.76	81	94	103	6.48	78	88	97	5.91	79	90	96	5.68
6. Knuckle height	68	75	82	4.75	69	74	80	5.13	63	70	78	4.37	64	69	77	3.89
7. Fingertip height	58	64	71	4.82	59	64	70	5.13	54	60	65	3.67	53	60	68	3.99
8. Sitting height	80	89	96	5.24	85	90	96	6.55	78	83	90	4.7	79	84	88	2.97
9. Sitting eye height	69	76	84	4.58	72	78	85	6.54	67	73	80	5.83	68	72	79	3.64
10. Sitting shoulder height	52	59	67	6.27	55	61	72	7.15	51	56	63	4.94	52	57	64	3.67
11. Sitting elbow height	19	24	30	4.74	19	25	31	7.13	19	25	32	5.19	21	24	30	3.24
12. Thigh thickness	12	16	22	3.59	13	16	20	2.76	11	15	19	3.22	12	15	19	2.81
13. Buttock-knee length	48	56	64	4.89	49	57	64	4.83	45	53	60	4.81	48	53	60	4.06
14. Buttock-popliteal length	40	46	54	4.82	38	47	56	5.36	37	43	51	4.21	39	44	52	3.97
15. Knee height	46	54	62	5.21	44	53	61	5.65	43	50	60	5.27	42	49	60	5.38
16. Popliteal height	38	44	49	3.78	36	44	50	5.36	38	44	50	3.92	36	43	47	3.85
17. Shoulder breadth (bideltoid)	36	45	52	4.66	38	45	50	4.6	37	43	53	5.43	40	44	53	4.97
18. Shoulder breadth (biacromial)	31	37	43	3.61	33	38	44	3.83	33	38	44	3.56	34	38	44	3.18
19. Hip breadth	28	35	43	4.41	30	35	44	4.09	29	35	45	7.22	30	34	42	4.21
20. Chest (bust) depth	16	21	27	3.5	17	22	27	4.02	17	21	28	3.38	19	23	28	3.61
21. Abdominal depth	15	21	29	4.46	15	21	30	5.19	14	18	25	3.44	15	20	26	3.93
22. Shoulder-elbow length	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
23. Elbow-fingertip length	42	47	56	4.55	41	46	53	4.27	37	43	50	4.27	37	42	47	3.72
24. Upper limb length	68	76	84	6.39	68	75	85	5.06	62	70	77	4.69	64	68	74	3.92
25. Shoulder-grip length	56	65	73	6.29	59	66	74	5.13	54	60	68	4.3	54	60	68	4.64
26. Head length	17	20	24	2.21	17	20	24	2.58	15	18	22	3.95	15	19	22	2.13
27. Head breadth	15	18	22	2.06	15	18	21	1.89	14	17	21	2.48	14	18	21	2.11
28. Hand length	17	19	22	1.64	15	19	22	2.42	16	18	20	1.72	17	18	20	2.16
29. Hand breadth	7	9	11	1.09	8	9	11	0.89	6	8	10	4.85	6	8	9	0.73
30. Foot length	22	25	29	2.58	11	25	28	4.43	21	23	26	2.63	21	23	26	2.3
31. Foot breadth	8	10	12	3.96	8	10	12	1.16	7	9	11	2.2	7	9	10	1.08
32. Span	158	172	186	8.5	155	171	182	8.73	146	156	170	7.61	150	159	168	6.52
33. Elbow span	78	86	96	5.97	79	87	94	4.36	73	79	89	5.38	73	81	88	4.53
34. Vertical grip reach (standing)	192	206	221	10.54	197	206	222	7.74	174	186	204	9.1	176	189	202	8.07
35. Vertical grip reach (sitting)	112	122	136	7.9	116	123	130	5.18	101	113	124	7.2	106	115	128	10.25
36. Forward grip reach	64	73	81	5.89	66	74	81	4.7	61	67	76	4.39	60	67	74	4.76
37. Body weight (kg)	50	63	89.25	13.19	53.05	63	93.45	13.35	39.80	53	80	11.68	41.90	55	70.40	9.49