



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS ERGONOMI DESAIN PINTU KABIN  
PENUMPANG KENDARAAN TEMPUR *ARMoured*  
*PERSONNEL CARRIER (APC)* DALAM *VIRTUAL*  
*ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

**ANDREA COUDILLO  
0706166661**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS ERGONOMI DESAIN PINTU KABIN  
PENUMPANG KENDARAAN TEMPUR *ARMoured*  
*PERSONNEL CARRIER (APC) DALAM VIRTUAL  
ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ANDREA COUDILLO  
0706166661**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2011**

## 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 : Andrea Coudillo**

**NPM : 0706166661**

**Tanda tangan :**

**Tanggal : 13 Juni 2011**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul: Analisis Ergonomi Desain Pintu Kabin Penumpang  
Kendaraan Tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)*  
Dalam *Virtual Environment*

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada  
program studi Teknik Industri Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik  
Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi.

Depok, Juni 2011

Armand Omar Moeis, S.T., M.Sc.

NIP 197804022008121001

## 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 Armand Omar Moeis ST, MSc. Terima kasih atas segala yang telah bapak berikan selaku dosen pembimbing skripsi; motivasi, arahan, saran, do'a, bimbingan akademis, dan bimbingan hidup. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan bapak dengan kebaikan yang lebih banyak.
2. Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE 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 Sena Maulana sebagai pembimbing saya ketika melakukan pengambilan data desain aktual kendaraan tempur panser di pindad
4. Kepada Pangdam Jasa beserta staf di Kodam Jaya yang telah membantu dalam perizinan pengambilan data di Yonif Mekanis 201
5. Letnan Sinaga sebagai pembimbing saya ketika melakukan pengambilan data antropometri personil Tentara Nasional Indonesia Yonif Mekanis 201
6. Personil Tentara Nasional Indonesia (TNI) Yonif Mekanis 201 yang bersedia meluangkan waktunya untuk menjadi responden pengambilan data antropometri
7. Keluarga tercinta, terutama Ibu, dan adik-adikku yang tercinta, atas seluruh perhatian, semangat dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang
8. Dela Agung Septriadi, M Farouk Akbar, Ivan Gunawan Sihombing dan R Yoga Prawairanegara sebagai teman tim skripsi ergonomi pada kendaraan tempur yang selalu memberi masukan dalam skripsi saya ini

9. Sahabat-sahabat saya Si Ndut, Si dek, Si Suik dan Si Gembul yang selalu memberikan semangat dan motifikasi kepada saya dalam mengerjakan skripsi
10. Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri terutama Mas Achiel, Mas Topan, Mas Latief, Pak Mursyid, dan Mas Iwan atas kesediaannya membantu asisten Ergonomics Centre hingga malam dan bahkan di akhir pekan
11. Teman-teman angkatan 2007 yang telah bersama dengan saya selama 4 tahun di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang selalu memberi masukan dalam penelitian yang saya lakukan
12. Teman-teman satu kosan bukit pisang yang memberi masukan dan motivasi kepada saya dalam pengerjaan penelitian ini
13. Pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu di sini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT 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 14 Juni 2011

Penulis

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

---

---

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

Nama : Andrea Coudillo

NPM : 0706166661

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:

**Analisis Ergonomi Desain Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur**

***Armoured Personnel Carrier (APC) Dalam Virtual Environment***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang Menyatakan

(Andrea Coudillo)

## ABSTRAK

Nama : Andrea Coudillo

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Desain Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)* Dalam *Virtual Environment*

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis pada desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)* dalam *Virtual Environment*. Tujuannya adalah mengevaluasi desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur dan menentukan konfigurasi paling ergonomis ditinjau dari tinggi pintu dan posisi pijakan. Dihasilkan 6 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Pengambilan data gerakan dilakukan dengan menggunakan Vicon 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 tinggi pintu sejauh 10 cm ke atas dan diberikan pijakan dengan jarak dari dasar pintu sejauh 30 cm serta dengan sudut 50°.

Kata Kunci:

Ergonomi, *Armoured Personnel Carrier (APC)*, Lingkungan Virtual, *Motion Capture*, *Posture Evaluation Index*, Konfigurasi Optimal

## ABSTRACT

Name : Andrea Coudillo

Study Program : Industrial Engineering

Title : *Ergonomic Analysis of Passenger Cabin Door Design of Combat Vehicle Armoured Personnel Carrier (APC) in Virtual Environment.*

This research studies the ergonomic aspect from passenger cabin door of combat vehicle Armoured Personnel Carrier (APC) in Virtual Environment. The purpose of this project was to evaluate the actual design from passenger cabin door of combat vehicle and determine the most ergonomic configuration that concerns door height and tread position. Vicon System was used to capture motion and Jack 6.2.1 was used to analyze it. 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 height increase 10 cm above and put on the tread 30 below the door with 50° angle.

Key words:

Ergonomics, Armoured Personnel Carrier (APC), Motion Capture, Posture Evaluation Index, Optimum Configurations

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR RUMUS.....	xv
1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
1.3 Rumusan Permasalahan.....	5
1.4 TUJUAN MASALAH.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 METODOLOGI PENELITIAN.....	6
1.7 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
1.8 Sistematika Penulisan.....	10
2 LANDASAN TEORI.....	11
2.1 Ergonomi.....	11
2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi.....	11
2.1.2 Ergonomi dan Desain Produk.....	14
2.2 Antropometri.....	15
2.2.1 Definisi Antropometri.....	15
2.2.2 Variabilitas Manusia.....	17
2.2.3 Data Antropometri.....	19

2.2.4	Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan .....	21
2.3	Ingress dan Egress .....	21
2.4	Virtual Environment .....	23
2.5	Vicon Motion Capture System .....	26
2.5.1	Pendahuluan mengenai <i>Motion Capture</i> .....	26
2.5.2	Cara Kerja Vicon System.....	27
2.6	Software Siemens Jack 6.1.....	27
2.6.1	Pendahuluan Mengenai Jack.....	27
2.6.2	Jack Motion Capture Modules .....	30
2.6.3	Jack Task Analysis Toolkit.....	30
2.7	Static Strength Prediction (SSP).....	32
2.8	Low Back Analysis (LBA) .....	34
2.9	Ovako Working Posture Analysis (OWAS) .....	35
2.10	Rapid Upper Limb Assessment (RULA).....	39
2.11	Metode Posture Evaluation Index (PEI) .....	40
2.11.1	Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja.....	41
2.11.2	Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas.....	42
2.11.3	Fase Ketiga: Static Strength Prediction .....	42
2.11.4	Fase Keempat: Low Back Analysis.....	42
2.11.5	Fase Kelima: Ovako Working Posture Analysis.....	42
2.11.6	Fase Keenam: Rapid Upper Limb Assessment.....	43
2.11.7	Fase Ketujuh: Evaluasi PEI.....	43
2.12	Kendaraan Tempur .....	45
2.12.1	Jenis Kendaraan Tempur.....	45
3	PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA .....	50
3.1	Pengumpulan Data.....	50
3.1.1	Data Spesifikasi Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Pengangkut Personil ( <i>APC</i> ).....	50
3.1.2	Data Anthropometri Tentara Nasional Indonesia.....	51
3.1.3	Data Postur dan Gerakan Tentara Memasuki Kendaraan Tempur..	53
3.2	Pengolahan Data.....	63
3.2.1	Membuat Lingkungan Virtual ( <i>Virtual Environment</i> ).....	63
3.2.2	Memasukkan Data Postur Statis Manusia.....	65
3.2.3	Membuat Manekin ( <i>Virtual Human</i> ).....	66
3.2.4	Menyatukan Manekin dengan Data.....	67
3.2.5	Memberi Beban ( <i>Weights</i> ).....	67

3.2.6	Menganalisa Kinerja Manekin dan Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI) .....	68
3.3	Perancangan Konfigurasi Model .....	69
3.4	Verifikasi dan Validasi Model .....	70
4	ANALISIS.....	72
4.1	Analisa Desain Aktual Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur....	72
4.1.1	Static Strength Prediction (SSP).....	73
4.1.2	Lower Back Analysis (LBA) .....	75
4.1.3	<i>Ovako Working Analysis System</i> (OWAS) .....	77
4.1.4	<i>Hasil Rapid Upper Limb Assesment</i> (RULA) .....	79
4.1.5	Perhitungan Nilai PEI .....	81
4.2	Analisis Rancangan Konfigurasi .....	82
4.2.1	Analisa Rancangan Konfigurasi 2 .....	82
4.2.2	Analisa Rancangan Konfigurasi 3 .....	84
4.2.3	Analisa Rancangan Konfigurasi 4 .....	85
4.2.4	Analisa Rancangan Konfigurasi 5 .....	87
4.2.5	Analisa Rancangan Konfigurasi 6 .....	89
4.3	Analisis Perbandingan .....	90
4.3.1	Analisa Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi	90
4.3.2	Analisis Perbandingan Nilai PEI untuk data antropometri Indonesia Persentil 95.....	94
4.4	Simulasi Waktu .....	95
5	KESIMPULAN DAN SARAN .....	97
5.1	Kesimpulan .....	97
5.2	Saran .....	98
	DAFTAR REFERENSI.....	99

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Keluhan Pintu Kabin Penumpang .....	3
Gambar 1.2 Grafik Keluhan Perlunya Pijakan Pada Pintu Kabin Penumpang .....	3
Gambar 1.3 Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1.4 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	8
Gambar 2.1 Sistem Kerja Sederhana. Manusia berinteraksi dengan mesin untuk mengubah input menjadi output. (E= <i>local environment</i> , H= <i>human</i> , M= <i>machine</i> ). .....	14
Gambar 2.2 Perbedaan Tinggi Tubuh Manusia Dalam Posisi Berdiri Tegak Untuk Berbagai Suku Bangsa .....	18
Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural.....	20
Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional.....	21
Gambar 2.5 <i>Median Motion Strategy</i> Pada Pergerakan Ingress .....	22
Gambar 2.6 <i>Forward Motion Strategy</i> .....	22
Gambar 2.7 <i>Trunk Motion Strategy</i> .....	23
Gambar 2.8 Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i> .....	24
Gambar 2.9 Lingkungan pada Jack .....	28
Gambar 2.10 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack .....	29
Gambar 2.11 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian.....	33
Gambar 2.12 Model Kode OWAS.....	36
Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS .....	37
Gambar 2.14 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS .....	37
Gambar 2.15 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS .....	38
Gambar 2.16 Contoh Lembar Kerja RULA .....	40
Gambar 2.17 Diagram Alir Metode PEI .....	41
Gambar 2.18 Kendaraan Tempur Tank .....	45
Gambar 2.19 Kendaraan Tempur Pengangkut Personil Lapis Baja .....	46
Gambar 2.20 Kendaraan Tempur Infanteri .....	47
Gambar 2.21 Kendaraan Tempur Penghancur Tank .....	48
Gambar 2.22 Kendaraan Tempur Artileri Gerak Sendiri dan Mariam Serbu .....	49
Gambar 3.1 Kendaraan Tempur <i>Armoured Personnel Carrier (APC)</i> .....	51
Gambar 3.2 Proses Pengukuran.....	51
Gambar 3.3 Tampilan Vicon Nexus 1.5.1.....	53
Gambar 3.4 Penempatan Frame Pintu .....	54
Gambar 3.5 Tampilan <i>tab Calibration</i> pada Vicon Nexus .....	55
Gambar 3.6 Tampilan Noise yang Telah Ditutup .....	56
Gambar 3.7 Proses Kalibrasi dengan <i>Wand</i> .....	56
Gambar 3.8 Tampilan <i>Wand</i> pada Vicon Nexus.....	57
Gambar 3.9 Peletakan <i>L-Frame</i> pada Area Perekaman.....	57
Gambar 3.10 Tampilan Sebelum dan Sesudah proses <i>Set Volume Origin</i> .....	58
Gambar 3.11 Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia .....	60

Gambar 3.12 Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia .....	61
Gambar 3.13 (a) Hasil Rekonstruksi (b) Hasil Rekonstruksi yang Telah Dinamai .....	61
Gambar 3.14 Tampilan <i>tab Capture</i> .....	62
Gambar 3.15 Model Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur.....	64
Gambar 3.16 Model Helm yang digunaka oleh Tentara.....	64
Gambar 3.17 Model Rompi yang digunaka oleh Tentara.....	64
Gambar 3.18 Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan <i>Pipeline</i> .....	65
Gambar 3.19 Postur dengan <i>Display Segments</i> .....	66
Gambar 3.20 Postur dengan <i>Show Markers</i> .....	66
Gambar 3.21 Modul <i>LoadsAndWeights</i> .....	68
Gambar 4.1 Desain Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 5 .....	72
Gambar 4.2 Desain Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 95 .....	73
Gambar 4.3 Grafik SSP Desain Aktual Persentil 5 .....	74
Gambar 4.4 Grafik SSP Desain Aktual Persentil 95 .....	75
Gambar 4.5 Grafik LBA Desain Aktual Persentil 5 .....	76
Gambar 4.6 Grafik LBA Desain Aktual Persentil 95 .....	76
Gambar 4.7 Hasil OWAS Desain Aktual Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Persentil 5 .....	78
Gambar 4.8 Hasil OWAS Desain Aktual Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Persentil 95 .....	79
Gambar 4.9 Hasil RULA Desain Aktual Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur pada Persentil 5 .....	80
Gambar 4.10 Hasil RULA Desain Aktual Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur pada Persentil 95.....	81
Gambar 4.11 Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 5.....	83
Gambar 4.12 Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 95.....	83
Gambar 4.13 Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 5.....	84
Gambar 4.14 Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 95.....	84
Gambar 4.15 Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 5.....	86
Gambar 4.16 Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 95.....	86
Gambar 4.17 Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 5.....	87
Gambar 4.18 Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 95.....	88
Gambar 4.19 Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 5.....	89
Gambar 4.20 Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 95.....	89
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi .....	91
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi.....	92
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi.....	92
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi .....	93
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi .....	94

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definisi <i>Human Factors</i> dan Ergonomi .....	13
Tabel 2.2 Struktur Kategori Terminologi Ergonomi .....	13
Tabel 2.3 Detail Usulan Berdasarkan Skor OWAS.....	39
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Tentara.....	52
Tabel 3.2 Susunan <i>Markers</i> untuk <i>software</i> Jack.....	58
Tabel 3.3 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat.....	70
Tabel 4.1 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual Persentil 5 .....	74
Tabel 4.2 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual Persentil 95 .....	75
Tabel 4.3 Deskripsi Kode OWAS .....	77
Tabel 4.4 Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS .....	78
Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual .....	82
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2 .....	83
Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3 .....	85
Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4 .....	87
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5 .....	88
Tabel 4.10 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6 .....	90
Tabel 4.11 Waktu Rata-Rata Simulasi Memasuki Pintu Kabin Penumpang .....	95

## DAFTAR RUMUS

2.1 Prinsip Dasar SSP .....	32
2.2 Persamaan SSP .....	32
2.3 Standar <i>Lifting</i> NIOSH.....	35
2.4 Rumus <i>Postur Evaluation Index (PEI)</i> .....	44



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Teknik industri merupakan disiplin ilmu teknik yang berfokus kepada perancangan, peningkatan dan instalasi dari sistem terintegrasi yang terdiri atas manusia, material, peralatan dan energi. Semua sistem yang sifatnya meningkatkan nilai tambah baik berupa barang maupun jasa merupakan obyek yang di kelola oleh teknik industri. Peran ergonomi dalam meningkatkan nilai tambah tersebut sangatlah besar. Dengan adanya ergonomi dalam teknik industri, sistem yang dikelola oleh teknik industri akan menjadi maksimal. Hal ini dikarenakan ilmu ergonomi merupakan suatu ilmu yang mempelajari tingkah laku manusia dalam kaitannya dengan pekerjaan mereka.

Target dari penelitian ergonomi yaitu manusia pada saat bekerja dalam lingkungannya. Dengan kata lain dapat diartikan bahwa ergonomi adalah penyesuaian pekerjaan dengan kondisi tubuh manusia.

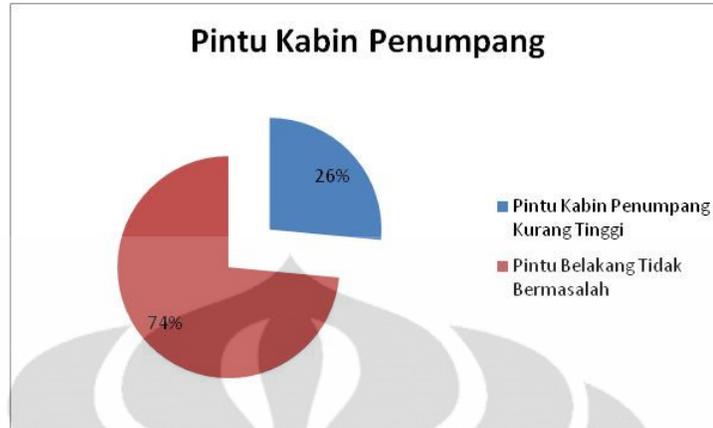
Ruang lingkup ergonomi sangatlah luas. Salah satu ruang lingkup ergonomi yaitu desain. Desain memiliki peran yang besar dalam meningkatkan nilai tambah pada barang ataupun jasa yang menjadi objek yang dikelola oleh teknik industri tersebut. Desain yang ergonomi akan membuat suatu pekerjaan lebih cepat diselesaikan. Hal ini sesuai dengan salah satu definisi ergonomic yaitu untuk "*fitting the job to the worker*".

Ergonomi 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. Namun, tidak kalah penting, dalam penyerangan, penyeragaman pengintaian, maupun penyusupan, tentara mesti didukung oleh alat angkut personel taktis yakni kavaleri, yang saat ini umum dipakai sebagai sebutan untuk kekuatan tempur darat kendaraan belapis baja.

Panser Pindad paling canggih saat ini adalah Anoa, *Armoured Personnel Carrier* (APC) beroda 6. Panser ini mulai menjelajah ke pasar ekspor di tahun 2009 karena sudah memenuhi standar Nato di level III. Artinya tingkat ketahanan dari serangan lebih baik dari level II yang di produksi di China dan India. Hanya peluru tertentu saja yang bisa menembusnya dan itupun dari jarak dekat. Ketahanan dalam desain suatu kendaraan tempur memang suatu hal yang penting. Akan tetapi, keselamatan dan kenyamanan tentara yang menggunakan kendaraan tempur tersebut juga merupakan faktor utama dalam pertahanan dan kekuatan militer.

Hasil studi Departemen Kesehatan RI tentang “Profil Masalah Kesehatan Pekerja di Indonesia tahun 2005” menunjukkan, 40,5% pekerja memiliki keluhan gangguan kesehatan yang berhubungan dengan pekerjaannya, seperti: gangguan muskuloskeletal (16,0%), kardiovaskular (8,0%), gangguan saraf (6,0%), gangguan kulit (1,3%) dan gangguan Telingan Hidung Tenggorokan (1,0%). Gangguan muskuloskeletal merupakan suatu gangguan yang ditimbulkan dari kerja fisik yang dilakukan oleh pekerja seperti gerak janggal yang melewati lingkup gerak sendi, gerak otot statis, dan masa istirahat yang tidak cukup. Gangguan muskuloskeletal ini juga banyak terkena pada anggota militer, khususnya ketika mereka menggunakan kendaraan tempur berlapis baja *Armoured Personnel Carrier* (APC).

Dari wawancara yang dilakukan langsung kepada Tentara Nasional Indonesia (TNI) pada Batalyon Infanteri Mekanis 201/Jaya Yudha yang sudah pernah menggunakan kendaraan tempur panser, dari 170 respondent 49 orang memiliki keluhan pintu kabin penumpang yang kurang tinggi, dan 75 orang memiliki keluhan jarak dari tanah ke dasar pintu terlalu tinggi sehingga perlu ditambahkan pijakan dibawah pintu kabin penumpang kendaraan tempur.



**Gambar 1.1** Grafik Keluhan Pintu Kabin Penumpang



**Gambar 1.2** Grafik Keluhan Perlunya Pijakan Pada Pintu Kabin Penumpang

Analisis aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap kendaraan tempur meliputi desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur. Nilai ergonomis dari desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur yang diteliti dapat diketahui dengan menganalisis evaluasi postur dan gerakan seseorang saat menaiki kabin penumpang kendaraan tempur. Postur dan gerakan penumpang ketika menaiki kabin penumpang memiliki kaitan dengan kenyamanan seseorang saat menaiki kabin penumpang. Serta dapat mengurangi gangguan muskuloskeletal pada personel tentara yang akan menaiki kendaraan tempur tersebut.

Analisis ergonomi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software digital human modeling and simulation* yang bernama Jack versi 6.2.1 yang

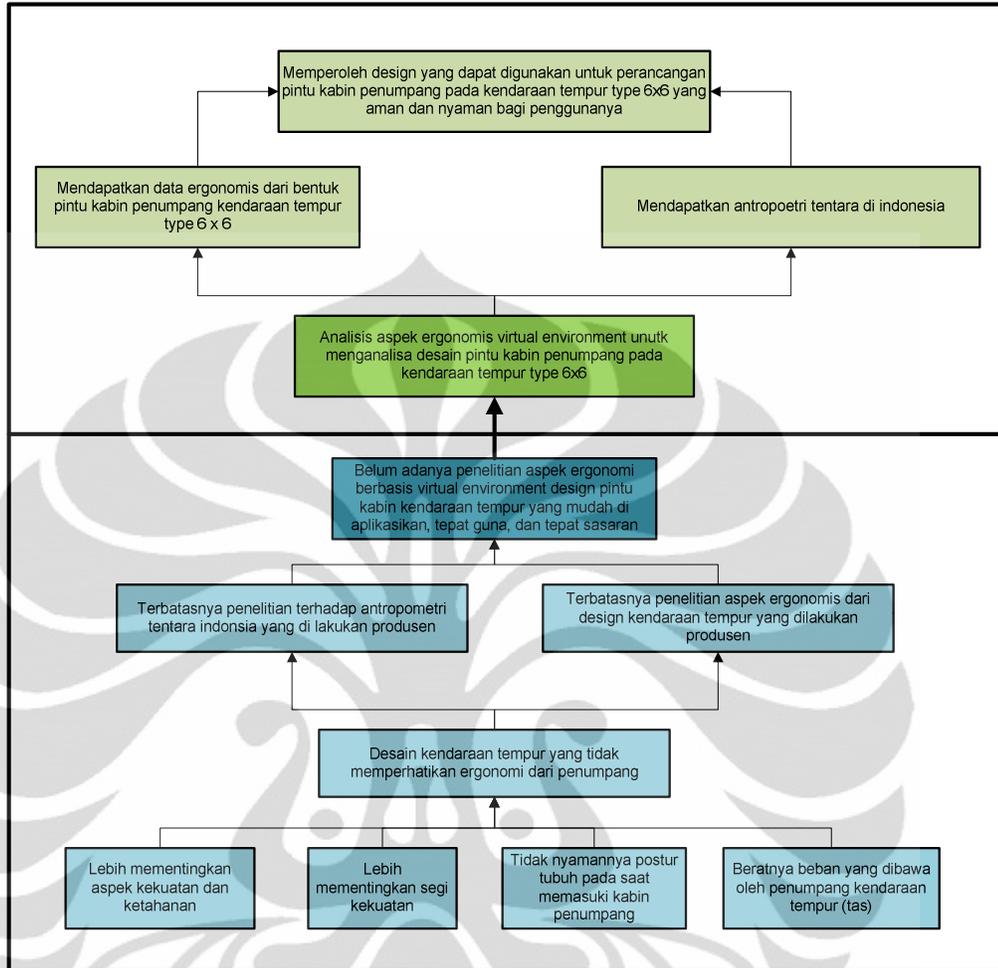
dihubungkan dengan peralatan *Vicon Motion Capture System* sebagai alat perekaman gerakan. *Software Jack 6.2.1* sendiri dirancang khusus untuk memodelkan dan mensimulasikan interaksi manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai yang dilengkapi dengan *Task Analysis Toolkit* dan *Occupant Packaging Toolkit*. Keduanya dapat menganalisis aspek ergonomi model yang telah dibuat ketika simulasi dijalankan. Hasil analisis yang dikeluarkan bisa dijadikan sebagai bahan kesimpulan untuk lingkungan atau alat kerja yang dimodelkan.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Posture Evaluation Index (PEI). Metode ini bertujuan untuk mengkalkulasi tingkat kenyamanan postur manusia yang dimodelkan dalam *software Jack 6.2.1* berdasarkan hasil yang dikeluarkan *Task Analysis Toolkit*. Sedangkan, untuk biomekanika kerjanya akan dianalisa menggunakan *Vicon Bodybuilder* pada *Motion Capture* untuk mengetahui gerakan-gerakan yang dilakukan oleh tentara sudah ergonomis atau belum.

Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat dihasilkan suatu desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur yang ergonomis.

## **1.2 Diagram Keterkaitan Masalah**

Untuk dapat melihat permasalahan dalam penelitian ini secara utuh, termasuk bagaimana setiap sub-permasalahan saling berinteraksi dan berhubungan satu sama lain, maka dibuatlah diagram keterkaitan masalah. Berdasarkan latar belakang di atas dibuat diagram keterkaitan masalah seperti pada gambar 1.3.



**Gambar 1.3** Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah belum adanya penelitian ergonomis terhadap desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur sehingga perlu dilakukan analisis terhadap desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur terutama dalam aspek ergonomis yang mudah diaplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran. Selain itu, keluhan yang di dapat dari hasil wawancara langsung diatas juga menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini.

### 1.4 TUJUAN MASALAH

Tujuan yang ingin di capai oleh penulis dalam penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu desain pintu kabin penumpang pada kendaraan tempur yang

telah ergonomis sesuai dengan hasil uji nilai PEI dan memberikan kenyamanan bagi penumpang kendaraan tempur tersebut. Tujuan ini dicapai dengan analisis aspek ergonomis dari desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur melalui simulasi model manusia berbasis virtual environment yang mudah untuk di aplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.

### 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 *Armoured Personnel Carrier (APC)* yang digunakan di Indonesia.
2. Data antropometri yang digunakan merupakan data antropometri Tentara Nasional Indonesia (TNI) pada Batalyon Infanteri Mekanis 201/Jaya Yudha
3. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)* 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 6.2.1.
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 kabin penumpang kendaraan tempur yang digunakan, serta mengumpulkan data antropometri Tentara Nasional Indonesia (TNI) pada Batalyon Infanteri Mekanis 201/Jaya Yudha sebagai pengguna kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)*.

## 5. Pengolahan data

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

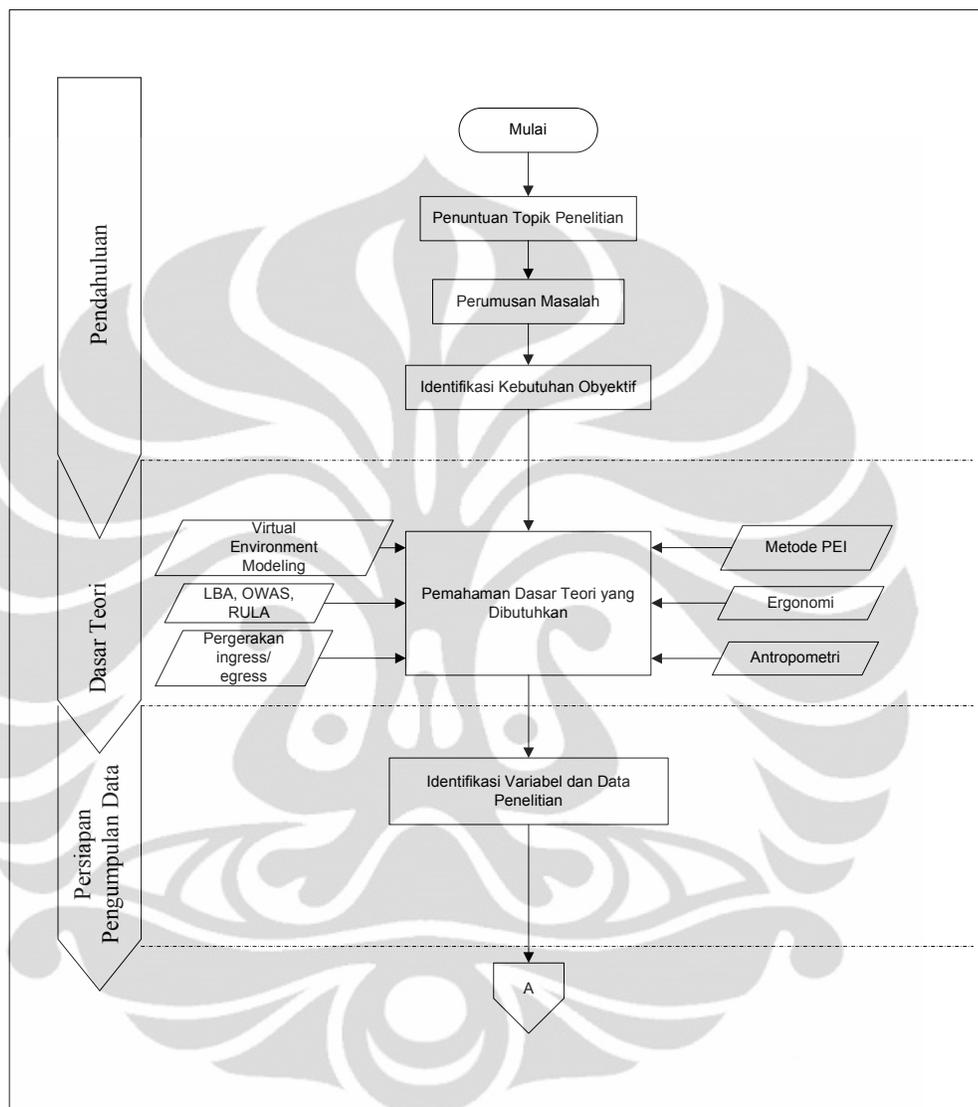
## 6. Analisis data

Setelah mengolah data maka selanjutnya adalah menganalisis data yang telah didapat dan diolah sehingga diperoleh satu desain yang paling ergonomis berdasarkan nilai perhitungan PEI yang paling kecil.

## 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 1.4** Diagram Alir Metodologi Penelitian

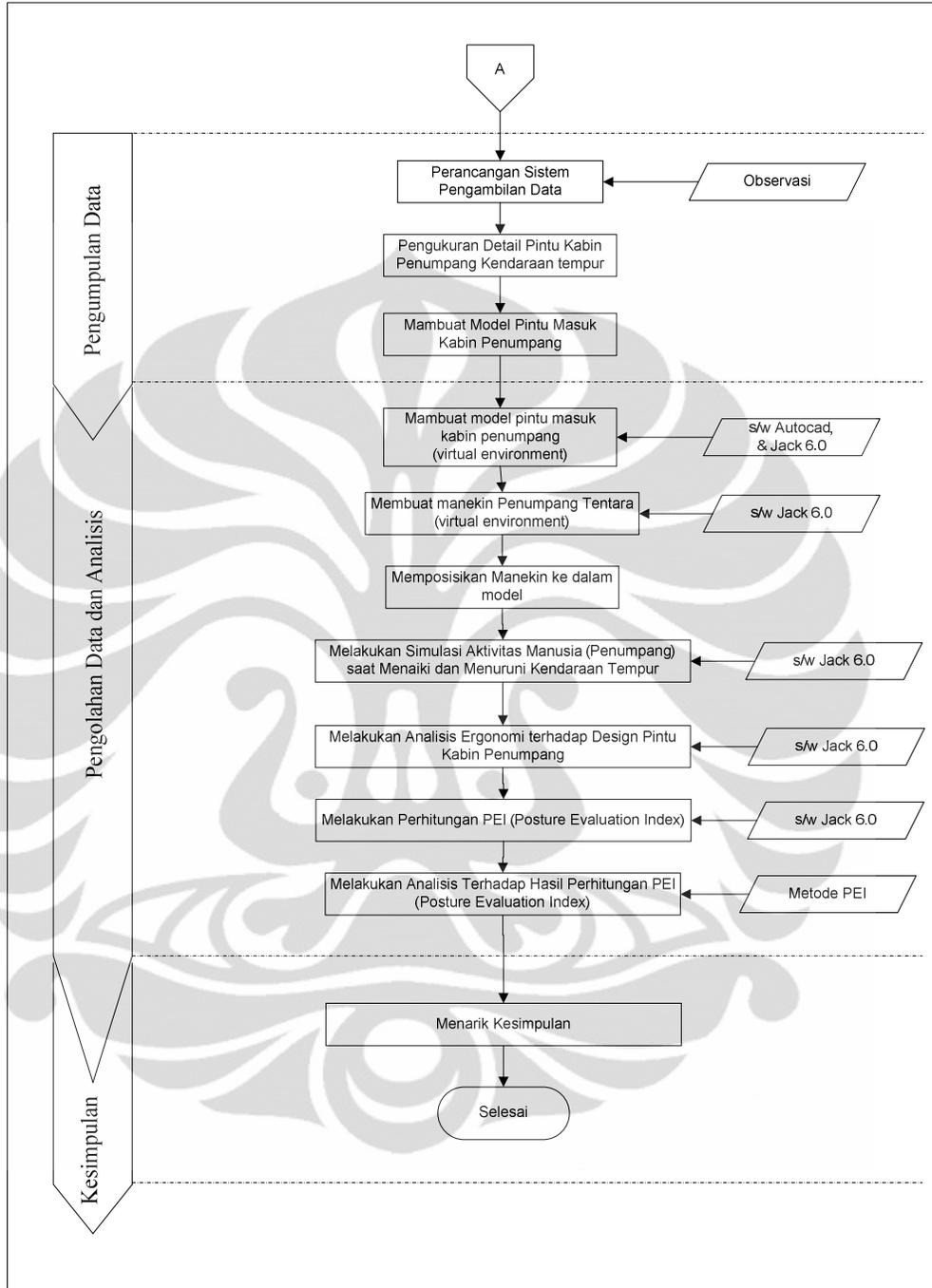


Diagram Alir Metodologi Penelitian ( Lanjutan)

## 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 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 merupakan landasan teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Bagian ini berisi landasan teori yang membahas dasar-dasar ergonomi, prinsip penelitian ergonomi melalui *virtual environment*, serta metode *Posture Evaluation Index*.

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 kabin penumpang 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. 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 desain yang ergonomis dari pintu kabin penumpang kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)*.

## 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,
- Insiden, cedera, dan kesalahan,
- Kesulitan dalam penggunaan, dan
- Moral yang rendah dan apatisme.

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 interdisciplinary: 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

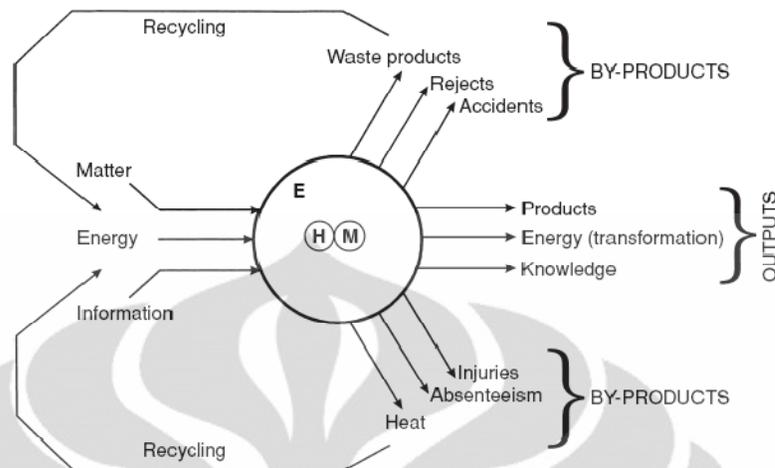
Berikut ini merupakan pendekatan ini dilakukan dengan cara mengkategorikan struktur sederhana yang menjelaskan tentang ergonomi ke dalam bentuk *who, what, how, when/where, dan goal*.

**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 & Armstrong, 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

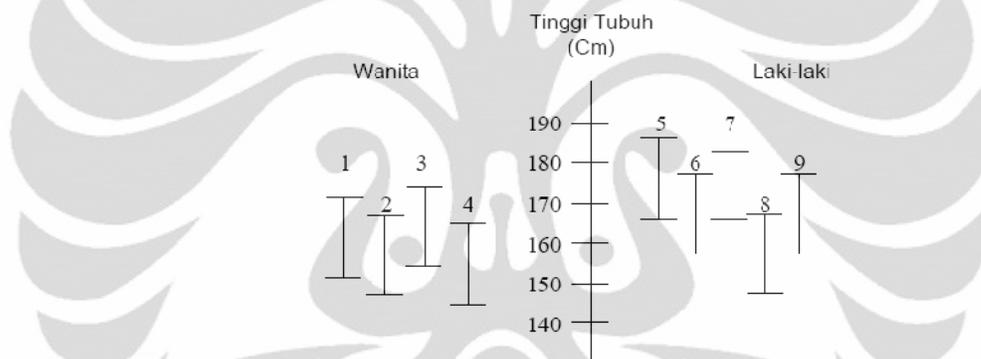
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki/tangan palsu, dan lain-lain).

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.

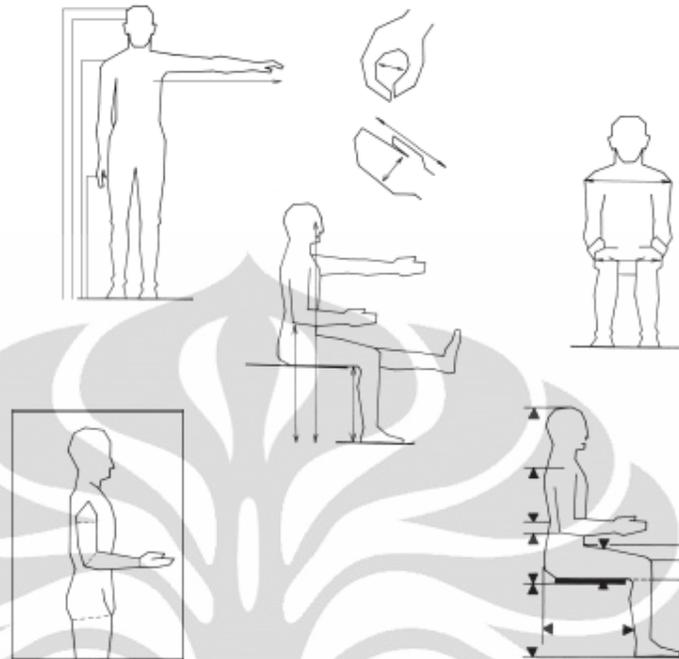
Akhirnya, sekalipun segmentasi dari populasi yang ingin dituju dari rancangan suatu produk selalu berhasil diidentifikasi sebaik-baiknya berdasarkan faktor-faktor seperti yang telah diuraikan; namun adanya variasi ukuran bukan tidak mungkin bisa tetap dijumpai. Permasalahan variasi ukuran sebenarnya 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 struktural merupakan data antropometri yang didapatkan melalui pengukuran ketika subjek yang diukur berada dalam posisi diam (statis). Pengukuran dimensi tubuh manusia pada data antropometri struktural dilakukan dengan cara menghitung jarak dari suatu titik dalam anatomi tubuh manusia terhadap satu titik yang berada dalam permukaan yang tetap. Pengukuran data antropometri struktural 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 struktural memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah ketika mengaplikasikan data antropometri struktural yang bersifat statis ke dalam penyelesaian suatu desain yang melibatkan gerakan. Contoh data antropometri struktural dapat dilihat pada gambar 2.3.

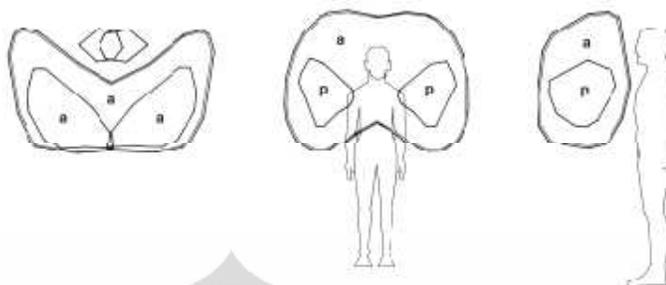


**Gambar 2.3** Data Antropometri Struktural

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

Sumber : 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 Ingress dan Egress

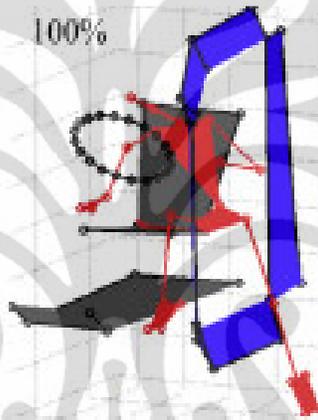
Ingress dan egress merupakan suatu proses bagaimana seseorang memasuki dan meninggalkan kendaraan. Kegiatan memasuki atau meninggalkan suatu kendaraan adalah suatu pekerjaan yang membutuhkan koordinasi gerakan artikular tubuh manusia yang kompleks. Bentuk, tinggi dan besarnya pintu pada suatu kendaraan dapat mempengaruhi proses ingress dan egress serta postur tubuh

seseorang ketika menaiki kendaraan tersebut. Strategi ini dapat diterapkan dalam pembuatan Standar Operasi Prosedur (SOP) pada suatu pekerjaan. Yang berhubungan dengan tindakan ingress dan egress.

Ada berbagai cara dalam proses ingress dan egress diantaranya yaitu:

- *Median Motion Strategy*

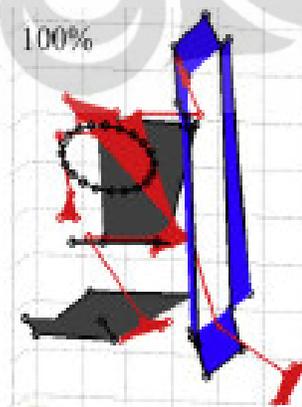
*Median Motion Strategy* merupakan sebuah gerakan memasuki kendaraan dimana ketinggian pintu yang dimiliki kendaraan tersebut berada diatas lutut rata-rata manusia dan tinggi pintu tersebut tidak mencapai 1 meter.



**Gambar 2.5** *Median Motion Strategy* Pada Pergerakan Ingress

- *Forward Motion Strategy*

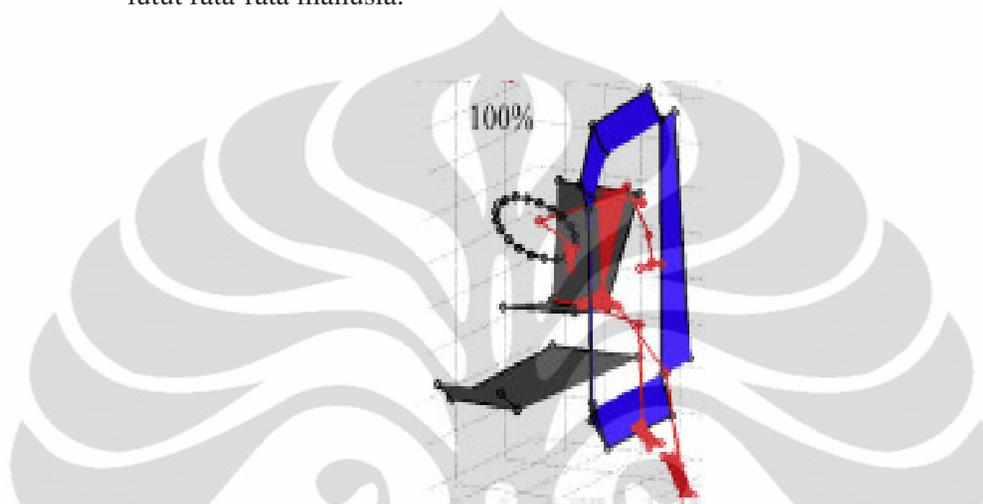
*Forward Motion Strategy* merupakan sebuah gerakan memasuki kendaraan dimana ketinggian pintu yang dimiliki kendaraan tersebut berada sejajar dengan lutut rata-rata manusia.



**Gambar 2.6** *Forward Motion Strategy*

- *Trunk Motion Strategy*

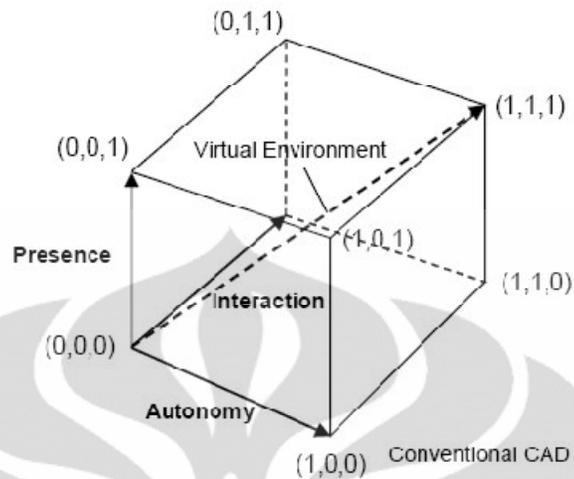
*Trunk Motion Strategy* merupakan sebuah gerakan memasuki kendaraan dimana ketinggian pintu yang dimiliki kendaraan tersebut berada dibawah lutut rata-rata manusia.



**Gambar 2.7** *Trunk Motion Strategy*

## 2.4 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 sintetis 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 2.8** 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.

## 2.5 Vicon Motion Capture System

### 2.5.1 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

### 2.5.2 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*).

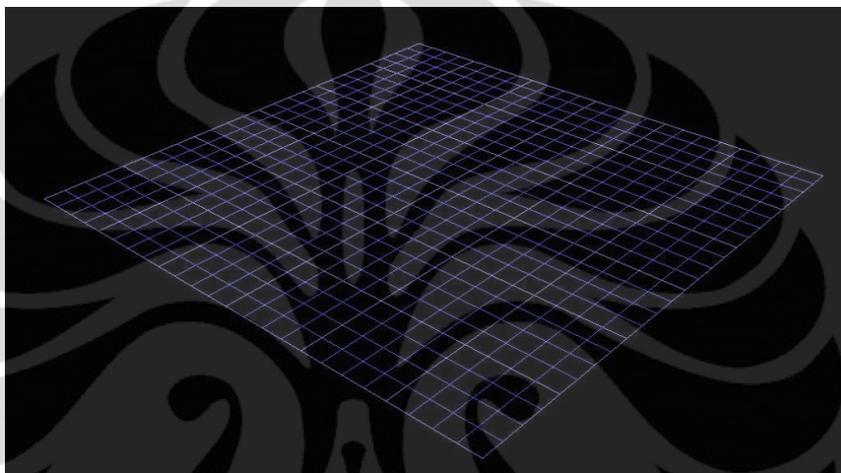
Vicon Nexus membutuhkan data dua dimensi dari setiap kamera, mengkombinasikannya dengan data kalibrasi untuk merekonstruksi pergerakan digital dalam tiga dimensi. Setelah proses rekonstruksi, data gerakan tersebut juga dapat ditransfer ke *software* dari pihak ketiga, seperti Jack.6.1, untuk analisis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

## 2.6 Software Siemens Jack 6.1

### 2.6.1 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 2.6



**Gambar 2.9** 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 2.7 menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



**Gambar 2.10** 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.

### 2.6.2 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*.

### 2.6.3 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)*.

## 2.7 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)).:

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

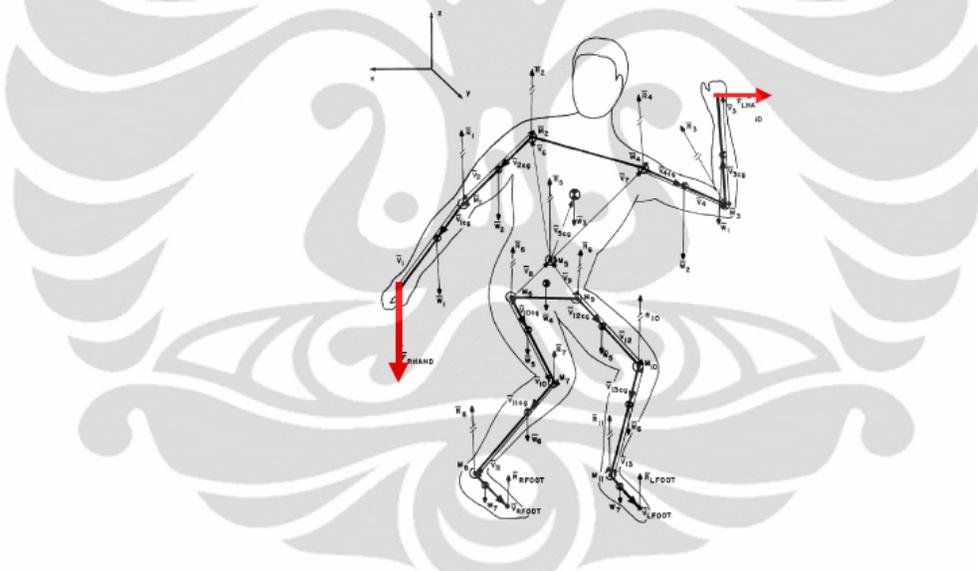
SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika diaplikasikan dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit dan bergerak. Pada tubuh manusia pergerakan otot akan membuat tulang cenderung berotasi pada setiap persendiaan yang ada. Besarnya kecenderungan 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 persendiaan dan  $S_j$  adalah gaya maksimal yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendiaan. 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 2.8 adalah model biomekanikal manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan sebuah aktivitas.



**Gambar 2.11** 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.

## 2.8 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:

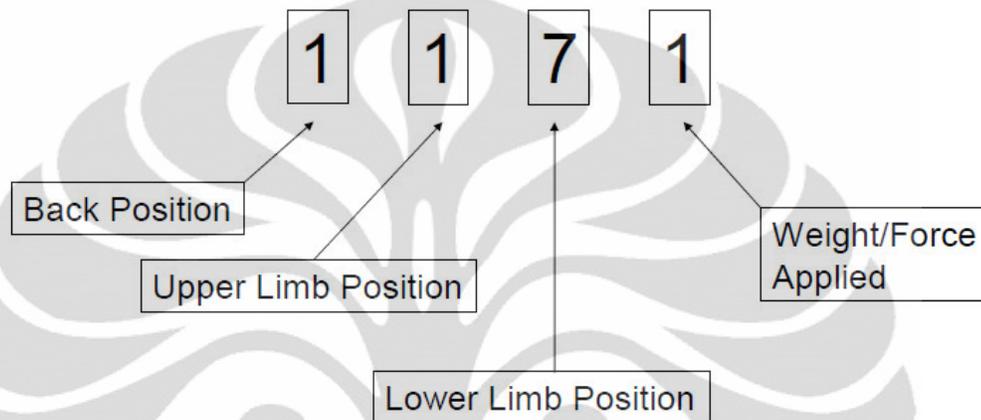
- HM, faktor "Horizontal Multiplier",
- VM, faktor "Vertical Multiplier",
- DM, faktor "Distance Multiplier",
- FM, faktor "Frequency Multiplier",
- AM, faktor "Asymmetric Multiplier", dan
- CM, faktor "Coupling Multiplier".

## 2.9 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 2.13). 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.



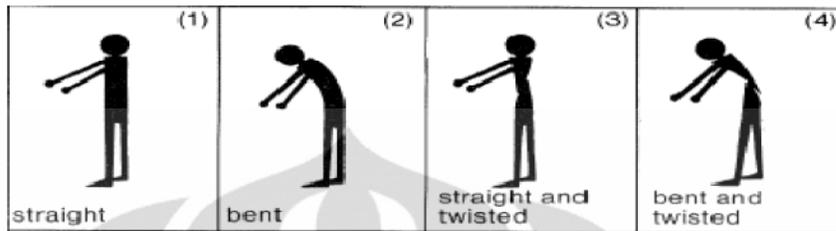
**Gambar 2.12** Model Kode OWAS

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.

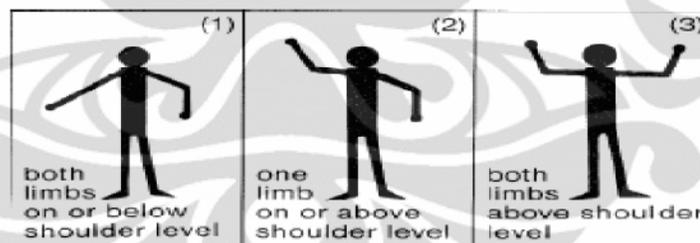


**Gambar 2.13** Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS

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 2.14** 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 2.11.

## 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 2.12



**Gambar 2.15** Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas 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 2.3.

**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*

### 2.10 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 penggunaannya untuk menghitung sebuah nilai yang mengindikasikan derajat kepentingan dari tingkat intervensi yang diperlukan untuk mereduksi resiko dan bahaya yang dapat terjadi. Seperti terlihat pada Gambar 2.13, bagian tubuh yang dianalisis dibagi menjadi dua grup. Grup A terdiri dari bagian tubuh tangan dan pergelangan tangan. Grup B terdiri dari leher, batang tubuh, dan kaki. Nilai akhir yang dihasilkan RULA adalah sebagai berikut:

- 1 atau 2, nilai ini mengindikasikan resiko dapat diterima.
- 3 atau 4, nilai ini menyatakan bahwa resiko harus diinvestigasi lebih lanjut.
- 5 atau 6, nilai ini menyatakan bahwa resiko harus diinvestigasi lebih lanjut dan diberikan perbaikan dengan cepat.
- 7, nilai menyatakan bahwa resiko harus segera diinvestigasi dan diberi perbaikan.

Metode RULA akan membantu penggunaannya untuk:

- Memberikan penilaian terhadap suatu kegiatan kerja dengan cepat sehingga resiko cedera pada tubuh bagian atas dapat dikurangi.

- Membantu dalam pembuatan desain kegiatan kerja atau perbaikan dari kegiatan yang telah ada.
- Mengidentifikasi dan memprioritaskan postur kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

### RULA Employee Assessment Worksheet

Completes this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

**A. Arm & Wrist Analysis**

**Step 1: Locate Upper Arm Position**

Step 1a: Adjust...  
Final Upper Arm Score

**Step 2: Locate Lower Arm Position**

Step 2a: Adjust...  
Final Lower Arm Score

**Step 3: Locate Wrist Position**

Step 3a: Adjust...  
Final Wrist Score

**Step 4: Wrist Twist**

Step 4a: Adjust...  
Final Wrist Twist Score

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A**

Final Posture Score

**Step 6: Add Muscle Use Score**

Final Muscle Use Score

**Step 7: Add Force/load Score**

Final Force/load Score

**Step 8: Find Row in Table C**

Final Row & Arm Score

**Table A**

Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Posture Score	Muscle Use	Force/load
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10

**Table B**

Trunk Posture Score	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	5	6
2	2	3	4	5	6	7
3	3	4	5	6	7	8
4	4	5	6	7	8	9
5	5	6	7	8	9	10
6	6	7	8	9	10	11

**Table C**

Final Row & Arm Score	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	3	4	5	6	7	8	9
3	3	4	5	6	7	8	9	10
4	4	5	6	7	8	9	10	11
5	5	6	7	8	9	10	11	12
6	6	7	8	9	10	11	12	13
7	7	8	9	10	11	12	13	14
8	8	9	10	11	12	13	14	15
9	9	10	11	12	13	14	15	16
10	10	11	12	13	14	15	16	17

**B. Neck, Trunk & Leg Analysis**

**Step 9: Locate Neck Position**

Step 9a: Adjust...  
Final Neck Score

**Step 10: Locate Trunk Position**

Step 10a: Adjust...  
Final Trunk Score

**Step 11: Legs**

Final Leg Score

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B**

Final Posture Score

**Step 13: Add Muscle Use Score**

Final Muscle Use Score

**Step 14: Add Force/load Score**

Final Force/load Score

**Step 15: Find Column in Table C**

Final Neck, Trunk & Leg Score

**Final Score**

Subject: \_\_\_\_\_ Date: / /  
Company: \_\_\_\_\_ Department: \_\_\_\_\_ Scorer: \_\_\_\_\_

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

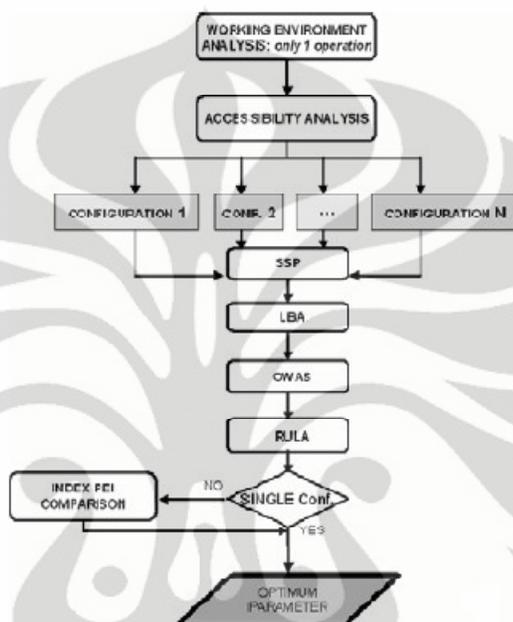
Gambar 2.16 Contoh Lembar Kerja RULA

Sumber: Hedge, 2000

### 2.11 Metode Posture Evaluation Index (PEI)

Metodologi PEI dan WEI dikembangkan oleh Prof. Frans Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D dari University of Naples Federico 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 ditentukan<sup>17</sup>.

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 2.17** Diagram Alir Metode PEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

#### 2.11.1 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.

#### 2.11.2 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.

#### 2.11.3 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.

#### 2.11.4 Fase Keempat: 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.

#### 2.11.5 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.

#### 2.11.6 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.

#### 2.11.7 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")<sup>19</sup>.

$$PEI = I1 + I2 + mr.I3 \quad (2.4)$$

dimana:

$I1 = LBA/3400$  N,  $I2 = OWAS/4$ ,  $I3 = RULA/7$ , 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  $I1$ ) dan evaluasi dari tingkat kelelahan pada tubuh bagian atas (pengaruh  $I3$ ). PEI memungkinkan penggunaanya 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 ketidaknyaman pada postur yang dianalisis: semakin tinggi tingkat ketidaknyaman, 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.

## 2.12 Kendaraan Tempur

### 2.12.1 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 2.18** 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 2.19** 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 2.20** 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 2.21** Kendaraan Tempur Penghancur Tank

Sumber: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/NM142\\_x\\_3.jpg](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 2.22** Kendaraan Tempur Artileri Gerak Sendiri dan Mariam Serbu

Sumber: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/M190\\_houwitser.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/M190_houwitser.png)



## 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 pengangkut personil (APC). Pengumpulan data antropometri juga dilakukan dengan cara pengukuran langsung terhadap personil Tentara Nasional Indonesia (TNI) dari Batalyon Infanteri Mekanis 201/Jaya Yudha.

##### 3.1.1 Data Spesifikasi Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Pengangkut Personil (APC)

Kendaraan tempur yang dijadikan sebagai objek penelitian kali ini merupakan kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)*. Bagian yang akan diteliti yaitu pada bagian pintu kabin penumpang kendaraan tempur *APC* tersebut. Berikut spesifikasi pintu kabin penumpang kendaraan tempur tersebut.

- Tinggi pintu : 100 cm
- Lebar pintu : 60 cm
- Jarak pintu ke tanah : 75 cm
- Kemiringan Pintu : 16° kearah luar



**Gambar 3.1** Kendaraan Tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)*

### 3.1.2 Data Anthropometri Tentara Nasional Indonesia

Data anthropometri yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) dalam penelitian ini yaitu data anthropometri Tentara Nasional Indonesia dari Batalyon Infanteri Mekanis 201/Jaya Yudha. Pemilihan tempat pengambilan data antropometri ini dikarenakan kendaraan tempur pengangkut personel tersebut baru hanya digunakan di Batalyon Infanteri Mekanis 201/Jaya Yudha tersebut. Data antropometri tersebut diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung terhadap 170 orang personel Tentara Nasional Indonesia tersebut dengan menggunakan antropometer.



**Gambar 3.2** Proses Pengukuran

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

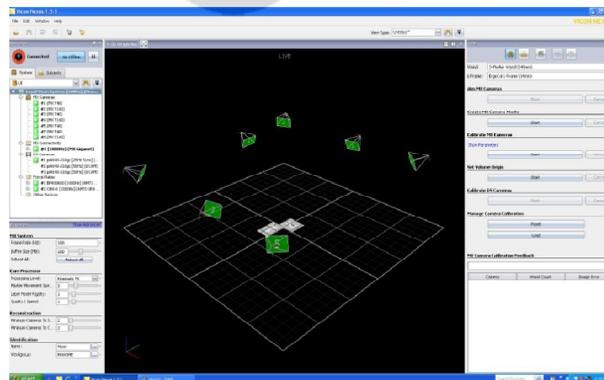
### 3.1.3 Data Postur dan Gerakan Tentara Memasuki Kendaraan Tempur

Perekaman gerakan tentara ketika memasuki kabin penumpang kendaraan tempur 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 memasuki kabin penumpang kendaraan tempur 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 8 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

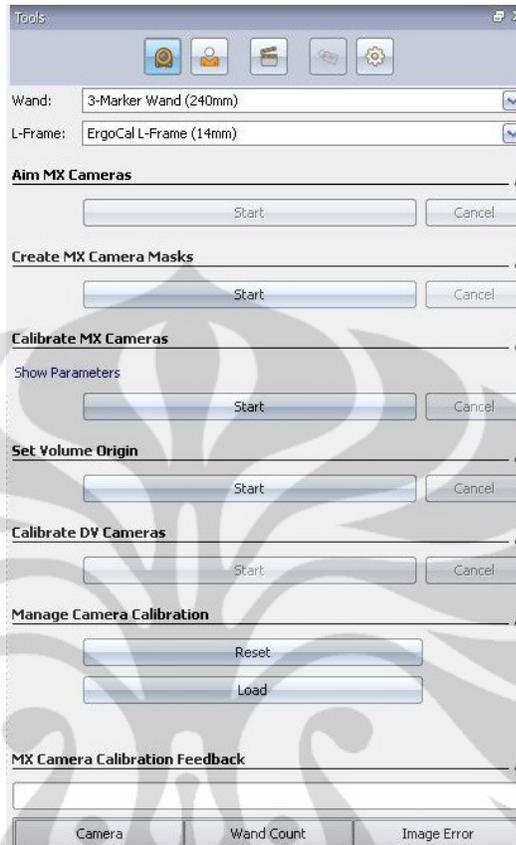
### 3.1.3.1 Mengkalibrasi Vicon System

Sebelum melakukan pengambilan data *motion capture*, Vicon System harus dikalibrasi agar peralatan berjalan baik dan hasil gerakan yang didapat seperti keadaan nyata. Kalibrasi Vicon Sistem menggunakan 2 jenis alat, yaitu *wand* dan *L-frame*. Jenis *wand* yang dipakai adalah *3-marker wand* (240mm) dan untuk *L-frame* adalah *ErgoCal L-Frame* (14mm).

Ketika melakukan kalibrasi, kita harus sudah menempatkan segala peralatan pendukung yang berhubungan dengan kegiatan *motion capture*. Frame pintu kabin penumpang 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



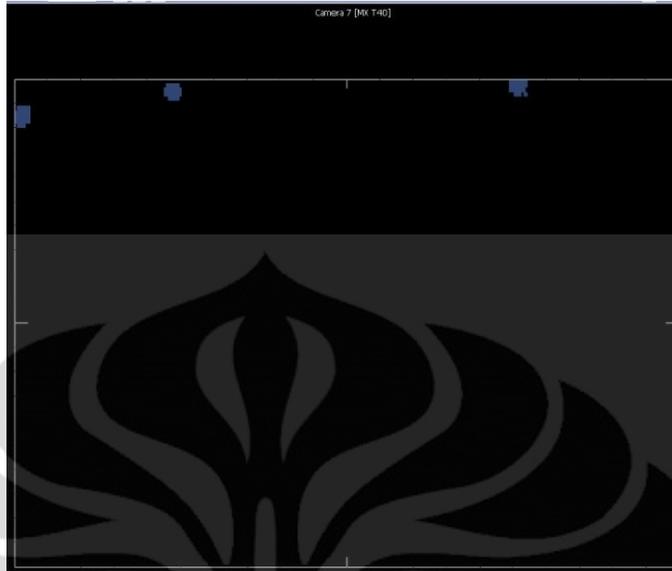
**Gambar 3.4** Penempatan Frame Pintu



**Gambar 3.5** Tampilan tab *Calibration* pada Vicon Nexus

Dalam keadaan *Live*, kalibrasi dimulai dengan proses penutupan cahaya-cahaya *noise* (*masking*) agar hasil kalibrasi menjadi bagus. *Noise* tersebut berasal dari cahaya yang bukan merupakan pantulan dari *markers*, tetapi merupakan pantulan dari benda-benda yang dapat memantulkan cahaya di sekitar kamera. Apabila *noise* tersebut tidak ditutup maka akan mengganggu proses kalibrasi selanjutnya.

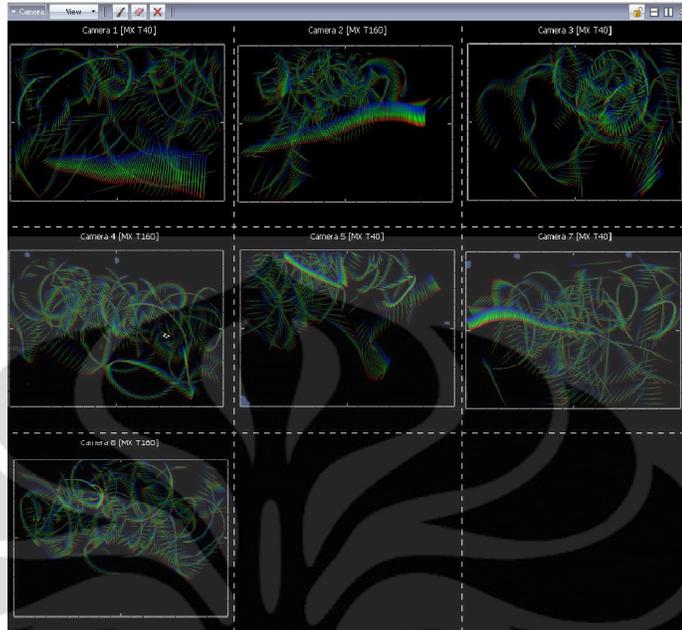
Hasil *masking* pada dapat dilihat pada Gambar 3.5 dimana *noise* cahaya yang telah ditutupi berwarna ungu. Setelah melalui proses *masking*, dilanjutkan dengan kalibrasi kamera MX dengan menggunakan *3-marker wand* (240mm). *Wand* tersebut diputar-putar seperti Gambar 3.7 mengelilingi area perekaman sehingga kamera MX dapat mengenali *markers* dalam area perekaman. Pada *software* Vicon Nexus 1.5.1 akan terlihat seperti Gambar 3.8 ketika dilakukan proses kalibrasi kamera MX.



**Gambar 3.6** Tampilan Noise yang Telah Ditutup



**Gambar 3.7** Proses Kalibrasi dengan *Wand*

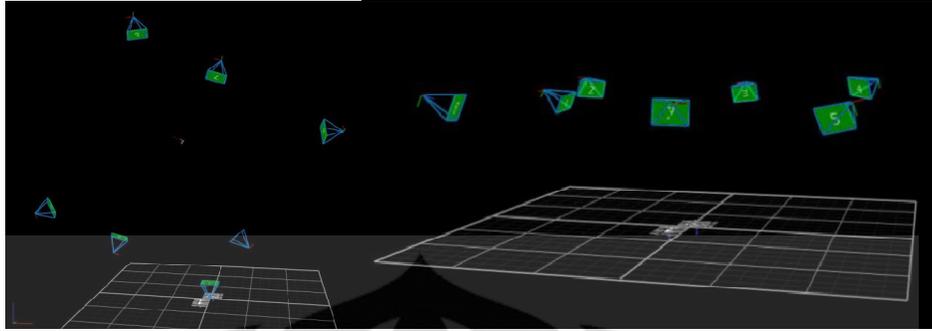


**Gambar 3.8** Tampilan *Wand* pada Vicon Nexus

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

Subjek manusia yang akan direkam gerakannya ditempelkan *markers* pada titik-titik tubuh tertentu sehingga gerakannya dapat terdeteksi oleh Vicon System. Terdapat susunan penempatan *markers* yang berbeda tergantung analisis apa yang akan digunakan. Sedangkan pada penelitian ini, data postur dan gerakan akan dianalisis lebih lanjut di *software* Jack 6.1 sehingga dipakai susunan markers sesuai yang diperlukan dalam *software* Jack. 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

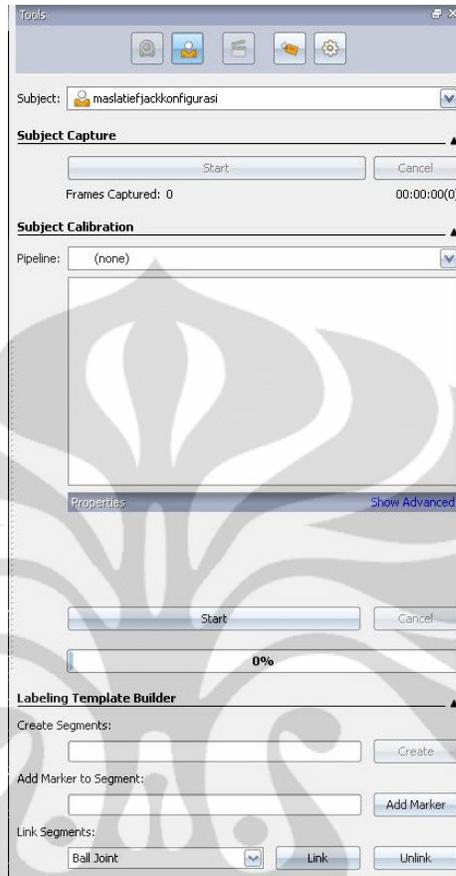
17. RUlna	Pergelangan tangan kanan searah kelingking
18. Rthumb	Pangkal ibu jari tangan kanan
19. RMHand	Tengah metakarpal kanan
20. Rpinky	Pangkal jari kelingking tangan kanan
21. LBicep	Tengah lengan kiri
22. LElbow	Siku kiri bagian luar
23. LPostElbow	Siku kiri bagian dalam
24. LForearm	Tengah tangan 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
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



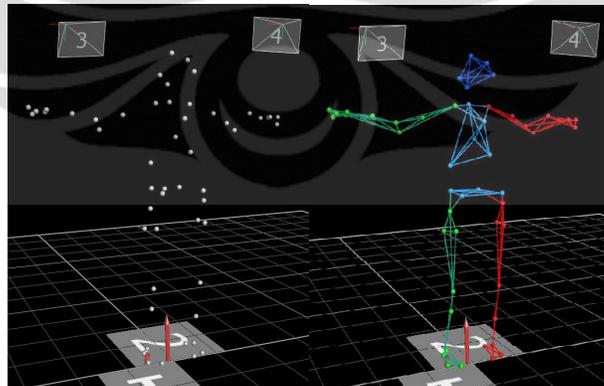
**Gambar 3.11** Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia

Setelah semua *markers* dilekatkan pada subjek, maka pada *software* Vicon Nexus 1.5.1 akan dimulai proses *Subject Calibration*. Pada proses ini Vicon Nexus akan merekam posisi statik dari subjek yang akan direkam gerakannya. Posisi statis subjek yaitu dengan berdiri di tengah area perekaman dengan posisi huruf T (*T-Pose*). Hal ini dilakukan agar ketika dilakukan perekaman gerakan yang dinamis, *software* Vicon Nexus dapat mengenali masing-masing *markers* yang dilekatkan pada titik-titik tubuh.

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 Penempatan Markers di Subjek Manusia



(a)

(b)

**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 kabin penumpang kendaraan tempur tipe *APC*. 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 Melabeli *Markers*

Gerakan yang telah direkam pada proses ini dirapihkan. Hal ini dikarenakan *markers* kadang tidak terdeteksi oleh kamera MX atau Vicon Nexus salah menamai *markers* sesuai pada kalibrasi *T-pose*. Tidak terdeteksinya *markers* dapat diakibatkan tertutupi oleh bagian tubuh subjek manusia itu sendiri.

Data gerakan tersebut direkonstruksi dan dilabel secara otomatis. Pada Prosesnya terkadang terdapat *markers* yang salah penempatan dan hilang sehingga kerangka manusia menjadi aneh. Disinilah perlunya proses *Labelling* secara manual dimana *markers* yang hilang dan salah penamaan dibetulkan sehingga kerangka manusia menjadi semestinya dan dapat diolah lebih lanjut di *software* Jack. Setelah proses *Labelling* ini, data postur dan gerakan menaiki kabin

penumpang kendaraan tempur berupa kerangka manusia telah siap untuk diolah menjadi *virtual human* pada *software* Jack 6.1.

### 3.2 Pengolahan Data

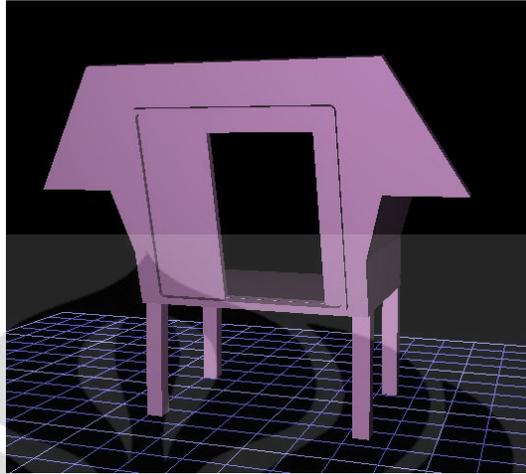
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Jack 6.1. Ada 6 tahapan umum yang dilakukan dalam pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack 6.1, yaitu :

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)

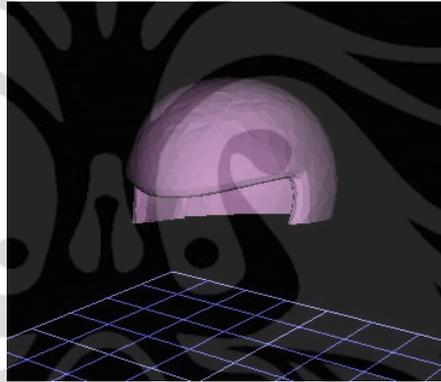
#### 3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual (*Virtual Environment*)

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

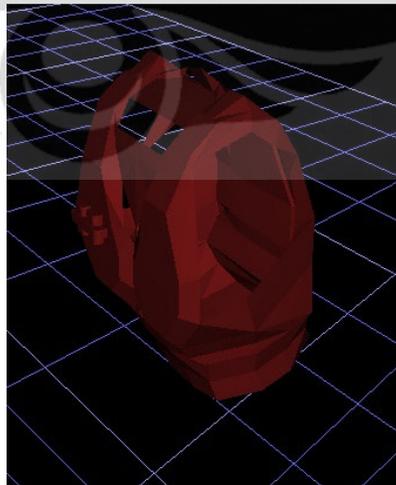
Pembuatan model tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* NX 6, 3DS Max, dan Autocad. . Pemilihan *software* ini dikarenakan fitur-fitur pada ketiga *software* yang berbeda. Kekurangan pada *software* yang satu dapat dilengkapi dengan menggunakan *software* yang lainnya. Selain itu untuk memudahkan proses pemasukkan model ke *software* jack, Sehingga *software* ini digunakan.



**Gambar 3.15** Model Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur



**Gambar 3.16** Model Helm yang digunakan oleh Tentara

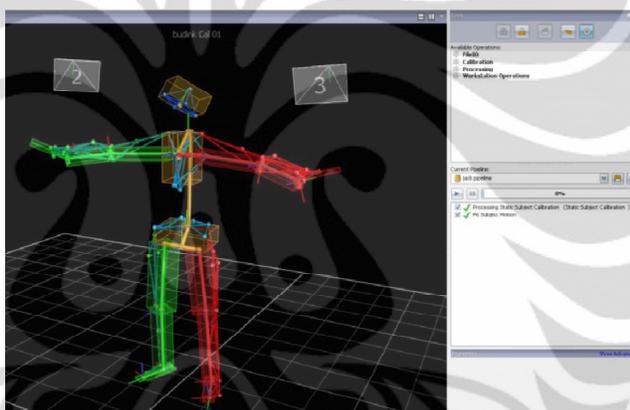


**Gambar 3.17** Model Rompi yang digunakan oleh Tentara

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

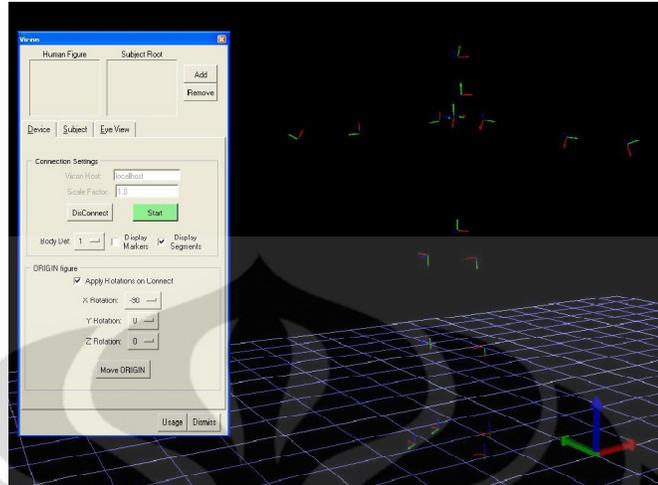
### 3.2.2 Memasukkan Data Postur Statis Manusia

Data postur statis manusia digunakan sebagai kunci 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*.

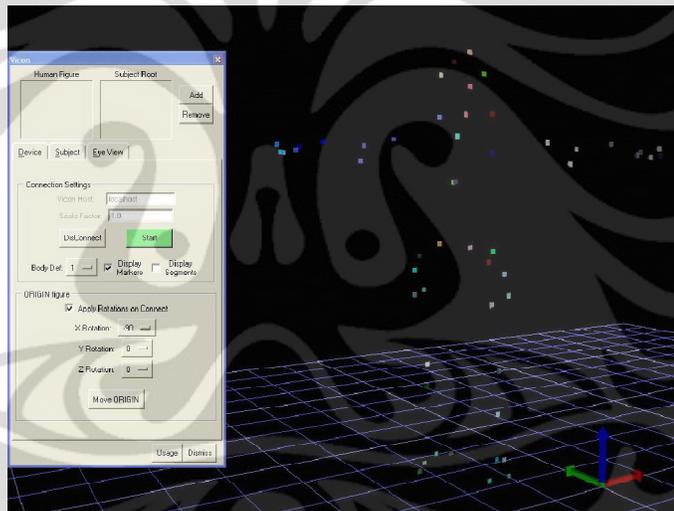


**Gambar 3.18** Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan *Pipeline*

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 3.19** Postur dengan *Display Segments*



**Gambar 3.20** 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 keadaan tentara yang sebenarnya di lapangan yaitu menggunakan helm dan rompi. Berat helm yang dikenakan yaitu seberat 1 kg dan berat rompi yang digunakan yaitu seberat 10 kg. beban diberikan pada bagian kepala (*hair.top*) dan bagian bahu manekin (*clavicle.acromion*).

Beban yang diberikan pada bagian bahu sebesar 5 kg dan terdistribusi merata di kedua bahu manekin.

Pemberian beban pada kedua bagian tubuh manekin tersebut dilakukan melalui modules *LoadsAndWeights* seperti pada gambar 3.21. Force Distribution Strategy yang digunakan yaitu two feet, hal ini dikarenakan postur tubuh tentara yang berdiri ketika akan menaiki kendaraan tempur.



**Gambar 3.21** Modul LoadsAndWeights

### 3.2.6 Menganalisa Kinerja Manekin dan Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Analisis kinerja manekin dilakukan 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).

Sebagai contoh perhitungan nilai PEI untuk kondisi aktual (konfigurasi 1) pada manekin persentil 5 dan 95 dengan menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

Nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 5

$$PEI = 1985 N/3400N + 2/4 + 6/7 \cdot 1,42$$

$$= 2,301$$

Nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 95

$$PEI = 2335 N/3400N + 3/4 + 6/7 \cdot 1,42$$

$$= 2,654$$

Nilai PEI yang dihasilkan dari setiap konfigurasi kemudian dibandingkan. Kemudian dipilih konfigurasi yang memiliki nilai PEI paling kecil sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur yang ergonomis.

### 3.3 Perancangan Konfigurasi Model

Perancangan konfigurasi model perlu dilakukan untuk menentukan desain pintu kabin penumpang 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 menaiki kabin penumpang kendaraan tempur. Variable yang menjadi masalah yaitu tinggi pintu dan penambahan pijakan di bawah pintu kabin penumpang kendaraan tempur tersebut.

Penentuan tinggi pintu dalam konfigurasi yang akan dirancang dilihat dari ruang kosong yang terdapat di atas pintu aktual sehingga tidak mengganggu desain utama kendaraan tempur. Dari pengamatan yang diperoleh di lapangan, didapatkan tinggi pintu yang dapat ditambah untuk konfigurasi desain yang akan dirancang yaitu sepanjang 10 cm keatas dari tinggi pintu kendaraan tempur yang aktual.

Terdapat dua jenis variable untuk merancang pijakan dalam konfigurasi yang akan dirancang, yaitu tinggi tangga dan sudut tangga. Penentuan kedua variable tersebut dilakukan dengan cara study literatur sehingga diperoleh tinggi tangga yang menjadi konfigurasi yaitu sejauh 30 cm dari dasar pintu kabin penumpang, serta dengan dua buah sudut yaitu 50° dan 75°. Berikut ini merupakan table konfigurasi desain yang akan dibuat:

**Tabel 3.3** Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat

Konfigurasi	Posisi Pijakan kaki	Kemiringan Pijakan	Tinggi Pintu	Persentil	Keterangan
1	Aktual		Aktual	5	Aktual
				95	
2	Aktual		10 cm keatas	5	Perubahan
				95	
3	30 cm dibawah pintu	50 derajat dari tanah	Aktual	5	
				95	
4	30 cm dibawah pintu	50 derajat dari tanah	10 cm keatas	5	
				95	
5	30 cm dibawah pintu	75 derajat dari tanah	Aktual	5	
				95	
6	30 cm dibawah pintu	75 derajat dari tanah	10 cm keatas	5	
				95	

Keterangan: jarak perpindahan diukur terhadap posisi aktualnya

### 3.4 Verifikasi dan Validasi Model

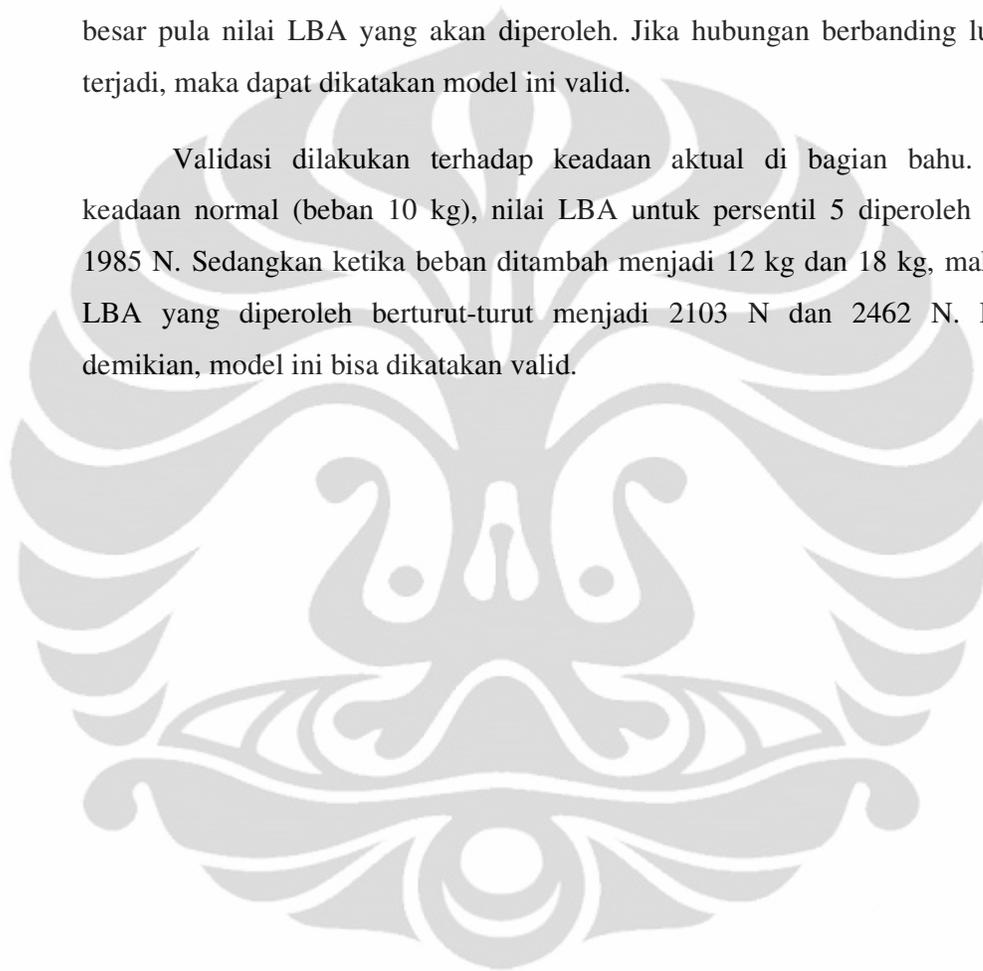
Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat berhasil disimulasikan. Sementara validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi model bernilai tepat. Dengan kata lain, verifikasi model lebih berorientasi pada proses yang dapat berlangsung, sedangkan validasi 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 punggung yang melebihi nilai normal. Jika pada kondisi aktual, beban angkut

pada punggung memiliki berat 10 kg (massa rata-rata tas punggung). Maka pada saat validasi model, beban angkut dinaikkan menjadi 12 kg (masing-masing 6 kg pada bahu kanan dan kiri) dan 18 kg (masing-masing 9 kg untuk bahu bagian kanan dan kiri). Penambahan beban pada bahu seharusnya mempengaruhi nilai LBA yang diperoleh. Semakin berat beban yang dipikul bahu, 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 10 kg), nilai LBA untuk persentil 5 diperoleh sebesar 1985 N. Sedangkan ketika beban ditambah menjadi 12 kg dan 18 kg, maka nilai LBA yang diperoleh berturut-turut menjadi 2103 N dan 2462 N. Dengan demikian, model ini bisa dikatakan valid.



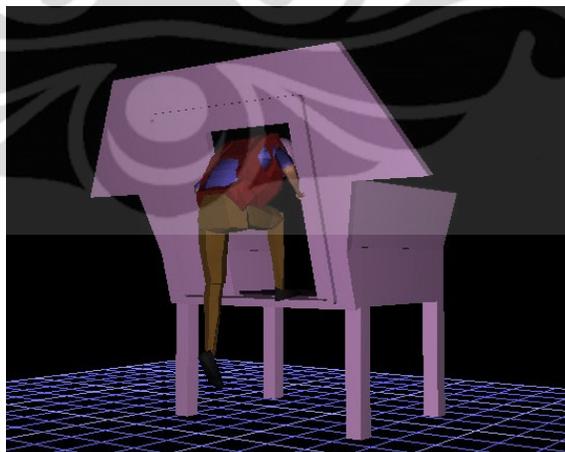
## BAB 4

### ANALISIS

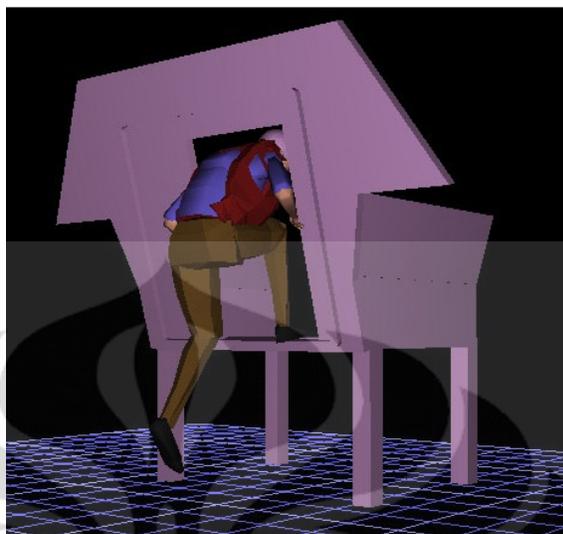
Bab ini membahas tentang ergonomi desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur pengangkut personel pada keadaan aktual dan beberapa konfigurasi desain yang dianalisa dengan menggunakan *Task Analysis Toolkits* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack 6.1. Semua konfigurasi desain yang ada akan dihitung besar nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) dan dibandingkan satu sama lain untuk mendapatkan desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier* (APC) yang paling ergonomis bagi personel tentara yang menggunakannya. Dalam bab ini akan dilihat pula waktu masuk untuk setiap konfigurasi. Dari hasil nilai PEI dan waktu masuk tersebut, kemudian akan dilihat mana nilai PEI yang paling kecil kemudian dibandingkan dengan waktu sehingga menghasilkan suatu kesimpulan.

#### 4.1 Analisa Desain Aktual Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur

Desain aktual merupakan desain yang sesuai dengan keadaan sebenarnya di dunia nyata. Desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



**Gambar 4.1** Desain Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 5



**Gambar 4.2** Desain Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual Dengan Manekin Persentil 95

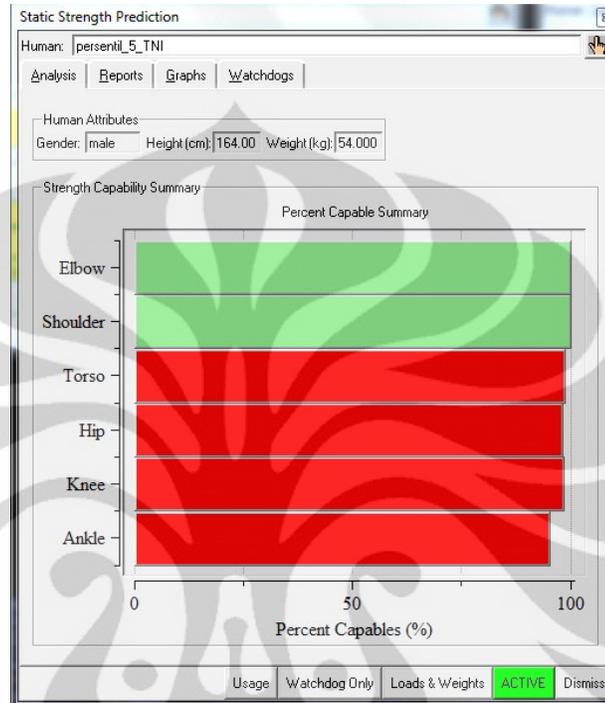
#### 4.1.1 Static Strength Prediction (SSP)

Tahap awal yang dilakukan sebelum melakukan perhitungan Posture Evaluation Indeks (PEI) yaitu melakukan analisa *Static Strength Prediction (SSP)*. Analisa SSP ini dilakukan untuk melihat berapa persentase populasi manusia yang memiliki kapabilitas 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*).

Kendaraan tempur merupakan kendaraan yang spesial di desain khusus untuk keperluan militer. Oleh karena itu desain dari kendaraan tempur ini di buat agak sedikit ekstrim di bandingkan dengan kendaraan yang diproduksi massal. Hal ini dapat dilihat dari hasil data SSP disain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dibawah.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada empat bagian tubuh yang ditandai dengan warna merah. Hal ini berarti tidak semua orang dapat melakukan gerakan tersebut. Pada Tabel 4.1 dan 4.2 dapat dilihat persentase dari jumlah populasi yang dapat melakukan gerakan tersebut. Pada bagian torso, hip, knee dan ankle persentase populasi yang dapat melakukan gerakan menaiki bagian kabin

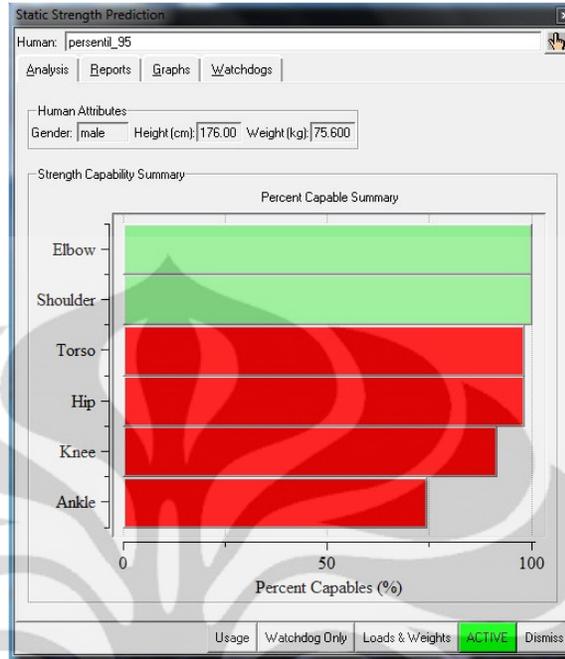
penumpang kendaraan tempur tidak mencapai 100%. Hal ini membuktikan bahwa desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur memang ekstrim.



**Gambar 4.3** Grafik SSP Desain Aktual Persentil 5

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual Persentil 5

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	FLEXN	69	17	100	-1	--	73	18	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	--	60	15	100	-2	ABDUCT	80	20	100
	Rotation Bk/Fd	2	BACKWARD	73	21	100	2	BACKWARD	74	22	100
	Humeral Rot	-0	--	22	5	100	-1	--	51	12	100
Trunk	Flex/Ext	-100	EXTEN	333	105	99					
	Lateral Bending	-1	RIGHT	617	133	100					
	Rotation	2	CCW	116	31	100					
	Hip	-33	EXTEN	204	82	98	-22	EXTEN	263	106	99
	Knee	-28	FLEXN	141	42	100	42	EXTEN	158	55	98
	Ankle	-34	EXTEN	76	25	95	24	FLEXN	163	54	99



**Gambar 4.4** Grafik SSP Desain Aktual Persentil 95

**Tabel 4.2** Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual Persentil 95

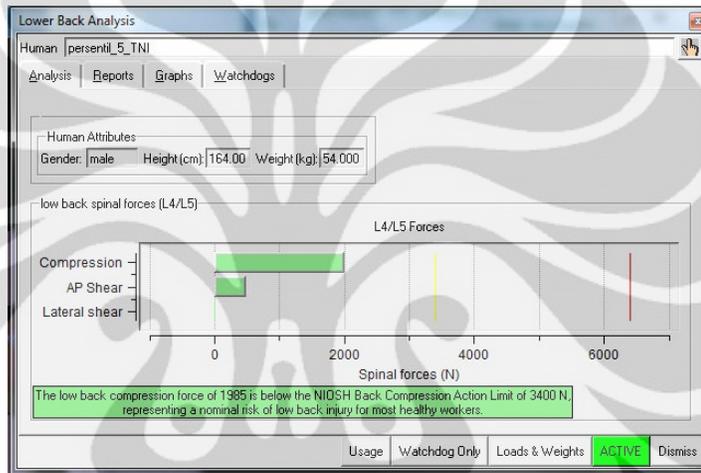
Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-2	FLEXN	69	17	100	-2	FLEXN	72	18	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	ABDUCT	59	15	100	-3	ABDUCT	78	19	100
	Rotation Bk/Fd	3	BACKWARD	75	22	100	3	BACKWARD	75	22	100
	Humeral Rot	-0	--	20	5	100	-1	--	51	12	100
	Flex/Ext	-115	EXTEN	334	105	98					
Trunk	Lateral Bending	-0	--	531	115	100					
	Rotation	3	CCW	110	30	100					
	Hip	-36	EXTEN	204	82	98	-31	EXTEN	274	110	99
	Knee	-15	FLEXN	112	33	100	77	EXTEN	147	52	91
	Ankle	-86	EXTEN	109	36	74	47	FLEXN	164	54	98

#### 4.1.2 Lower Back Analysis (LBA)

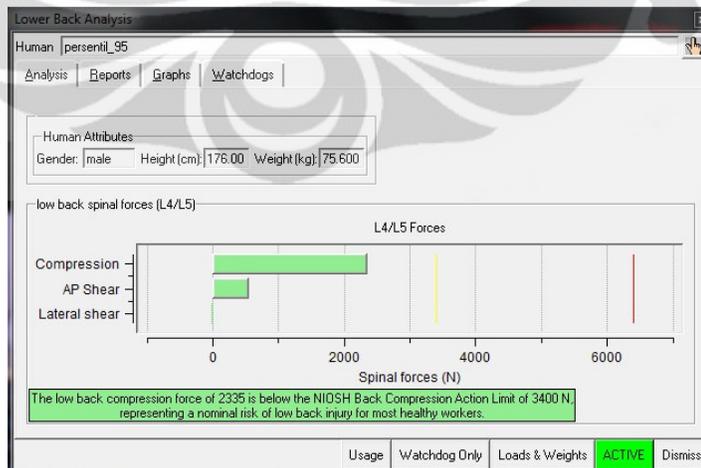
Low Back Analysis merupakan suatu metode untuk menganalisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan (*compression*) yang terdapat pada bagian tulang belakang manusia, dalam berbagai macam postur kerja dan kondisi beban. Batasan tekanan berdasarkan pada standar NIOSH yaitu 3400 N. Selain menyediakan informasi mengenai tekanan pada *vertebral disc*

L4/L5, hasil analisis metode LBA juga memberikan informasi mengenai momen reaksi (torsi) sagital, lateral, dan aksial yang terjadi pada *vertebral disc* L4/L5.

Nilai LBA yang perlu dicatat adalah nilai LBA ketika manekin mengalami kondisi paling membahayakan disaat simulasi dijalankan. Ketika simulasi di jalankan, nilai LBA selalu mengalami perubahan mengikuti *frame* tiap gerakan aslinya. Gambar 4.5 dan 4.6 merupakan hasil dari nilai LBA dari desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur.



**Gambar 4.5** Grafik LBA Desain Aktual Persentil 5



**Gambar 4.6** Grafik LBA Desain Aktual Persentil 95

Dari grafik tersebut terlihat nilai *Lower Back Compression Force* untuk persentil 5 yaitu 1985 dan persentil 95 yaitu 2335. Dari data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk konfigurasi persentil 5 maupun 95, resiko untuk terjadinya cedera pada tulang belakang relative kecil. Hal ini dikarenakan nilai *Lower Back Compression Force* yang masih di bawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N.

#### 4.1.3 *Ovako Working Analysis System (OWAS)*

OWAS merupakan suatu metode untuk mengetahui segi kenyamanan suatu postur kerja dan dapat digunakan untuk merekomendasikan tingkat urgensi dari perlunya diambil suatu aksi perbaikan dari posisi kerja yang lama. Metode dalam OWAS terdiri dari dua hal yaitu:

- Evaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur kerja terhadap posisi tulang punggung, kedua tangan dan kaki, dan juga beban kerja yang dijalankan
- Menempatkan suatu tingkat penilaian atau nilai yang menunjukkan tingkat urgensi dari perlunya pengambilan suatu aksi perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera pada pekerja

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 4.3 dibawah ini menjelaskan tentang deskripsi kode OWAS.

**Tabel 4.3** Deskripsi Kode OWAS

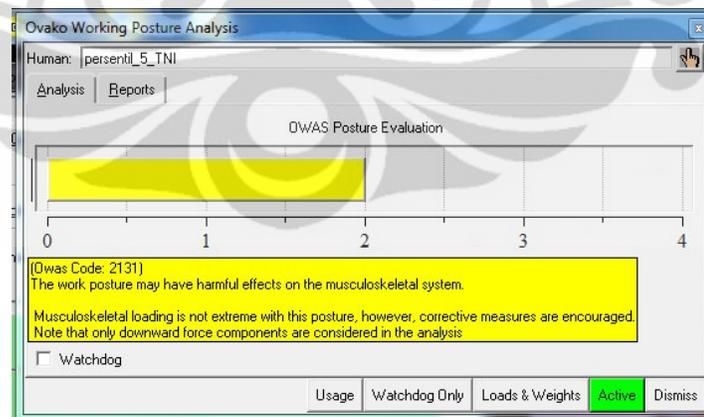
Body parts	OWAS code	Description of position
Back	1	Back straight
	2	Back bent
	3	Back Twisted
	4	Back bent and twisted
Arm	1	Both arms below shoulder level
	2	One arm at or above shoulder level
	3	Both arms at or above shoulder level
Leg	1	Sitting
	2	Standing on both straight legs
	3	Standing on one 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

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 4.4.

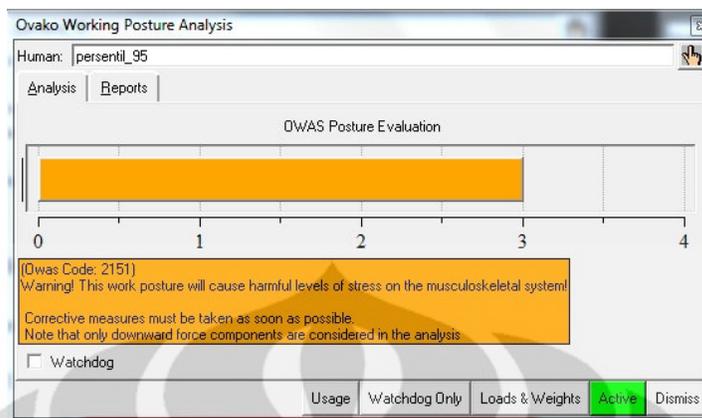
**Tabel 4.4** Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS

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

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003



**Gambar 4.7** Hasil OWAS Desain Aktual Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Persentil 5



**Gambar 4.8** Hasil OWAS Desain Aktual Kabin Penumpang Kendaraan Tempur Persentil 95

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa nilai yang diperoleh yaitu 2151. Berdasarkan Tabel 4.3 diatas, maka kode OWAS tersebut menunjukkan bahwa:

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 5, yang menunjukkan bahwa kedua kaki dalam kondisi memiliki tumpuan (bertumpu pada pijakan kaki), dan postur lutut dalam keadaan bengkok.
4. Karena beban yang diberikan pada bagian pundak dan kepala untuk mensimulasikan pengendara yang membawa rompi yang beratnya 10 kg dan memakai helm memiliki dengan berat 1 kg, maka nilai untuk beban ini masuk dalam kategori 1.

#### 4.1.4 Hasil Rapid Upper Limb Assesment (RULA)

*Rapid Upper Limb Assessment* merupakan suatu metode untuk mengevaluasi tingkat resiko cedera dan gangguan musculoskeletal pada tubuh bagian atas. Analisis dibuat berdasarkan kualitas postur, penggunaan otot, berat beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensinya.. Nilai yang dihasilkan RULA adalah sebagai berikut:

- 1 atau 2, nilai ini mengindikasikan resiko dapat diterima.

- 3 atau 4, nilai ini menyatakan bahwa resiko harus diinvestigasi lebih lanjut.
- 5 atau 6, nilai ini menyatakan bahwa resiko harus diinvestigasi lebih lanjut dan diberikan perbaikan dengan cepat.
- 7, nilai menyatakan bahwa resiko harus diinvestigasi dan segera diberi perbaikan.

RULA membagi kelompok tubuh yang dievaluasi menjadi dua bagian, yaitu *Body Group A* yang meliputi lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*lower arm*), pergelangan tangan (*wrist*) dan puntiran pergelangan tangan (*wrist twist*) serta *Body Group B* yang terdiri dari leher (*neck*) dan batang tubuh (*trunk*). Hasil dari perhitungan yang dihasilkan dari *Body Group A* dan *Body Group B* akan menghasilkan suatu angka yang menunjukkan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas. Gambar 4.9 dan 4.10 dibawah ini merupakan hasil RULA untuk desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur aktual.

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

Category	Item	Rating
Body Group A Posture Rating	Upper arm	3
	Lower arm	3
	Wrist	3
	Wrist Twist	2
	<b>Total</b>	<b>5</b>
Body Group B Posture Rating	Neck	3
	Trunk	4
	<b>Total</b>	<b>5</b>
Muscle Use	Muscle Use	Normal, no extreme use
	Force/Load	< 2 kg intermittent load
	Arms	Not supported
Legs and Feet Rating	Legs and Feet Rating	Seated, Legs and feet well supported. Weight even.
	<b>Grand Score</b>	<b>6</b>
<b>Action:</b> Investigation and changes are required soon.		

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

**Gambar 4.9** Hasil RULA Desain Aktual Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur pada Persentil 5

**Gambar 4.10** Hasil RULA Desain Aktual Pintu Kabin Penumpang Kendaraan Tempur pada Persentil 95

Dari gambar 4.9 dan 4.10 diatas kita dapat melihat nilai RULA dari desain aktual tersebut yaitu 6 untuk kedua persentil. Nilai RULA yang dihasilkan hampir mencapai maksimum. Oleh karena itu perlu dilakukan penelusuran untuk mengurangi resiko cedera yang terjadi. Perubahan desain merupakan salah satu solusi untuk dapat mengurangi resiko terjadinya cedera tersebut.

#### 4.1.5 Perhitungan Nilai PEI

Setelah mendapatkan nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PEI. Dari hasil perhitungan, nilai PEI untuk keadaan aktual (konfigurasi 1) pada persentil 5 dan 95 berturut-turut yaitu 2,301 dan 2,654. Nilai PEI ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai PEI pada konfigurasi lain, yang kemudian dicari konfigurasi desain yang memiliki nilai PEI terkecil. Nilai PEI yang makin kecil menunjukkan bahwa desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur makin ergonomis. Tabel 4.5 di bawah ini menunjukkan hasil rekapitulasi nilai SSP, LBA, OWAS dan RULA serta perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 1 pintu kabin penumpang kendaraan tempur untuk persentil 5 dan ke-95.

**Tabel 4.5** Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual

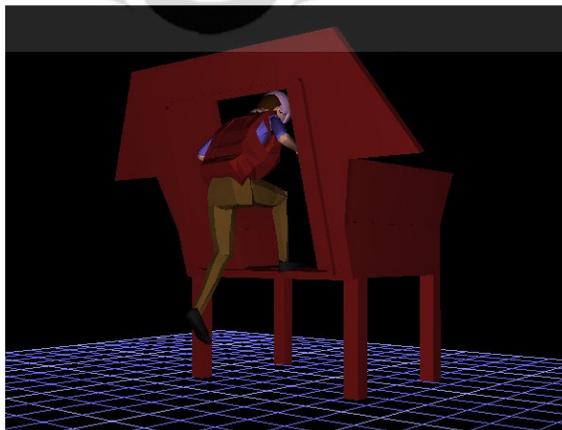
Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
5	1985	2	6	2.301
95	2335	3	6	2.654

## 4.2 Analisis Rancangan Konfigurasi

Pembuatan konfigurasi desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur ini dilakukan dengan mengubah ukuran pintu dan menambahkan pijakan dari desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC. Perubahan pada ukuran pintu yaitu penambahan tinggi pintu sejauh 10 cm dari posisi aktual. Sedangkan penambahan pijakan dibuat sejauh 30 cm dari bawah pintu panser dengan 2 jenis sudut tangga yaitu  $50^\circ$  dan  $75^\circ$ . Setiap desain konfigurasi akan disimulasikan dalam dua ukuran tubuh personil Tentara Nasional Indonesia, yaitu persentil 5 dan persentil 95.

### 4.2.1 Analisa Rancangan Konfigurasi 2

Pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 2 yaitu desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC dengan tinggi pintu di tambah ke atas sebesar 10 cm dan tidak memiliki pijakan seperti keadaan aktual. Dengan demikian postur tubuh akan lebih tegap dibandingkan dengan kondisi aktual. Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 merupakan desain rancangan konfigurasi 2.



**Gambar 4.11** Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.12** Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual untuk setiap persentil yaitu 1605 untuk persentil 5 dan 1959 untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* mengalami perubahan pada persentil 5 yaitu 3 dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 2. Untuk nilai RULA, pada konfigurasi 2 ini memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan cukup ekstrim.

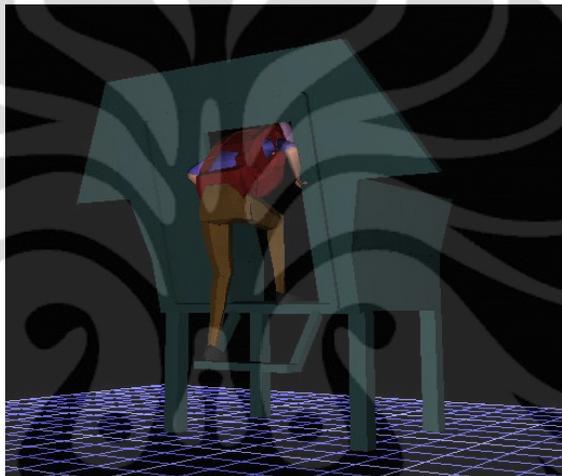
Seperti terlihat pada tabel 4.6 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 2 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,033 dan 2,138. Hal ini menunjukkan bahwa pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 2 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual.

**Tabel 4.6** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2

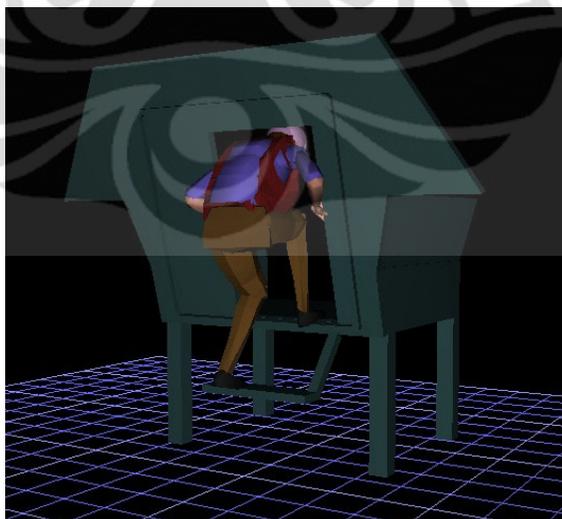
Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
5	1605	3	4	2.033
95	1959	3	4	2.138

#### 4.2.2 Analisa Rancangan Konfigurasi 3

Pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 3 yaitu desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC dengan tinggi pintu aktual dan terdapat pijakan dengan sudut  $50^\circ$  dan jarak 30 cm dari bagian bawah pintu. Dengan demikian posisi kaki akan lebih nyaman dibandingkan kondisi aktual. Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 merupakan desain rancangan konfigurasi 3.



**Gambar 4.13** Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.14** Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi ini memiliki nilai LBA lebih besar dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual untuk persentil 95 yaitu 2410, sedangkan pada persentil 5 lebih kecil dibandingkan kondisi aktual yaitu 1957. Nilai OWAS untuk *critical posture* tidak mengalami perubahan pada kedua persentil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 2 untuk persentil 5 dan 3 untuk persentil 95. Untuk nilai RULA, untuk persentil 5 pada konfigurasi 3 ini memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan cukup ekstrim.

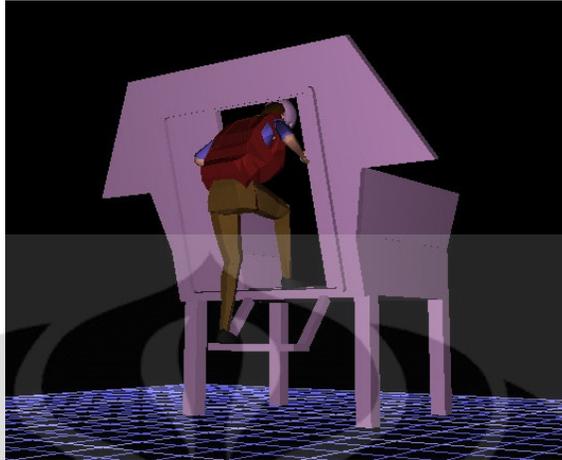
Seperti terlihat pada tabel 4.7 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 3 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,090 dan 2,676. Hal ini menunjukkan bahwa pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 3 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual.

**Tabel 4.7** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3

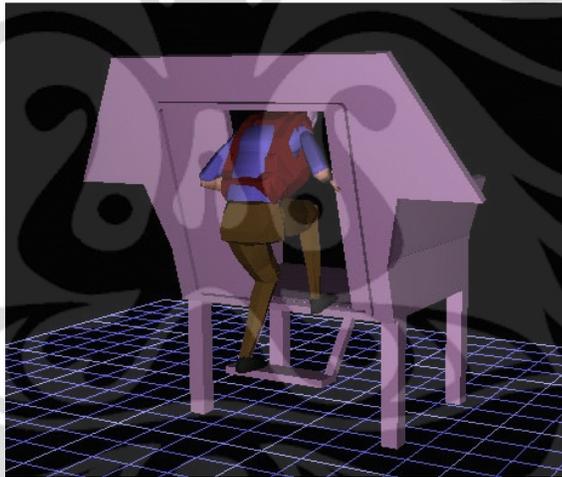
Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
5	1957	2	5	2.090
95	2410	3	6	2.676

#### 4.2.3 Analisa Rancangan Konfigurasi 4

Pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 4 yaitu desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC dengan tinggi pintu di tambah ke atas sebesar 10 cm dan terdapat pijakan dengan sudut  $50^{\circ}$  dan jarak 30 cm dari bagian bawah pintu. Dengan demikian posisi kaki akan lebih nyaman dibandingkan kondisi aktual serta postur tubuh akan lebih tegap. Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 merupakan desain rancangan konfigurasi 4.



**Gambar 4.15** Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.16** Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual untuk kedua persentil. Nilai OWAS untuk *critical posture* tidak mengalami perubahan pada kedua persentil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 2 untuk persentil 5 dan 3 untuk persentil 95. Untuk nilai RULA, untuk persentil 5 pada konfigurasi 4 ini memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan cukup ekstrim.

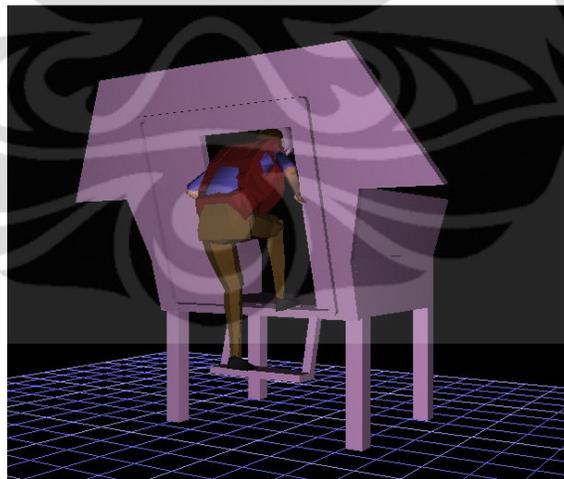
Seperti terlihat pada tabel 4.8 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 4 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,789 dan 2,160. Hal ini menunjukkan bahwa pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 4 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual.

**Tabel 4.8** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4

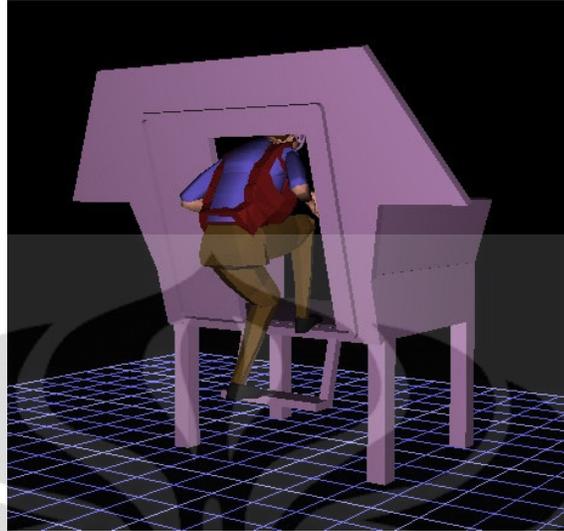
Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
5	1623	2	4	1.789
95	2034	3	4	2.160

#### 4.2.4 Analisa Rancangan Konfigurasi 5

Pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 5 yaitu desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC dengan tinggi pintu aktual dan terdapat pijakan dengan sudut  $75^\circ$  dan jarak 30 cm dari bagian bawah pintu. Dengan demikian posisi kaki akan lebih nyaman dibandingkan kondisi aktual serta postur tubuh akan lebih tegap. Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 merupakan desain rancangan konfigurasi 5.



**Gambar 4.17** Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.18** Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual untuk kedua persentil. Nilai OWAS untuk *critical posture* tidak mengalami perubahan pada kedua persentil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 2 untuk persentil 5 dan 3 untuk persentil 95. Untuk nilai RULA, untuk persentil 5 pada konfigurasi 4 ini memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan cukup ekstrim.

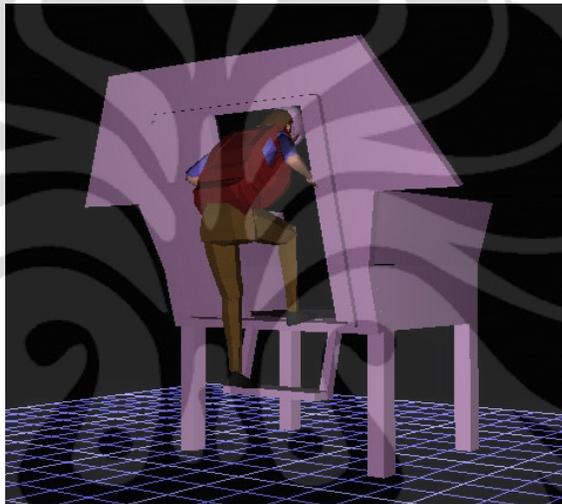
Seperti terlihat pada tabel 4.9 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 5 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,080 dan 2,171. Hal ini menunjukkan bahwa pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 5 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual.

**Tabel 4.9** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5

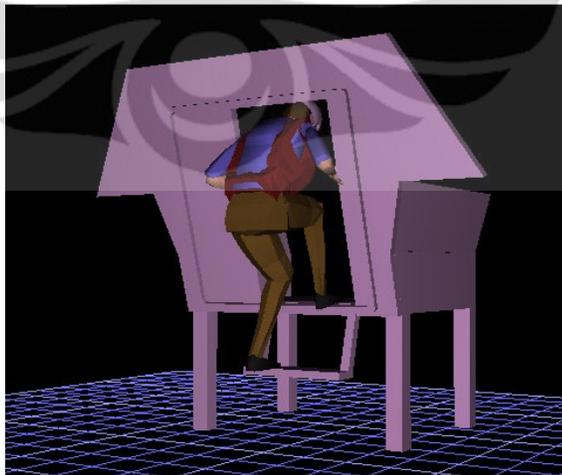
Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
5	1923	2	5	2.080
95	2072	3	4	2.171

#### 4.2.5 Analisa Rancangan Konfigurasi 6

Pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 6 yaitu desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC dengan tinggi pintu di tambah ke atas sebesar 10 cm dan terdapat pijakan dengan sudut  $75^\circ$  dan jarak 30 cm dari bagian bawah pintu. Dengan demikian posisi kaki akan lebih nyaman dibandingkan kondisi aktual serta postur tubuh akan lebih tegap. Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 merupakan desain rancangan konfigurasi 6.



**Gambar 4.19** Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.20** Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual untuk kedua persentil. Nilai OWAS untuk *critical posture* tidak mengalami perubahan pada kedua persentil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 2 untuk persentil 5 dan 3 untuk persentil 95. Untuk nilai RULA, untuk persentil 5 pada konfigurasi 6 ini memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan cukup ekstrim.

Seperti terlihat pada tabel 4.10 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 6 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,789 dan 2,160. Hal ini menunjukkan bahwa pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi 6 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual.

**Tabel 4.10** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6

Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
5	1649	2	4	1.796
95	2035	3	4	2.160

### 4.3 Analisis Perbandingan

Pada bagian ini akan di jelaskan analisis perbandingan antara hasil PEI yang diperoleh dari setiap rekapitulasi setiap konfigurasi. Perbandinga juga dilakukan untuk kedua jenis persentil tubuh yaitu persentil 5 dan persentil 95.

#### 4.3.1 Analisa Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

Setelah melakukan perhitungan nilai PEI dari desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC yang juga merupakan konfigurasi 1 dari penelitian ini sampai dengan konfigurasi 6. Selanjutnya ke enam konfigurasi tersebut dapat dibandingkan hasil yang diperoleh antara hasil konfigurasi yang satu dengan yang lainnya. Perbandingan ini dilakukan untuk mencari konfigurasi manakah yang memiliki nilai PEI paling rendah. Konfigurasi yang memiliki nilai PEI paling rendah menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut merupakan desain yang paling ergonomis dibandingkan dengan konfigurasi desain yang lainnya bagi personil Tentara Nasional Indonesia.

Perbandingan pada nilai LBA dan PEI memiliki nilai yang fluktuatif antara semua konfigurasi desain ketika simulasi dijalankan. Gambar 4.21 dibawah

ini merupakan grafik perbandingan nilai LBA seluruh konfigurasi. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai LBA yang paling besar pada persentile 5 terdapat pada konfigurasi 1 dan untuk persentil 95 terdapat pada konfigurasi 3. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa konfigurasi 1 (kondisi aktual) memiliki resiko cedera pada tulang belakang paling besar untuk ukuran tubuh dengan persentil 5. Sedangkan konfigurasi 3 memiliki resiko cedera pada tulang belakang paling besar untuk ukuran tubuh dengan persentil 95. Hal ini dikarenakan posture tubuh manekin yang terlalu bungkuk ketika menaiki kabin penumpang kendaraan tempur.

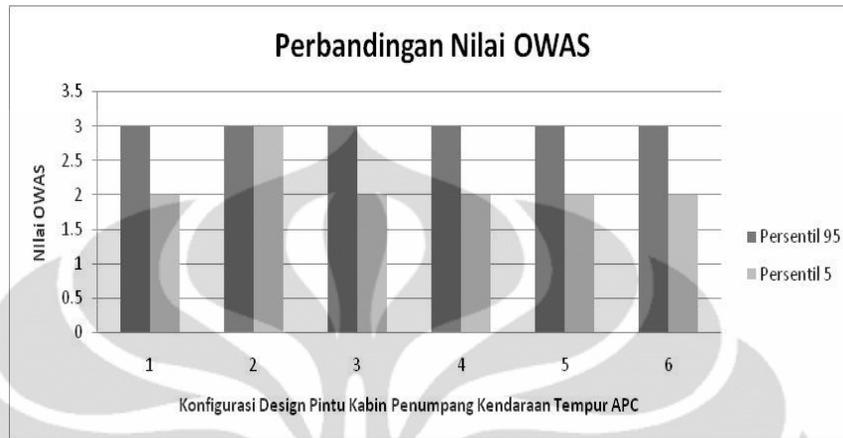
Untuk nilai LBA yang paling kecil untuk persentil 5 dan 95 terdapat pada konfigurasi 2. Hal ini berarti konfigurasi 2 memiliki resiko cedera pada tulang belakang paling kecil untuk kedua persentil ukuran tubuh. Nilai LBA yang kecil pada konfigurasi 2 ini dikarenakan postur manekin yang tidak terlalu membungkuk ketika menaiki kabin penumpang kendaraan tempur. Pada konfigurasi 2 ini, tinggi pintu mengalami pembesaran keatas sebesar 10 cm.



**Gambar 4.21** Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi

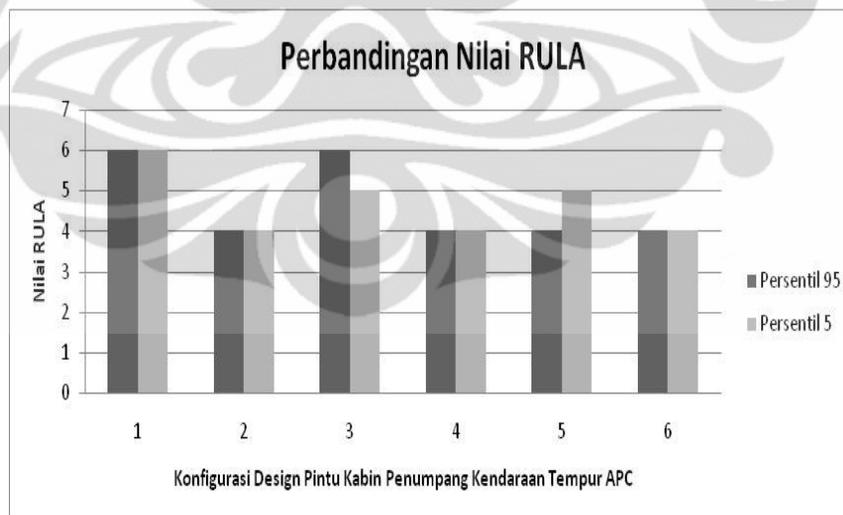
Gambar 4.22 merupakan grafik perbandingan nilai OWAS seluruh konfigurasi. Dari grafik tersebut kita dapat melihat nilai OWAS yang paling tinggi yaitu bernilai 3 untuk kedua konfigurasi. Pada grafik ini terlihat nilai OWASnya yang relative konstan dibandingkan dengan nilai LBA. Persentil 95 selalu memiliki nilai OWAS 3, hal ini dikarenakan tentara persentil 95 memiliki kaki yang cukup panjang, sehingga ketika menaiki kabin penumpang kendaraan

tempur postur kaki manekin yang sedikit bengkok dibandingkan dengan persentil 5.



**Gambar 4.22** Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi

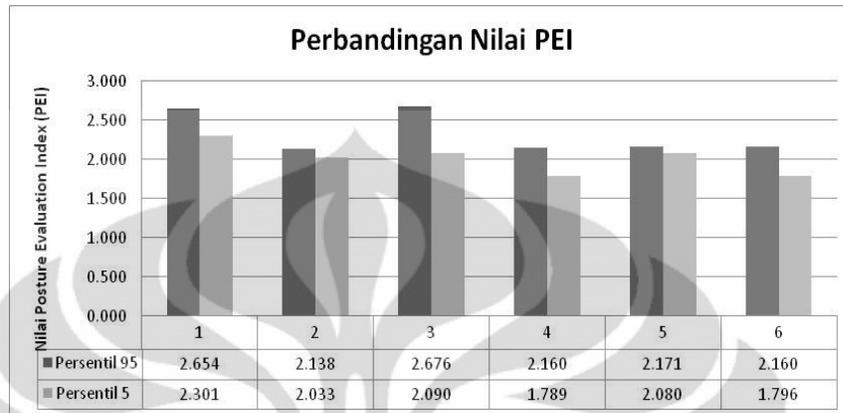
Dari Gambar 4.23 dibawah ini dapat dilihat range nilai RULA berkisar antara 4 sampai dengan 6. Nilai RULA yang mencapai nilai 6 terjadi pada konfigurasi 1 dan 3. Hal ini terjadi karena posisi *neck* dan *trunk* yang lumayan ekstrim dengan kondisi pintu yang masih dalam keadaan aktual.



**Gambar 4.23** Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi

Berdasarkan nilai yang diperoleh dari hasil LBA, OWAS, dan RULA, maka dapat dihitung nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi. Gambar 4.24

merupakan grafik perbandingan nilai PEI seluruh konfigurasi desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur pada persentil 5 maupun 95.



**Gambar 4.24** Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

Secara umum, nilai PEI tidak mengikuti kecenderungan yang terjadi secara signifikan seperti halnya nilai LBA. Nilai PEI yang paling besar pada persentil 5 terjadi pada konfigurasi 1 dan persentil 95 terjadi pada konfigurasi 3. Nilai PEI yang besar pada kedua konfigurasi tersebut dipengaruhi oleh nilai LBA pada konfigurasi tersebut yang juga tinggi. Dengan demikian jika ditinjau dari nilai PEI, dapat dikatakan konfigurasi 1 merupakan desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur yang tidak ergonomis.

Nilai OWAS dan RULA juga mempengaruhi hasil perhitungan PEI yang diperoleh. Hal ini terlihat pada konfigurasi 2 untuk persentil 5. Nilai LBA yang dihasilkan merupakan nilai yang paling kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada konfigurasi lainnya. Namun, karena nilai RULA pada konfigurasi 2 tersebut cukup besar maka nilai PEI yang dihasilkan juga menjadi lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi 4 yang memiliki nilai LBA lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi 2.

Setelah dilakukan perhitungan nilai PEI untuk seluruh konfigurasi, kemudian dilanjutkan dengan perbandingan seluruh nilai PEI yang didapat, maka dapat disimpulkan bahwa desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur yang memiliki perubahan tinggi pintu di tambah 10 cm ke atas dan tangga dengan sudut

50° dan jarak 30 cm dari bagian bawah pintu (konfigurasi 4) merupakan desain yang paling ergonomis untuk kedua persentil tentara.

#### 4.3.2 Analisis Perbandingan Nilai PEI untuk data antropometri Indonesia Persentil 95

Pada bagian ini dibahas mengenai perbandingan hasil nilai PEI yang dilakukan pada persentil 95 dengan menggunakan data antropometri Indonesia yang didapat dari jurnal *Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Population* yang disusun oleh Tan Kay Chuan, Markus Hartono dan Naresh Kumar dari Department of Industrial and Systems Engineering National University of Singapore. Pengujian terhadap data antropometri Indonesia ini bertujuan untuk melihat apakah konfigurasi yang ada dapat digunakan oleh orang Indonesia untuk persentil 95 antropometri Indonesia.

Pengujian untuk data antropometri Indonesia hanya menggunakan persentil 95 dengan tinggi badan sebesar 183 cm dan berat badan 89 kg. Hal ini dikarenakan tinggi badan untuk persentil 5 yang terdapat pada jurnal yaitu 162. Tinggi badan untuk persentil 5 tersebut berada dibawah standar persyaratan tinggi anggota TNI. Gambar 4.25 merupakan grafik perbandingan nilai PEI persentil 95 data antropometri Indonesia.



**Gambar 4.25** Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil terdapat pada konfigurasi 4. Nilai PEI yang diperoleh yaitu 2,173 yang berarti desain konfigurasi 4 merupakan desain konfigurasi yang paling ergonomi berdasarkan data antropometri Indonesia. Hasil ini mendukung hasil yang diperoleh jika menggunakan data antropometri TNI yaitu konfigurasi 4 merupakan konfigurasi yang memiliki nilai PEI yang paling kecil. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan desain konfigurasi 4 dapat digunakan oleh populasi Indonesia dengan tinggi manusia yang paling ekstrim (persentil 95).

#### 4.4 Simulasi Waktu

Simulasi waktu ini dilakukan untuk melihat konfigurasi mana yang memiliki waktu yang paling cepat. Simulasi ini dilakukan oleh 40 orang responden yang diminta untuk masuk melalui keenam konfigurasi frame pintu kabin penumpang kendaraan tempur.

Jarak responden dari frame pintu sebelum mereka memasuki frame tersebut yaitu sejauh 50 cm. Pemberian jarak ini dilakukan untuk penyeragaman. Kemudian responden diminta untuk naik ke frame pintu tersebut secepat mungkin. Waktu mulai dihitung ketika responden mulai bergerak masuk ke dalam frame tersebut. Dan diberhentikan ketika kedua kaki responden sudah berada di atas frame.

Setelah diperoleh waktu ke empat puluh responden, kemudian semua waktu untuk setiap konfigurasi di ambil rata-rata waktunya. Berikut hasil rata-rata waktu yang didapat:

**Tabel 4.11** Waktu Rata-Rata Simulasi Memasuki Pintu Kabin Penumpang

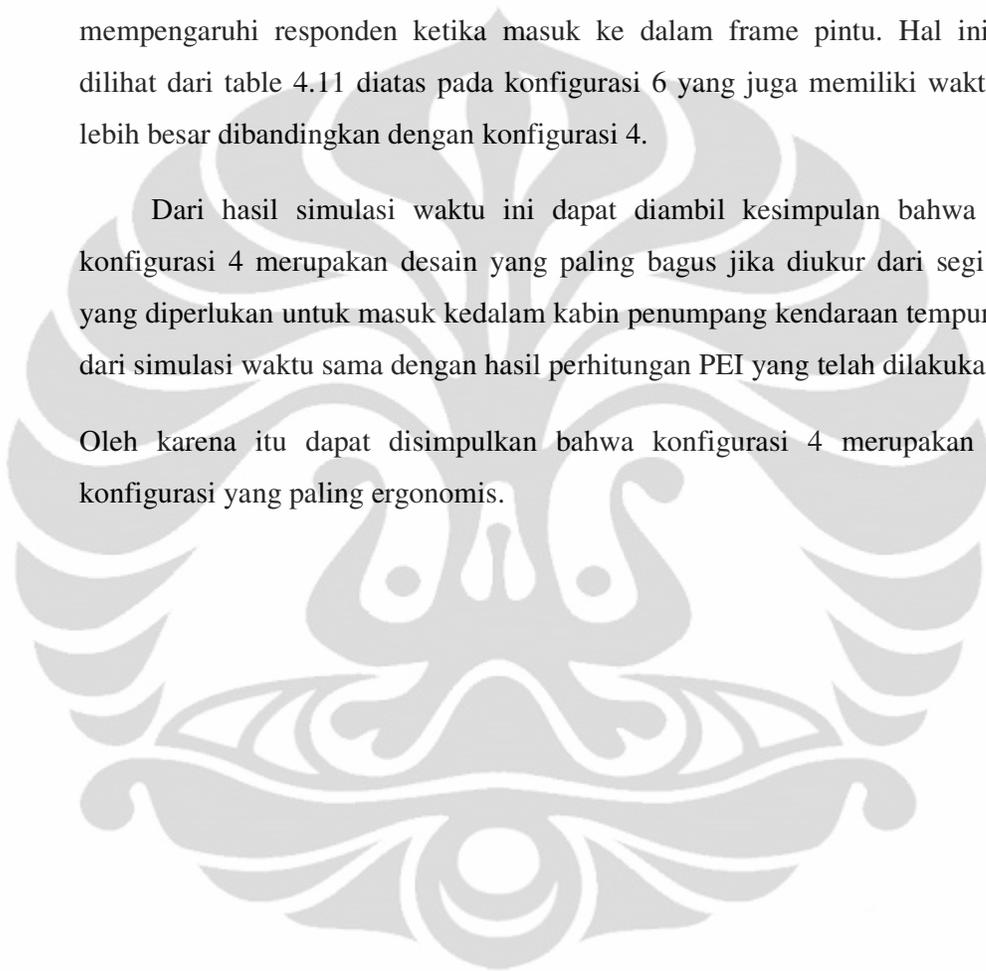
	<b>Konfigurasi</b>					
<b>Waktu Rata-Rata</b>	1	2	3	4	5	6
	3.02	3.12	2.76	2.24	2.53	2.66

Dari table diatas dapat dilihat bahwa waktu yang paling tinggi terdapa pada konfigurasi ke 2. Desain konfigurasi ke 2 merupakan desain konfigurasi yang tidak menggunakan pijakan, hal ini memilik pengaruh dalam kecepatan responden ketika masuk ke dalam frame sehingga waktu yang dihasilka menjadi besar.

Sedangkan konfigurasi yang memiliki waktu tercepat ketika masuk ke dalam frame yaitu konfigurasi 4. Konfigurasi 4 yaitu konfigurasi dengan desain yang memiliki pijakan dengan sudut pijakan terhadap pintu yaitu  $50^\circ$ . Besar sudut pijakan memiliki pengaruh dalam kecepatan responden ketika masuk ke dalam frame pintu. Pijakan dengan sudut yang terlalu dekat dengan pintu juga akan mempengaruhi responden ketika masuk ke dalam frame pintu. Hal ini dapat dilihat dari table 4.11 diatas pada konfigurasi 6 yang juga memiliki waktu yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi 4.

Dari hasil simulasi waktu ini dapat diambil kesimpulan bahwa desain konfigurasi 4 merupakan desain yang paling bagus jika diukur dari segi waktu yang diperlukan untuk masuk kedalam kabin penumpang kendaraan tempur. Hasil dari simulasi waktu sama dengan hasil perhitungan PEI yang telah dilakukan.

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 4 merupakan desain konfigurasi yang paling ergonomis.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

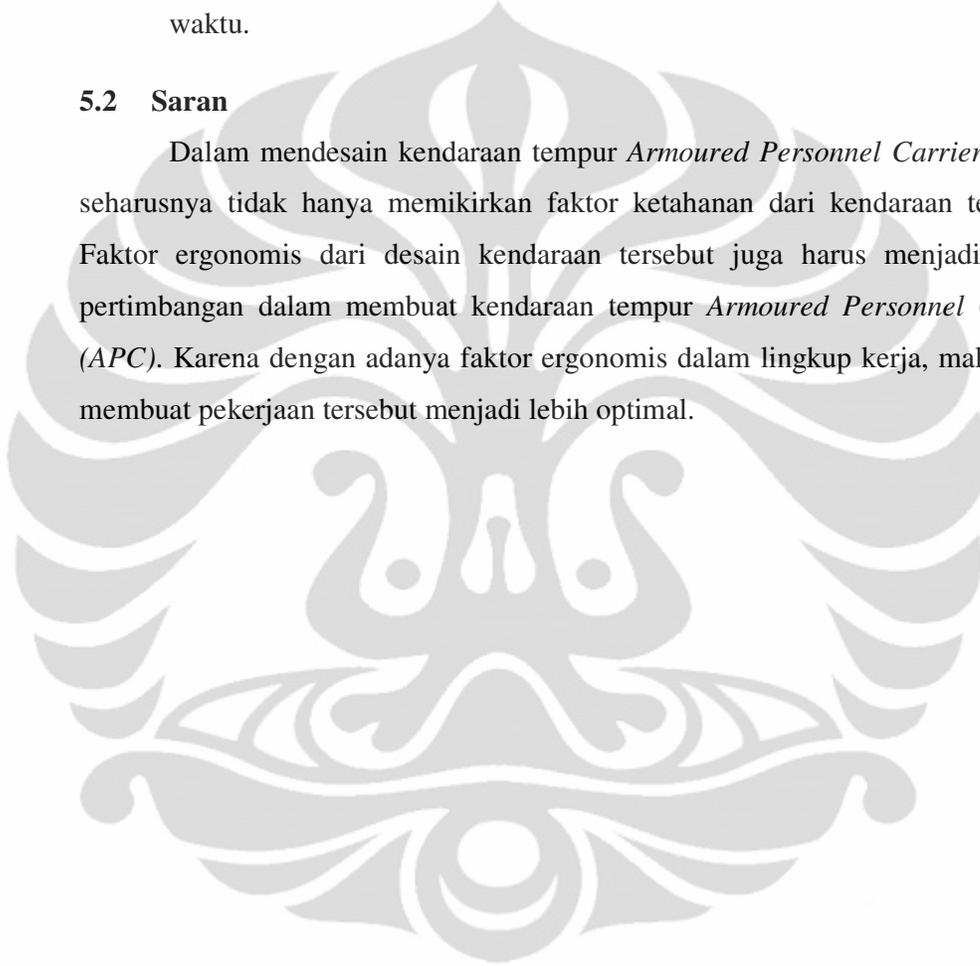
Dari pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Mengenai desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC. Desain aktual pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC saat ini memiliki nilai LBA sebesar 2,301 untuk persentil 5 dan 2,654 untuk persentil 95. LBA yang masih dibawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH (3400 N) menunjukkan bahwa desain tersebut masih cukup aman dan memberikan resiko cedera pada tulang belakang yang relatif kecil. Nilai OWAS pada desain aktual yaitu 2 untuk persentil 5 dan 3 untuk persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwa postur kritis pada persentil 95 akan membahayakan sistem musculoskeletal tentara yang menggunakan. Kemudian nilai RULA yaitu 6 untuk kedua jenis persentil. Dengan demikian perlu dilakukan investigasi lebih lanjut terhadap kemungkinan resiko cedera. Perbaikan desain dapat mungkin dapat mengurangi kemungkinan resiko cedera yang terjadi. Nilai PEI untuk desain aktual yaitu 2,301 untuk persentil 5 dan 2,654 untuk persentil 95.
2. Terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi nilai PEI pada desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC yaitu tinggi pintu, ada atau tidaknya pijakan serta jarak pijakan dari pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC.
3. Konfigurasi 4 merupakan konfigurasi desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC yang terbaik dari sisi ergonomis dengan perubahan tinggi pintu di tambah 10 cm ke atas dan tangga dengan sudut 50° dan jarak 30 cm dari bagian bawah pintu. Nilai PEI yang dihasilkan dari desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC konfigurasi ke empat yaitu sebesar 1,789 untuk persentil 5 dan 2,160 untuk persentil 95. Nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi ke empat ini merupakan nilai PEI yang paling rendah untuk kedua jenis persentil dibandingkan dengan

konfigurasi desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC lainnya. Selain nilai PEI yang kecil, waktu yang diperlukan untuk memasuki frame pintu kabin penumpang kendaraan tempur APC ini juga kecil. Hal ini menunjukkan bahwa desain dengan konfigurasi ke empat tersebut paling ergonomis berdasarkan *Posture Evaluation Index* dan waktu.

## 5.2 Saran

Dalam mendesain kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)* seharusnya tidak hanya memikirkan faktor ketahanan dari kendaraan tersebut. Faktor ergonomis dari desain kendaraan tersebut juga harus menjadi bahan pertimbangan dalam membuat kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)*. Karena dengan adanya faktor ergonomis dalam lingkup kerja, maka akan membuat pekerjaan tersebut menjadi lebih optimal.



## 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.
- Chuan, Tan Kay., Hartono, Markus., Kumar, Naresh. (2010). Anthropometry of the Singaporean and Indonesian populations. *International Journal of Industrial Ergonomics-2010*.
- 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.
- 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
- Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: 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.
- 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

- 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.
- 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.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1

#### Data Antropometri Tentara Yonif

No	Umur	Tinggi Badan	Berat Badan	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
1	24	174	92	60	45.5	26	62	52	57	76	86.5	37	48	42	36	40	26
2	21	171	59	55	47	26	55	44	54	73	86	34	43	39	27	34	15
3	23	171	58	55	46.5	27	57	49	54	74	89	35	46	39	30	34	19
4	21	178	66	56	47	25	56	56	59	80	94	34.5	45	42	27	33	18
5	28	168	75	54	42	25	53.5	44	57	78.5	88	33	43	40	30	37	20
6	29	166	58	53	43	25	54	44	55	76	83	37	43	40	28	33	18.5
7	21	166	55	53	41	24.5	51	42	56	70	87	37	42	41	26.5	31	16
8	22	170	62	55	42	25	55	43	56	75.5	86.5	35	47	41	29	33	16
9	20	170	60	57.5	44	25	55	44	56	74	87	34	47	40	28	35	18
10	30	170	70	55	44	26	57	46	60	80	90	34	49	40	29	36	19
11	32	168	67	55.5	45	25	53	45	57	75.5	86	33	43	41	30	35	14
12	31	168	58	55.5	45	26	55	48	53	70	82	34	43	40	29	35	22
13	27	169	73	54	45	25	54	46	58	77	87	33	46	40	29	33	18
14	31	176	73	55	47	25	54	45	60	82	91	35	45	43	29	35	21
15	30	164	57	50	42	25	48	42	52	70	81	33	42	38	27	32	14
16	31	176	70	57	47	25	58	49	58.5	78	91.5	34	45	42	27	32	19
17	27	167.5	52	56	46.5	25	56	47	54	70	81	36	45	40	26	34	15
18	31	170	61	55	45	26	55	47	54.5	71	84.5	34	46	42	27	34	18
19	31	165	54	53	45	25	55	47	55	70	82	33	45	39	26	32	18
20	32	177	64	59	48	30	58	47	57	72	85	34	47	43	31	39	21
21	31	177	67	54	44	27	49	40	54	74	84	34	40	40	33	40	20
22	29	171	57	57	46	28	58	47	51	69	82	37	46	43	29	35	19
23	30	169	58	54	44	27	54	44	54	70	83	32	43	40	29	38	18
24	31	175	67	57	47	28	60	50	57	74	86	36	47	44	27	40	20
25	33	169	78	56	46	28	61	51	53	70	84	35	46	45	35	39	24
26	31	176	65	57	45	28	61	46	59	78	80	33	45	44	32	39	20
27	29	168	56	55	46	28	54	44	52	66	78	33	46	40	28	34	17
28	32	165	75	56	45	27	59	48	52	65	80	33	44	44	36	40	22
29	29	169	68	57	45	28	59	47	51	65	80	33	43	41	30	36	20
30	32	166	65	55	45	27	54	44	55	73	84	33	43	40	31	38	21
31	30	166	65	55	45	28	55	45	51	72	81	33	42	39	29	34	18
32	25	170	58	56	45	27	55	45	54	68	73	33	43	39	29	34	19
33	28	167	56	55	45	27	54	44	54	73	81	34	44	40	28	36	17
34	27	166	55	55	44	27	56	46	50	69	81	31	42	40	27	38	18
35	27	174	60	58	46	29	58	45	56	76	85	34	49	42	30	40	18
36	27	182	70	59	48	30	62	51	56	74	85	34	48	46	30	34	24
37	28	170	55	56	47	27	57	45	58	76	85	33	45	39	31	34	20
38	27	178	63	59	47	28	60	48	57	75	86	34	45	40	28	32	22
39	23	168	55	53	42	29	53	41	54	72	84	33	38	38	28	32	18
40	27	172	56	56	44	28	59	47	55	68	82	37	48	43	26	34	18
41	28	170	60	55	44	28	55	44	53	74	83	33	47	43	30	34	19
42	33	173	70	56	45	27	58	49	56	67	77	34	43	44	30	37	19
43	21	166	60	56	45	26	54	46	53	73	81	34	46	43	28	33	19
44	30	170	65	57	45	26	62	49	52	69	81	33	45	42	33	36	22
45	29	168	56	56	46	26	58	48	51	72	82	31	42	39	29	34	19
46	29	169	68	56	46	27	57	45	53	72	83	34	47	42	34	39	19
47	33	171	70	55	45	27	55	47	54	74	83	33	39	43	30	37	25
48	29	172	72	58	48	26	52	45	58	75	85	33	45	43	30	37	25
49	32	175	76	59	49	25	58	50	56	77	86	35	46	43	32	36	26
50	22	170	59	56	46	26	54	46	51	73	82	35	47	40	28	34	19

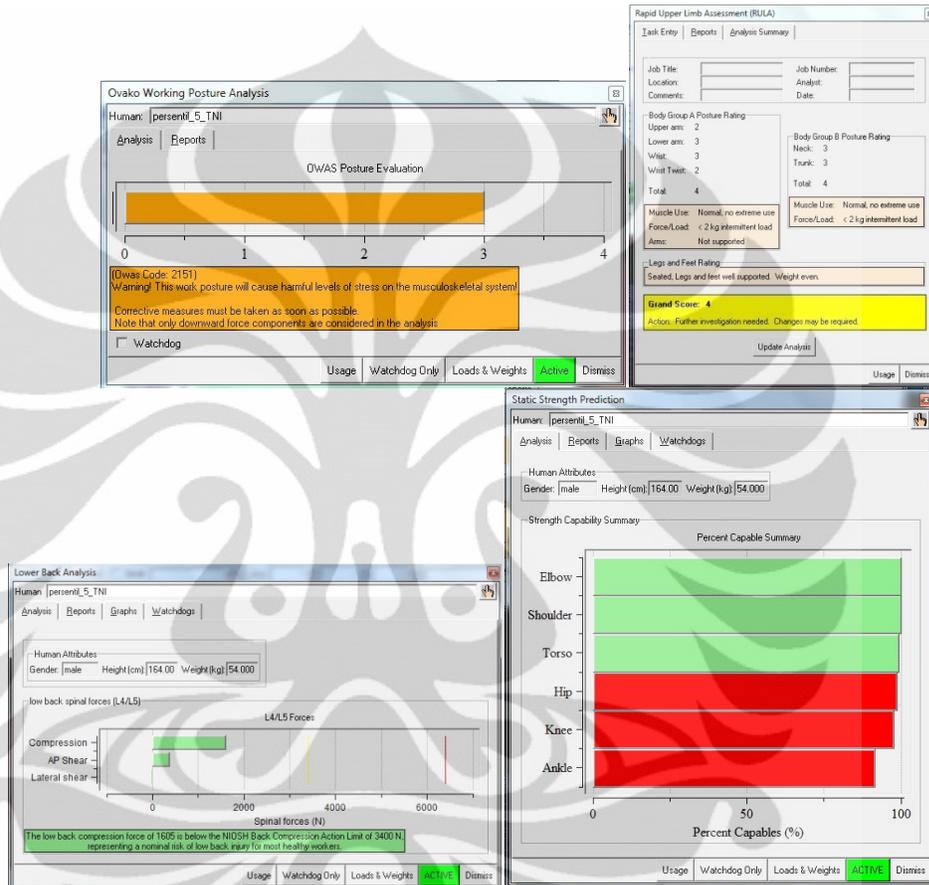
51	27	164	59	55	46	26	53	43	54	76	85	32	46	40	28	34	18
52	30	163	56	53	43	25	56	48	49	70	79	32	43	40	30	35	19
53	30	170	73	55	45	26	58	48	58	72	84	32	47	42	32	32	20
54	23	172	62	56	47	25	53	43	57	77	90	33	43	43	28	34	18
55	32	165	65	55	44	24	54	41	50	67	80	33	43	42	33	35	19
56	22	174	68	58	49	27	58	49	54	73	84	33	44	43	35	39	22
57	35	165	70	54	45	26	58	48	56	70	82	30	42	42	30	45	21
58	24	169	55	56	47	25	55	45	51	70	81	32	46	40	24	30	17
59	23	170	60	55	45.5	25	52	44	54	72	83	34	47	38	26	32	16
60	23	167	57	54	44	29	52	45	54	74	84	34	46	44	29	40	19
61	22	169	58	54	45	27	60	50	50	73	84	34	47	43	28	38	20
62	26	170	71	55	45	27	57	45	59	75	84	33	47	44	30	39	24
63	25	170	68	55	45	26	57	46	54	76	85	31	45	42	28	36	19
64		173	69	58	48	25	56	47	51	72	82	37	49	43	29	35	20
65	32	176	78	55	46	25	59	48	58	77	88	35	47.5	42	26	33	20
66	26	167	63	52	42	26	56	45	55	70	82	33	46	43	30	40	23
67	31	163	58	54	46	26	54	44	54	76	84	33	42	42	30	38	22
68	26		66	52	44	26	55	46	50	71	82	33	42	41	30	36	19
69	23	168	60	52	42	24	57	45	53	74	84	32	42	40	30	37	18
70	30	164	55	55	47	26	51	43	54	71	80	33	42	43	31	36	23
71	38	165	60	53	43	25	57	47	53	70	80	33	43	40	30	38	19
72	21	168	58	54	44	27	58	48	50	71	81	33	47	44	30	39	19
73	29	173	61	55	45	26	55	45	60	76	86	34	48	43	32	34	19
74	28	165	54	50	41	25	53	43	59	80	89	33	45	44	32	35	18
75	31	165	65	53	43	25	57	47	54	73	83	34	47	46	32	34	18
76	29	169	61	55	44	25	54	44	53	72	83	34	48	46	30	33	17
77	23	170	58	51	43	24	54	46.5	58	81	92	33	46	42	24	34	16
78	22	166	58	52	44	24	53.5	45	54	74.5	85	33	46	42	24	35	17
79	29	164	58	51	43	23	53	45	53	76	86	33	44	41	28	34	17
80	24	175	68	55	45	27	56	46	58	76	85	35	48	43	33	35	20
81	28	167	60	55	45	26	56	45	63	73	82	34	46	45	32	34	19
82	21	173	59	56	45	25	56	46	54	77	90	36	48	45	30	37	18
83	26	173	60	53	44	26	59	48	55	76	88	34	46	43	31	35	18
84	29	171	58	56	46	26	61	53	53	71	83	37	48	41	30	38	18
85	23	166	61	53	44	26	53	41	56	76	87	31	44	42	31	38	20
86	23	171	58	54	44	26	55	45	59	75	83	36	46	42	32	39	23
87	36	165	54	54	44	26	52	43	53	25	84	31	44	44	30	36	24
88	28	172	65	54	45	27	59	49	55	74	83	34	45	46	32	36	24
89	28	166	60	54	44	26	56	47	56	72	83	35	45	44	34	48	24
90	26	172	65	55	47	26	56	45	55	76	84	32	44	43	32	35	22
91	30	172	60	53	47	26	58	49	54	75	84	34	46.5	41	28	35	18.5
92	24	166	58	57	44	25	57	48	52	74	84	35	46	42	31	35	18
93	25	166	62	54	44	26	56	45	50	71	83	35	46	41	26	34	18
94	25	171	72	56	45	27	54	46	54	76	85	34	45	46	30	34	21
95	27	168	82	55	42	28	60	48	54	74	84	33	47	45	38	44	26
96	27	167	52	54	43	26	58	48	50	69	80	34	42	41	32	32	19
97	28	165	52	56	46	26	53	45	54	69	83	33	46	39	29	36	18
98	24	167	58	54	44	26	56	45	48	69	80	32	45	41	30	34	19
99	27	168	70	57	46	25	59	48	56	74	86	33	47	35	34	37	20
100	28	163	60	62	46	26	53	47	52	75	83	55	42	46	35	38	12
101	22	164	58	54	44	25	53	43	50	70	78	30	43	42	29	32	18
102	31	165	56	54	44	25	51	41	51	70	82	30	45	39	28	31	18
103	26	171	63	54	44	27	60	49	54	74	82	33	44	44	33	36	19
104	29	164	68	51	40	25	55	46	53	72	81	33	46	44	30	39	22
105	41	167	74	55	45	25	55	46	56	72	84	33	45	43	32	35	22
106	29	167	65	56	44	26	53	43	53	70	82	33	45	42	31	34	19
107	23	171	60	56	46	25	53	43	57	77	87	37	46	40	25	33	18
108	24	170	64	57	47	26	59	48	55	72	81	33	46	45	31	36	19
109	21	180	66	57	47	27	60	49	60	80	92	36	46	42	27	34	19
110	26	176	58	57	48	26	56	47	52	73	82	34	46	42	27	35	23
111	27	165	55	54	46	26	54	47	52	72	81	34	43	42	29	37	19
112	29	172	65	58	48	26	60	53	55	75	84	36	47	44	32	34	22
113	38	162	63	55	46	25	58	47	48	69	74	33	45	44	31	34	23
114	22	170	68	56	44	26	17	45	53	73	83	32	47	43	33	39	19
115	22	169	59	54	45	25	57	46	44	71	81	33	44	44	44	29	19

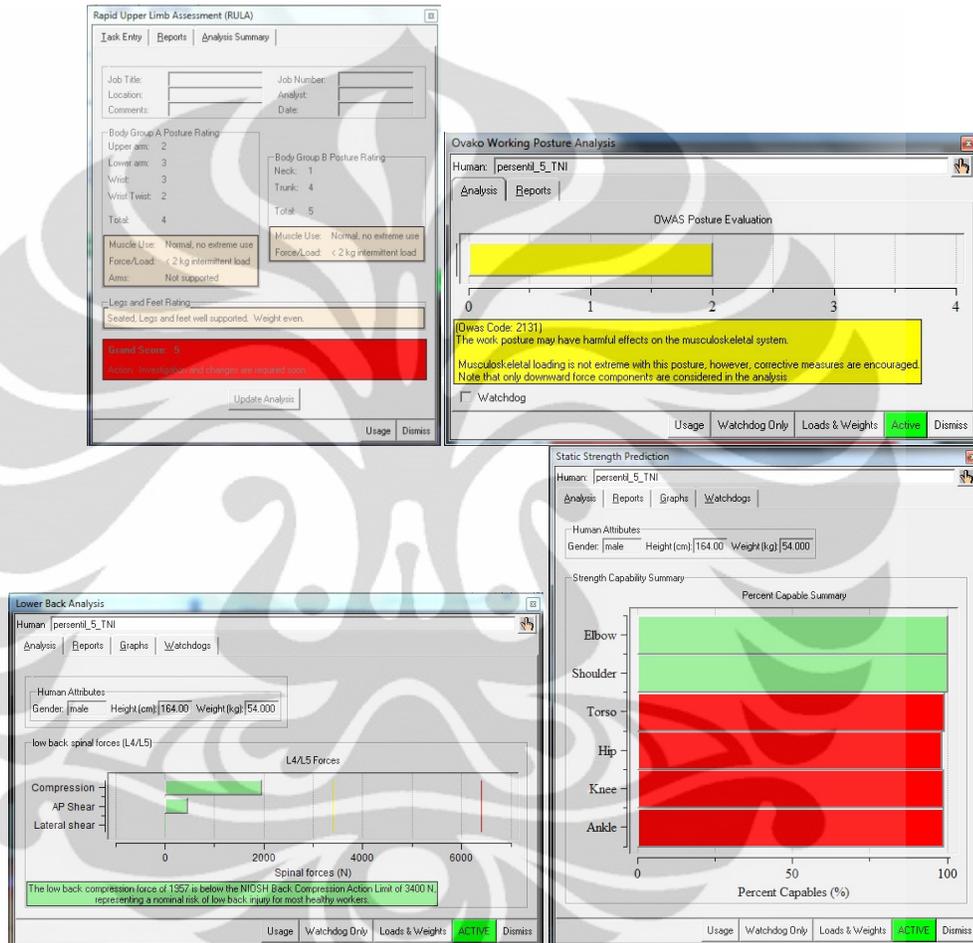
116	30	165	55	55	45	25	57	47	51	69	78	31	45	40	27	33	17
117	29	170	58	53	41	26	57	45	49	69	81	32	45	43	29	35	19
118	30	167	65	51	45	26	56	44	52	73	83	32	42	45	28	35	20
119	34	172	75	55	43	26	60	48	54	73	83	30	45	46	32	37	24
120	32	163	75	53	43	27	53	43	53	72	82	32	43	47	32	39	28
121	20	165	50	53	44	26	58	47	63	77	86	34	44	39	27	30	18
122	30	168	65	52	43	26	53	43	56	77	88	32	43	39	29	34	19
123	23	166	56	53	43	27	57	46	51	74	83	31	43	44	26	35	17
124	23	172	53	52	44	27	56	46	57	78	87	31	46	42	27	36	18
125	28	165	68	54	44	27	57	46	54	71	83	32	45	44	31	37	19
126	23	169	63	56	45	26	56	45	56	75	85	34	46	44	32	34	19
127	23	174	65	58	47	26	60	50	55	75	86	37	48	41	24	33	16
128	29	168	60	55	45	25	56	48	53	71	80	35	46	42	28	36	24
129	22	172	65	53	44	25	55	46	54	77	89	32	45	40	18	33	16
130	23	173	76	57	47	26	57	51	53	74	82	34	44	45	32	35	24
131	28	167	59	53	43	24	58	48	52	75	85	34	45	40	27	32	18
132	19	172	60	55	47	27	58	46	56	77	85	35	46	46	32	34	23
133	29	170	73	58	48	26	60	50	55	74	83	34	46	42	35	37	29
134	27	173	75	59	48	27	57	47	56	75	85	31	48	44	28	34	19.5
135	27	171	68	56	47	27	58	47	55	74	84	34	47	46	33	38	26
136	27	171	57	56	46	25	57	48	55	78	88	32	47	42	26	33	17
137	24	170	60	55	46	26	58	49	56	77	86	36	40	42	28	34	24
138	25	163	50	51	43	24	54	46	52	71	79	32	42	41	26	33	21
139	30	171	65	55	45	25	60	50	55	77	87	33	45	43	30	34	21
140	26	173	60	56	49	25	60	49	54	75	84	36	45.5	42	26	33	18
141	31	171	85	56	45	25	60	51	55	76	85	33	44	47	40	44	34
142	29	169	57	53	43	27	56	49	52	74	84	34	45	42	30	39	19
143	31	166	60	51	41	27	56	45	56	74	83	32	45	43	30	38	21
144	26	168	61	57	47	26	56	47	56	76	84	34	44	44	34	37	28
145	26	172	63	56	47	26	59	49	58	77	84	36	44	42	32	35	25
146	29	169	80	53	42	25	59	49	53	73	82	31	42	44	38	42	31
147	27	165	57	52	42	26	53	47	50	72	82	33	43	41	28	37	18
148	28	165	60	50	41	26	54	43	56	74	83	32	45	43	30	38	21
149	25	167	60	56	46	26	55	46	55	75	83	33	43	43	33	36	27
150	25	170	62	55	48	26	58	48	57	76	85	37	45	43	33	34	25
151	27	170	78	51	41	24	57	47	52	72	80	30	40	42	37	41	30
152	28	167	59	52	43	27	52	46	51	73	81	32	44	41	29	38	19
153	27	165	59	49	41	26	53	43	55	74	83	33	45	42	30	37	19
154	23	166	56	53	43	27	57	46	51	74	83	31	43	44	26	35	17
155	29	167	65	56	44	26	53	43	53	70	82	33	45	42	31	34	19
156	25	166	62	54	44	26	56	45	50	71	83	35	46	41	26	34	18
157	24	170	64	57	47	26	59	48	55	72	81	33	46	45	31	36	19
158	30	163	56	53	43	25	56	48	49	70	79	32	43	40	30	35	19
159	31	176	65	57	45	28	61	46	59	78	80	33	45	44	32	39	20
160	27	167	52	54	43	26	58	47	50	69	80	34	42	41	32	32	19.5
161	27	173	75	59	48	27	57	46	56	75	85	31	48	44	28	34	19.5
162	24	170	64	57	47	26	59	48	55	72	81	33	46	45	31	36	19
163	25	169	60	58	47	27	58	46	54	73	80	33	45	44	30	35	22
164	28	171	63	59	48	26	57	46	56	82	82	34	47	45	32	36	24
165	27	168	63	55	46	26	59	47	57	76	83	36	47	44	32	36	23
166	24	166	58	57	44	25	57	48	52	74	84	35	46	42	31	35	18
167	29	167	65	56	44	26	53	43	53	70	82	33	45	42	31	34	19
168	27	165	55	54	46	26	54	47	52	72	81	34	43	42	29	37	19
169	29	172	65	58	48	26	60	53	55	75	84	36	47	44	32	34	22
170	29	168	60	55	45	25	56	48	53	71	80	35	46	42	28	36	24

Lampiran 2

Hasil Waktu Simulasi

No	Konfigurasi					
	1	2	3	4	5	6
1	3.2	4.4	3.47	3.2	3.2	3.5
2	2.66	2.23	2.42	2.52	2.81	2.06
3	2.43	2.19	1.88	1.47	2.05	2.11
4	3.43	4.19	2.5	2.19	2.75	2.25
5	2.57	3.07	2.93	1.65	2.4	2.71
6	2.72	3.76	2.54	1.65	2.64	2.17
7	2.88	3.63	2.45	2.98	2.81	2.32
8	2.86	3.18	3.09	1.67	2.33	2.38
9	3.19	3.00	2.77	1.98	2.87	3.03
10	2.68	2.82	2.80	2.07	2.59	2.36
11	3.19	2.97	3.07	2.17	2.26	2.61
12	3.14	3.73	3.44	3.15	2.39	2.76
13	3.09	2.83	1.99	3.15	2.11	2.49
14	3.06	3.29	2.55	3.04	2.85	3.22
15	2.61	2.69	2.79	2.26	2.36	2.79
16	3.08	3.84	2.49	2.07	2.57	3.02
17	3.38	2.91	3.43	2.80	2.91	3.12
18	2.61	3.28	1.95	2.09	2.12	2.58
19	3.24	2.45	2.30	2.30	2.44	3.40
20	3.34	3.44	3.02	2.06	2.47	2.07
21	3.01	3.08	3.12	1.51	2.12	2.26
22	3.33	2.66	2.61	2.35	2.49	2.62
23	3.39	4.03	2.62	2.38	2.22	3.05
24	3.09	3.34	2.61	2.05	2.11	2.67
25	3.20	2.40	3.45	3.03	2.10	3.14
26	3.02	3.73	2.86	1.60	3.03	3.03
27	2.65	2.30	3.12	1.64	2.83	2.23
28	3.41	2.53	2.64	1.76	2.19	3.21
29	2.60	2.85	3.11	3.20	3.17	2.14
30	2.66	3.35	3.09	2.20	2.44	3.33
31	3.34	3.50	2.44	2.00	3.01	2.34
32	2.91	2.67	3.23	1.49	2.16	2.07
33	3.08	2.61	2.74	2.13	2.47	3.34
34	2.99	2.58	2.46	2.41	2.51	2.86
35	3.24	2.90	2.64	1.90	2.93	2.47
36	3.26	3.25	2.78	3.18	2.65	2.46
37	2.98	2.32	3.10	2.76	2.17	2.15
38	2.77	4.07	2.04	1.72	2.11	2.43
39	3.32	2.96	3.29	1.87	2.56	2.84
40	3.19	3.82	2.78	2.01	3.13	2.89
Rata-Rata	3.02	3.12	2.76	2.24	2.53	2.66

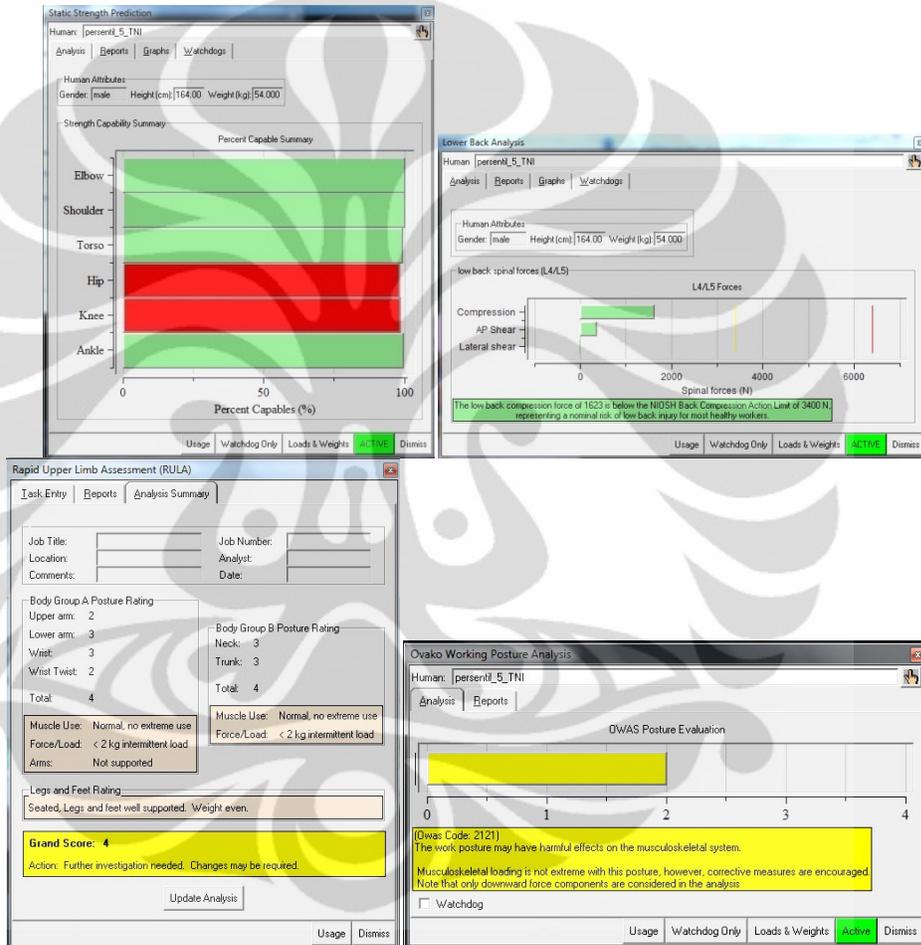




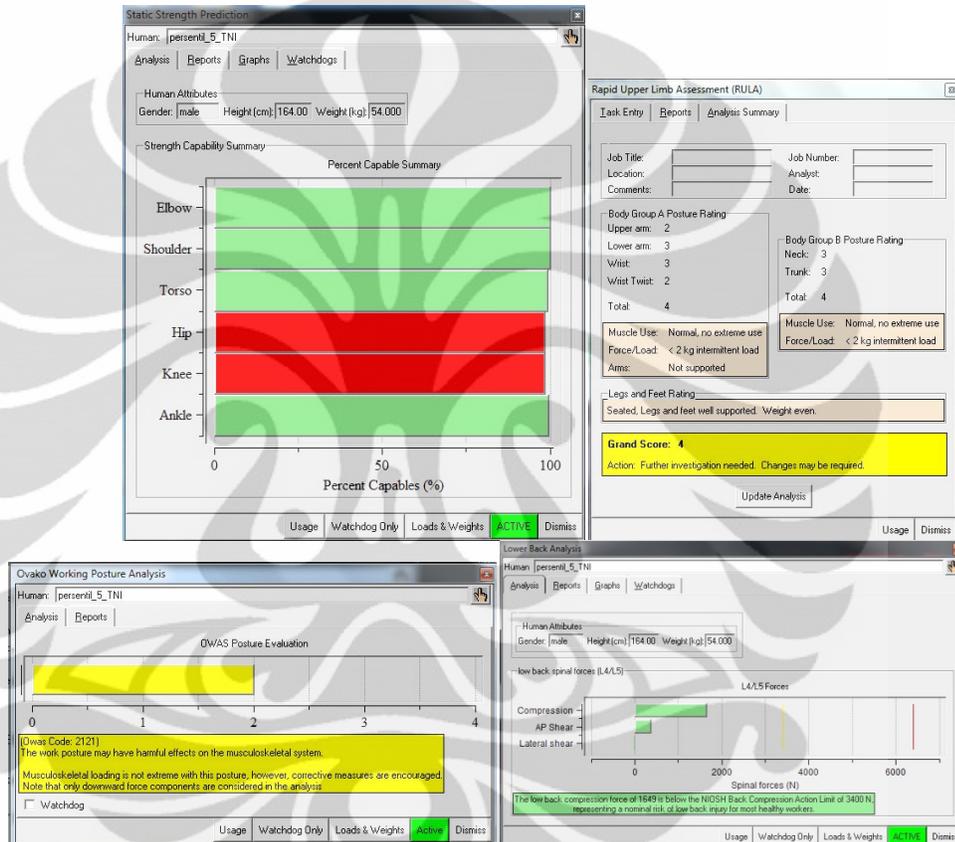
Lampiran 3

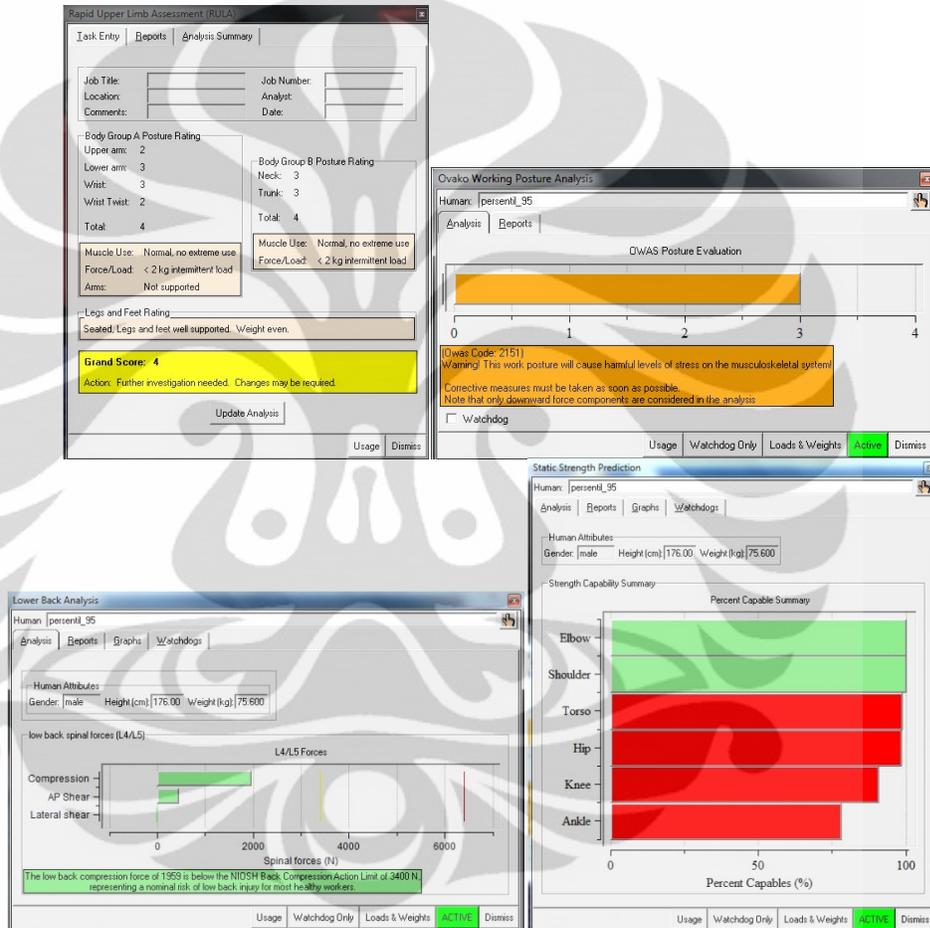
Hasil Analisis Jack TAT Persentil 5 (Lanjutan)

Konfigurasi 4









Hasil Analisis Jack TAT Persentil 95 (Lanjutan)

Konfigurasi 3

