



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA STUDY ERGONOMI PINTU DARURAT PADA
KENDARAAN TEMPUR PENGANGKUT PERSONIL APC
(*ARMOURED PERSONAL CARRIER*)**

SKRIPSI

**RANGGA VIRGAPUTRA
0806321455**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA STUDY ERGONOMI PINTU DARURAT PADA
KENDARAAN TEMPUR PENGANGKUT PERSONIL APC
(*ARMOURED PERSONAL CARRIER*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RANGGA VIRGAPUTRA
0806321455**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rangga Virgaputra

NPM : 0806321455

Tanda tangan : 

Tanggal : 15 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rangga Virgaputra
NPM : 08064321455
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisa Study Ergonomi Pintu Darurat Pada Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC (*Armoured Personal Carrier*)

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

DEWAN PENGUJI

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2012

KATA PENGANTAR

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

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

1. Ibu Fauzia Dianawati, M.Si. 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. Armand Omar Moeis ST, MSc., 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. Keluarga tercinta, terutama papa,mama, dan kakak yang tercinta, atas seluruh perhatian, semangat dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang
5. Ernest Wahyudi, Bram Bratanata, Gagas Hariseto, Reza Alfaiz, dan Pramudya Rizfa Darma sebagai temen tim skripsi ergonomi pada kendaraan tempur yang selalu memberi masukan dalam skripsi saya ini
6. Ade Ariantika Sabidi yang telah memberikan dukungan dan semangat selama ini. Terima kasih untuk senyum, dukungan, dan perhatiannya.
7. Sahabat-sahabat saya Diego, Pandega Pramuka, Simon, Thomas,Timothy, Big Ismail, Pedro, Reza Ramadhana, dan Afif yang selalu memberikan semangat dan motifasi kepada saya dalam mengerjakan skripsi

8. 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
9. Teman-teman angkatan 2008 yang telah bersama dengan saya selama 4 tahun di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang selalu memberi masukan dalam penelitian yang saya lakukan
10. 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 15 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Rangga Virgaputra

NPM : 0806321455

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:

**Analisa Study Ergonomi Pintu Darurat Pada Kendaraan Tempur
Pengangkut Personil APC (*Armoured Personal Carrier*)**

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 : 15 Juni 2012

Yang Menyatakan



(Rangga Virgaputra)

ABSTRAK

Nama : Rangga Virgaputra

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Analisa Study Ergonomi Pintu Darurat Pada Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC (*Armoured Personal Carrier*)

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis pada desain pintu darurat penumpang kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier (APC)* dalam *Virtual Environment*. Tujuannya adalah mengevaluasi desain aktual pintu darurat penumpang kendaraan tempur dan menentukan konfigurasi paling ergonomis ditinjau dari tinggi dan lebar pintu. Dihasilkan 7 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 atas dan bawah sejauh 5cm dan lebar kanan dan kiri sejauh 5cm.

Kata Kunci:

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

ABSTRACT

Name : Rangga Virgaputra

Study Program : Industrial Engineering

Title : *Analysis on Ergonomics Studies of Emergency Door of Armored Personnel Carrier Combat Vehicle Armoured Personnel Carrier*

This research studies the ergonomic aspects of the armored personnel vehicle emergency door design in a virtual environment. The purpose of this research was to evaluate the design of actual personnel emergency door of a combat vehicle and to determine the most ergonomic configuration using door height and width as primary consideration. From the research, seven configurations were made and analyzed. Motion capturing of the model was taken using Vicon System and analyzed using jack 6.2.1 software. Posture Evaluation Index was used to integrate the analysis from three methods: Low Back Analysis, Ovako Working Posture Analysis System, and Rapid Upper Limb Analysis. The result of this research suggested that minor modification is necessary from original design. Additional 5 cm was added to the width design, 5 cm on the left side and another 5 cm on the right side of the door design.

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.....	3
1.3 Rumusan Permasalahan.....	5
1.4 TUJUAN MASALAH.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
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
2.1.1Pendahuluan Mengenai Ergonomi.....	11
2.1.2Ergonomi dan Desain Produk.....	14
2.2 Antropometri.....	16
2.2.1Definisi Antropometri.....	16
2.2.2Variabilitas Manusia.....	17
2.2.3Data Antropometri.....	19

2.2.4	Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan	22
2.3	Ingress dan Egress	22
2.4	Virtual Environment.....	24
2.5	Vicon Motion Capture System	28
2.5.1	Pendahuluan mengenai <i>Motion Capture</i>	28
2.5.2	Cara Kerja Vicon System	28
2.6	Software Siemens Jack 6.1	29
2.6.1	Pendahuluan Mengenai Jack	29
2.6.2	Jack Motion Capture Modules.....	31
2.6.3	Jack Task Analysis Toolkit.....	32
2.7	Static Strength Prediction (SSP).....	33
2.8	Low Back Analysis (LBA).....	36
2.9	Ovako Working Posture Analysis (OWAS).....	37
2.10	Rapid Upper Limb Assessment (RULA)	41
2.11	Metode Posture Evaluation Index (PEI).....	42
2.11.1	Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja.....	43
2.11.2	Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas	44
2.11.3	Fase Ketiga: Static Strength Prediction.....	44
2.11.4	Fase Keempat: Low Back Analysis.....	44
2.11.5	Fase Kelima: Ovako Working Posture Analysis	45
2.11.6	Fase Keenam: Rapid Upper Limb Assessment	45
2.11.7	Fase Ketujuh: Evaluasi PEI	45
2.12	Kendaraan Tempur	47
2.12.1	Jenis Kendaraan Tempur	47
3	PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA	52
3.1	Pengumpulan Data	52
3.1.1	Data Spesifikasi Kendaraan Tempur Lapis Baja APC	52
3.1.2	Data Anthropometri Tentara Nasional Indonesia.....	53
3.1.3	Data Postur dan Gerakan Tentara Menggunakan Pintu Darurat Kendaraan Tempur	54
3.2	Pengolahan Data.....	65
3.2.1	Membuat Lingkungan Virtual (<i>Virtual Environment</i>).....	65
3.2.2	Memasukkan Data Postur Statis Manusia	67
3.2.3	Membuat Manekin (<i>Virtual Human</i>).....	68
3.2.4	Menyatukan Manekin dengan Data.....	68

3.2.5	Memberi Beban (Weights)	69
3.2.6	Menganalisa Pemilihan Gerakan dan Perhitungan Gerakan PEI	69
3.3	Perancangan Konfigurasi Model	71
3.4	Verifikasi dan Validasi Model	72
4	ANALISIS	73
4.1	Analisa Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur	74
4.1.1	Static Strength Prediction (SSP).....	74
4.1.2	Lower Back Analysis (LBA).....	75
4.1.3	Ovako Working Analysis System (OWAS).....	77
4.1.4	Hasil Rapid Upper Limb Assesment (RULA)	79
4.1.5	Perhitungan Nilai PEI.....	80
4.2	Analisis Rancangan Konfigurasi	81
4.2.1	Analisa Rancangan Konfigurasi 2	81
4.2.2	Analisa Rancangan Konfigurasi 3	83
4.2.3	Analisa Rancangan Konfigurasi 4	84
4.2.4	Analisa Rancangan Konfigurasi 5	85
4.2.5	Analisa Rancangan Konfigurasi 6	87
4.2.6	Analisa Rancangan Konfigurasi 7	88
4.3	Analisis Perbandingan	89
4.3.1	Analisa Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi	89
4.4	Simulasi Waktu	93
5	KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran.....	95
	DAFTAR REFERENSI.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2 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	19
Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural.....	20
Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional.....	21
Gambar 2.5 <i>Median Motion Strategy</i> Pada Pergerakan Ingres	23
Gambar 2.6 <i>Forward Motion Strategy</i>	23
Gambar 2.7 <i>Trunk Motion Strategy</i>	24
Gambar 2.8 Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i>	25
Gambar 2.9 Lingkungan pada Jack.....	29
Gambar 2.10 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack.....	30
Gambar 2.11 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian	35
Gambar 2.12 Model Kode OWAS	38
Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS	39
Gambar 2.14 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS	39
Gambar 2.15 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS	40
Gambar 2.16 Contoh Lembar Kerja RULA	42
Gambar 2.17 Diagram Alir Metode PEI	43
Gambar 2.18 Kendaraan Tempur Tank.....	47
Gambar 2.19 Kendaraan Tempur Pengangkut Personil Lapis Baja.....	48
Gambar 2.20 Kendaraan Tempur Infanteri	49
Gambar 2.21 Kendaraan Tempur Penghancur Tank.....	50
Gambar 2.22 Kendaraan Tempur Artileri Gerak Sendiri dan Mariah Serbu	51
Gambar 3.1 Tampilan Vicon Nexus 1.5.1.....	55
Gambar 3.2 Penempatan Frame Pintu.....	56
Gambar 3.3 Tampilan <i>tab Calibration</i> pada Vicon Nexus	56
Gambar 3.4 Tampilan Noise yang Telah Ditutup	57
Gambar 3.5 Proses Kalibrasi dengan <i>Wand</i>	58
Gambar 3.6 Tampilan <i>Wand</i> pada Vicon Nexus.....	58
Gambar 3.7 Peletakan <i>L-Frame</i> pada Area Perekaman	59
Gambar 3.8 Tampilan Sebelum dan Sesudah proses <i>Set Volume Origin</i>	59
Gambar 3.9 Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia	62
Gambar 3.10 Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia	63
Gambar 3.11 (a) Hasil Rekonstruksi (b) Hasil Rekonstruksi yang Telah Dinamai	63
Gambar 3.12 Tampilan <i>tab Capture</i>	64
Gambar 3.13 Model Pintu Darurat Kendaraan Tempur.....	66

Gambar 3.14 Model Helm yang digunakan oleh Tentara	66
Gambar 3.15 Model Rompi yang digunakan oleh Tentara	66
Gambar 3.16 Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan <i>Pipeline</i>	66
Gambar 4.1 Panser Anoa 6x6 APC.....	73
Gambar 4.2 Desain Pintu Darurat Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual... 75	
Gambar 4.3 Grafik SSP Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.....	74
Gambar 4.4 Grafik LBA Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.....	76
Gambar 4.5 Hasil OWAS Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.....	78
Gambar 4.6 Hasil RULA Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.....	80
Gambar 4.7 Rancangan Konfigurasi 2 Pada Manekin Persentil 95	82
Gambar 4.8 Rancangan Konfigurasi 3 Pada Manekin Persentil 95	83
Gambar 4.9 Rancangan Konfigurasi 4 Pada Manekin Persentil 95	84
Gambar 4.10 Rancangan Konfigurasi 5 Pada Manekin Persentil 95	86
Gambar 4.11 Rancangan Konfigurasi 6 Pada Manekin Persentil 95	87
Gambar 4.12 Rancangan Konfigurasi 7 pada Manekin Persentil 95	88
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi	90
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi	91
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi	91
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi	92

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	41
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Tentara	54
Tabel 3.2 Susunan <i>Markers</i> untuk <i>software</i> Jack.....	60
Tabel 3.3 Tabel Perbandingan nilai PEI Ingress Dan Egress Pada Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur APC	71
Tabel 3.4 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat	72
Tabel 4.1 Deskripsi Kode OWAS	77
Tabel 4.2 Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS	77
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Desain Aktual.....	81
Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 2.....	82
Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 3.....	84
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 4.....	85
Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 5.....	86
Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 6.....	88
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 7.....	89
Tabel 4.10 Waktu Rata-Rata Simulasi Memasuki Pintu Darurat	93

DAFTAR RUMUS

2.1 Prinsip Dasar SSP	34
2.2 Persamaan SSP.....	34
2.3 Standar <i>Lifting</i> NIOSH.....	36
2.4 Rumus <i>Postur Evaluation Index (PEI)</i>	46





BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknik industri adalah suatu teknik yang mencakup bidang desain, perbaikan, dan pemasangan dari system integral yang terdiri dari manusia, bahan-bahan, informasi, peralatan dan energi. Semua sistem yang sifatnya meningkatkan nilai tambah baik berupa barang maupun jasa merupakan obyek yang di kelola oleh teknik industri. Dengan adanya ergonomi dalam teknik industri, sistem yang dikelola oleh teknik industri akan menjadi maksimal. Hal ini dikarenakan ilmu ergonomi merupakan suatu ilmu yang peduli akan adanya keserasian manusia dan pekerjaanya.

Salah satu ruang lingkup ergonomi yaitu desain. Desain memiliki peran penting dalam meningkatkan nilai tambah pada barang ataupun jasa yang menjadi obyek yang dikelola oleh teknik industri tersebut. Desain yang ergonomi dapat membuat suatu pekerjaan lebih cepat diselesaikan. Hal tersebut sesuai dengan salah satu definisi ergonomi yaitu "*fitting the job to the worker*".

Ergonomi dapat diaplikasikan kedalam berbagai macam bidang pekerjaan. Salah satunya adalah bidang militer, di karenakan Indonesia sebagai salah satu Negara kepulauan dan menjunjung tinggi nilai-nilai perdamaian dalam sejarahnya selalu menekankan arti penting dunia yang damai. Dengan begitu untuk persoalan penggunaan kekuatan militer Indonesia lebih ke arah menggunakan kekuatan itu untuk menjaga (*defense dan deterrence*) wilayah yang terbentang. Maka dari itu Indonesia membutuhkan infrastruktur dari segi militer yang kuat untuk dapat mewujudkan perdamaian di dalam kedaulatannya.

Di Indonesia, PT. PINDAD adalah industri manufaktur Indonesia yang mengkhususkan diri dalam produk-produk militer dan komersial. Perusahaan ini meliputi desain, pengembangan, rekayasa dan fabrikasi serta pemeliharaan. Didirikan pada tahun 1808 sebagai bengkel peralatan militer di Surabaya dengan nama Artillerie Constructie Winkel (ACW), bengkel ini berkembang menjadi sebuah pabrik

dan sesudah mengalami perubahan nama yang sama, ia pindah ke Bandung pada tahun 1923. Belanda menyerahkan pabrik kepada Pemerintah Indonesia pada tanggal 29 april 1950. PT. PINDAD telah berubah menjadi sebuah industri alat peralatan militer dan di bawah pengelolaan Angkatan Darat Indonesia

Anoa 6x6 *Armoured Personnel Carrier* (APC) adalah panser canggih yang di ciptakan oleh PT. PINDAD pada saat ini. 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.

Desain pintu darurat yang mengurangi *accessibility*. Pembuka pintu yang tidak optimal dan tidak presisinya nilai aero dinamis dan estetisnya, dikarenakan desain pintu darurat yang jauh dari nilai ergonomis pada saat panser mengalami kecelakaan terbalik dan pintu utama tidak bisa digunakan pada saat keadaan darurat. Hal inilah yang kemudian melatarbelakangi perlunya penulis untuk melakukan penelitian terhadap kendaraan tempur anoa 6x6.

Sejatinya, untuk keluar menggunakan pintu darurat adalah tindakan yang kompleks yang membutuhkan koordinasi gerakan artikular tubuh manusia. *Ingress/egress* merupakan pergerakan keluar dan masuk pada sebuah kendaraan. Orang menggunakan berbagai strategi *ingress*, seperti kepala-pertama, kaki-pertama atau *buttocksfirst*. Strategi *ingress* seseorang berkorelasi dengan geometri pintu yang ada, atau dimensi tubuh, serta usia.

Analisa aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap panser ini mempertimbangkan tiga komponen penting dalam desain kendaraan tempur yang berhubungan erat dengan prajurit tentara, yaitu posisi membuka pintu darurat, posisi keluar menggunakan pintu darurat, dan posisi pijakan pada saat keluar. Nilai ergonomis dari desain panser yang diteliti dapat diketahui dengan menganalisis evaluasi postur dan gerakan seseorang pada saat melakukan kegiatan keluar dan

masuk (*ingress*) panser ini dengan menggunakan pintu darurat. Postur, dan gerakan dalam kendaraan memiliki kaitan dengan keselamatan dan kenyamanan seorang prajurit pada saat terjadi keadaan darurat. Hal ini memiliki implikasi terhadap *accessibility*, akurasi, tingkat cedera pada prajurit, dan waktu evakuasi pada prajurit.

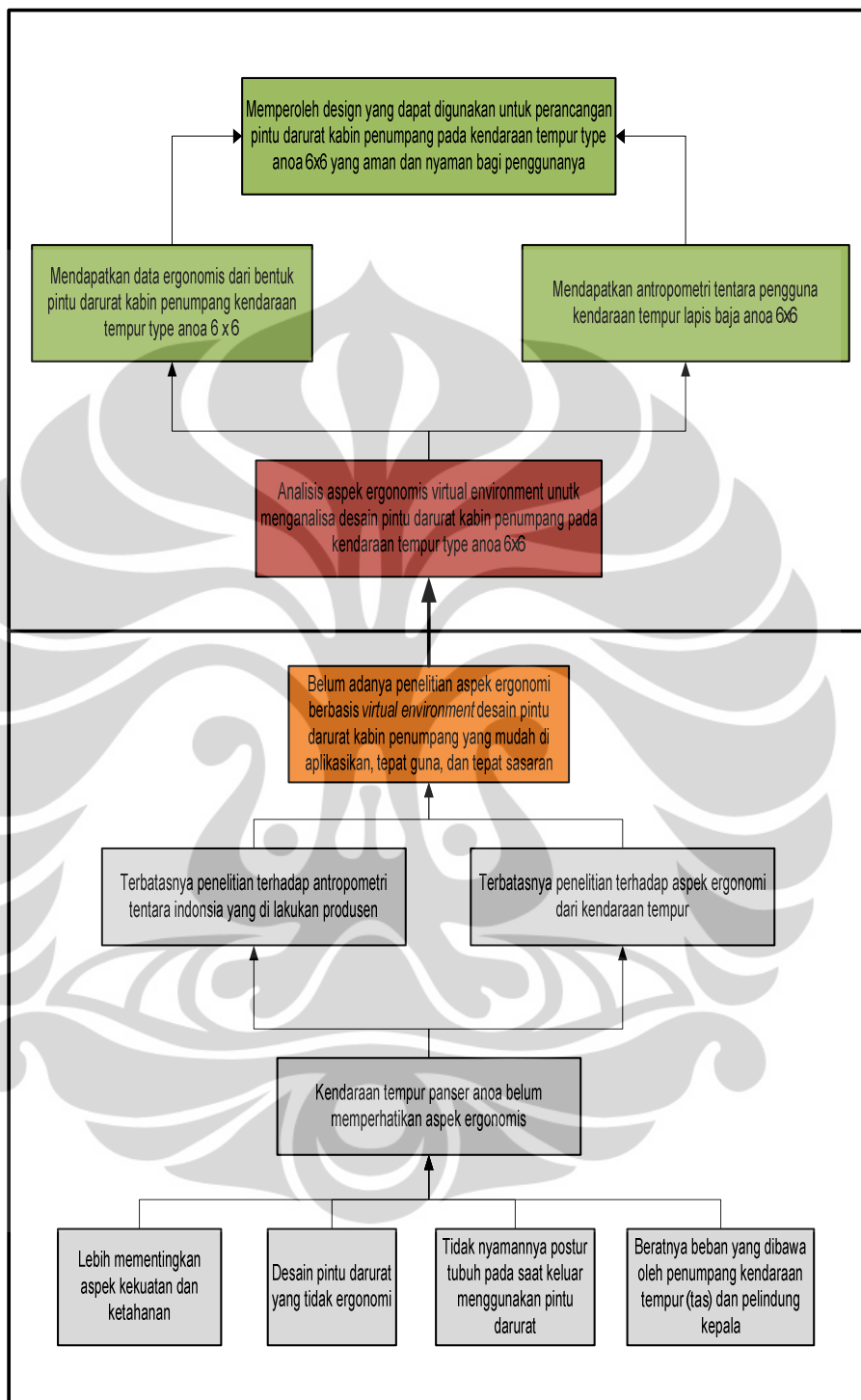
Analisis ergonomi ini akan dilakukan dengan bantuan software *digital human modeling and simulation* yang bernama Jack versi 6.2.1 yang tersedia di Ergonomic Centre Teknik Industri Universitas Indonesia. Software Jack versi 6.2.1 digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan interaksi manusia dengan alat kerja yang dipakai dalam sebuah *virtual environment*. Pada software ini juga telah tersedia *Task Analysis Toolkit* dan *Occupant Packaging Toolkit* yang dapat digunakan untuk menganalisis aspek ergonomi dari model pada simulasi yang dijalankan.

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 mahasiswa sudah ergonomis atau belum.

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

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Diagram keterkaitan masalah dibuat untuk mendapatkan pemahaman yang lebih utuh dan menyeluruh terhadap masing-masing masalah dan keterkaitan yang muncul diantaranya. Berdasarkan latar belakang yang ada di atas dibuat diagram keterkaitan masalah seperti pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka permasalahan yang menjadi fokus penelitian adalah analisa aspek ergonomi dari desain pintu darurat kabin penumpang kendaraan tempur sehingga perlu dilakukan analisis terhadap desain pintu darurat kabin penumpang kendaraan tempur terutama dalam aspek ergonomis yang mudah diaplikasikan tepat guna, dan tepat sasaran.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dalam penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu desain pintu darurat kabin penumpang pada kendaraan tempur yang telah memenuhi standar ergonomi dan memberikan kenyamanan dan keamanan bagi penumpang kendaraan tempur tersebut. Tujuan ini dicapai dengan analisis aspek ergonomis dari desain pintu darurat 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 Anoa 6x6 pengangkut personel produksi PT.Pindad.
2. Data antropometri yang digunakan merupakan data antropometri pria asia yang terdapat pada software jack 6.2.1.
3. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa rekomendasi desain pintu darurat kabin penumpang kendaraan tempur anoa yang merupakan analisis dengan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment*.
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

Secara umum, tahapan-tahapan metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pendahuluan

Adapun topik penelitian ini adalah perancangan pintu darurat kabin penumpang pada kendaraan tempur panser anoa 6x6 melalui simulasi model manusia dalam *virtual environment*.

2. Landasan Teori

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

- Dasar-dasar perancangan penelitian
- Ergonomi
- Prinsip penelitian ergonomi dengan *virtual environment*
- Metode *Posture Evaluation Index*
- Analisis ergonomik dengan LBA, OWAS, dan RULA

3. Persiapan Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi variable apa saja yang diperlukan dan bagaimana data akan dikumpulkan.

4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data spesifikasi pintu darurat kabin penumpang kendaraan tempur anoa yang telah ada, serta mengumpulkan data antropometri personel TNI sebagai pengguna kendaraan.

5. Pengolahan Data

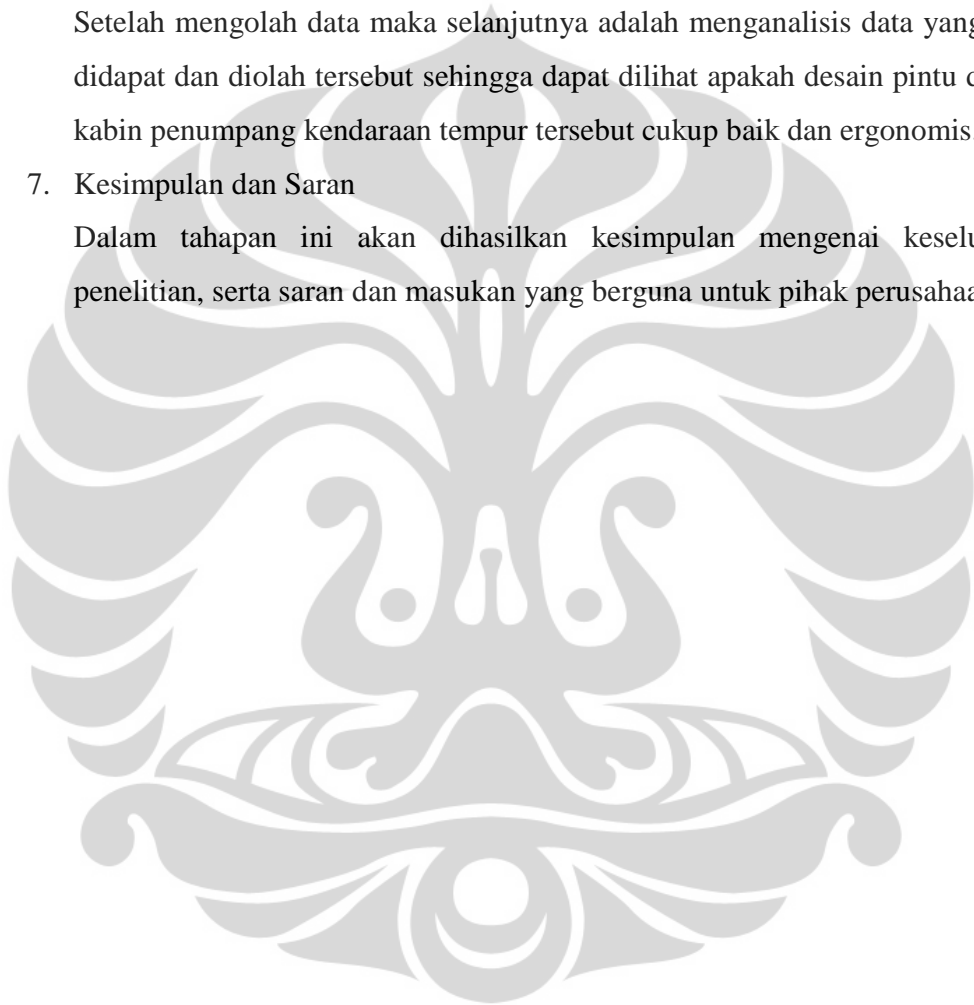
Pengolahan data dilakukan dengan metode *virtual environment modeling* dan dengan bantuan *software jack* serta *software* lain yang berkaitan dengan desain.

6. Analisis Data

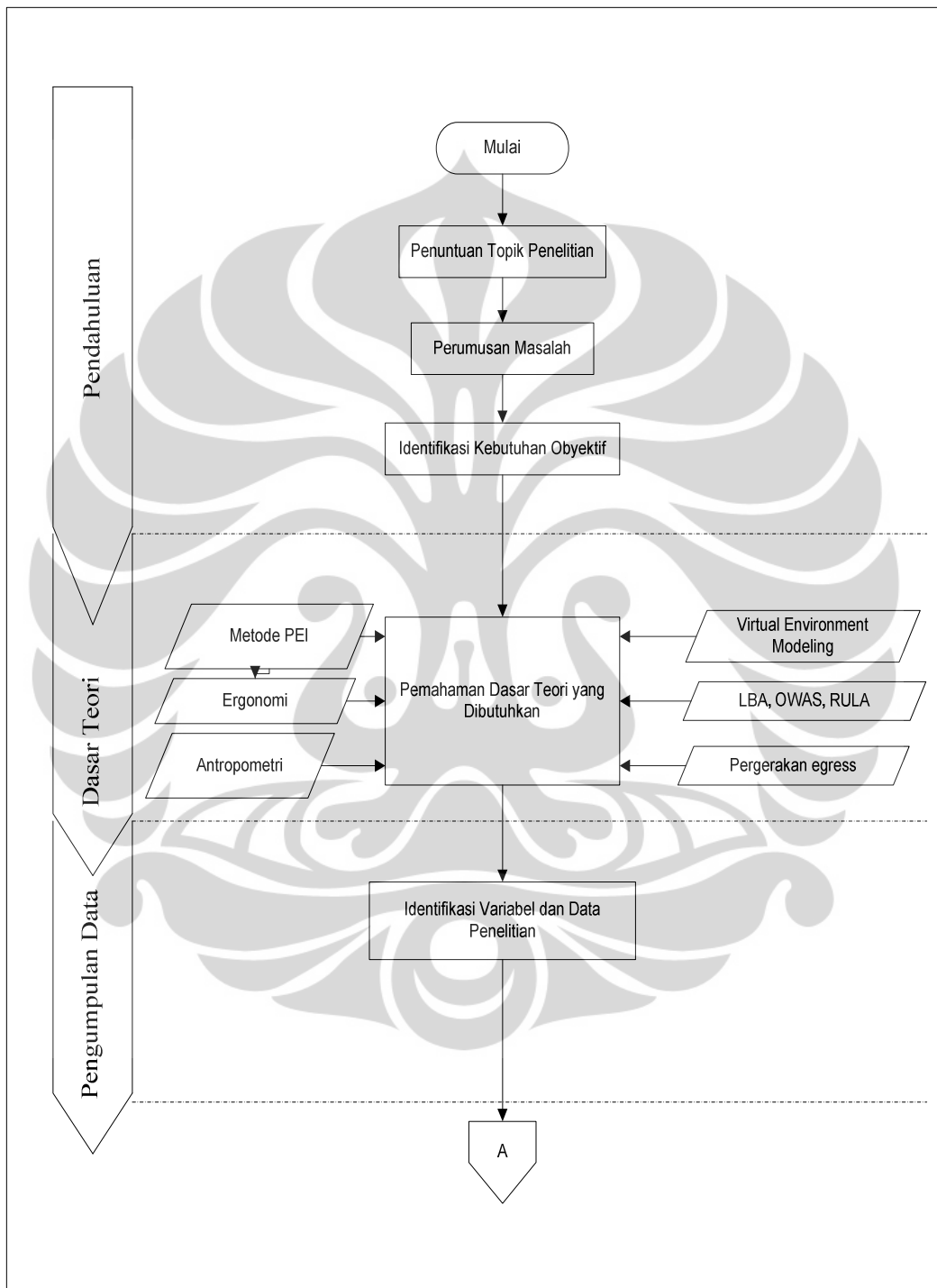
Setelah mengolah data maka selanjutnya adalah menganalisis data yang telah didapat dan diolah tersebut sehingga dapat dilihat apakah desain pintu darurat kabin penumpang kendaraan tempur tersebut cukup baik dan ergonomis.

7. Kesimpulan dan Saran

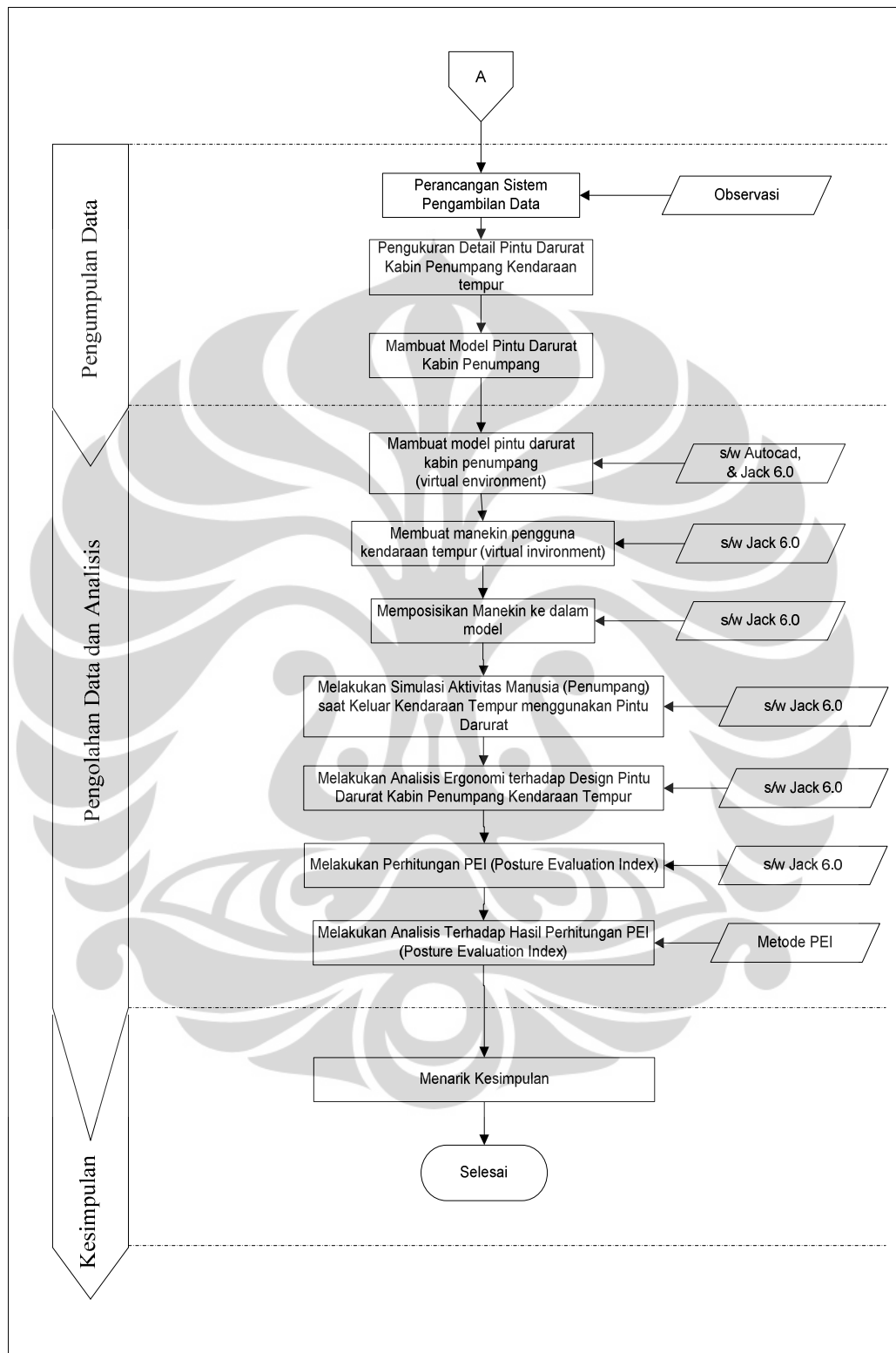
Dalam tahapan ini akan dihasilkan kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian, serta saran dan masukan yang berguna untuk pihak perusahaan.



1.7 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.2 (lanjutan) Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.8 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini dibuat secara sistematis dan tersusun atas lima bab sebagai berikut:

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang berisi penjelasan mengenai latar belakang dilaksanakannya penelitian ini, masalah-masalah yang mendasari penelitian ini serta keterkaitan di antaranya yang digambarkan melalui diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan

Bab 2 merupakan landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini. Bagian ini membahas mengenai dasar-dasar ergonomi, seluk-beluk prinsip penelitian ergonomi melalui *virtual environment* serta metode *Posture Evaluation Index*.

Bab 3 merupakan bab pengumpulan data dan perancangan model. Pada bab ini akan dibahas mengenai berbagai data yang dikumpulkan selama penelitian berlangsung seperti data ukuran pintu darurat kabin penumpang kendaraan tempur serta perancangan model berdasarkan data yang ada dengan menggunakan *software Jack 6.2.1*.

Bab 4 merupakan analisis yang membahas mengenai analisis dari perancangan model yang dibuat berdasarkan beberapa macam konfigurasi. Berdasarkan analisis yang dilakukan, berikutnya dibuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

Bab 5 berisi kesimpulan dan saran yang dihasilkan dari penelitian ini. Selain itu pada bab ini juga akan diajukan rekomendasi desain pintu darurat kabin penumpang kendaraan tempur panser anoa 6x6 yang menjadi objek penelitian.

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 apatisisme.

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

produk, lingkungan dan sistem dalam rangka membuat hal – hal tersebut sepadan dengan kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan manusia. Sedangkan McCormick (1993) dalam bukunya menggunakan istilah *human factors* untuk mengistilahkan ergonomi, dan mengatakan ergonomi dapat didefinisikan berdasarkan hal-hal dibawah ini :

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

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

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

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

Tabel 2.1 Definisi *Human Factors* dan Ergonomi

Author	Definition of Human Factors and Ergonomics
Murrell, 1965	...the scientific study of the relationship between man and his working environment. In this sense, the term environment is taken to cover not only the ambient environment in which he may work but also his tools and materials, his methods of work and the organization of the work, either as an individual or within a working group. All these are related to the nature of man himself; to his abilities, capacities and limitations.
Grandjean, 1980	...is a study of man's behavior in relation to his work. The object of this research is man at work in relation to his spatial environment...the most important principle of ergonomics: Fitting the task to the man. Ergonomics is 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

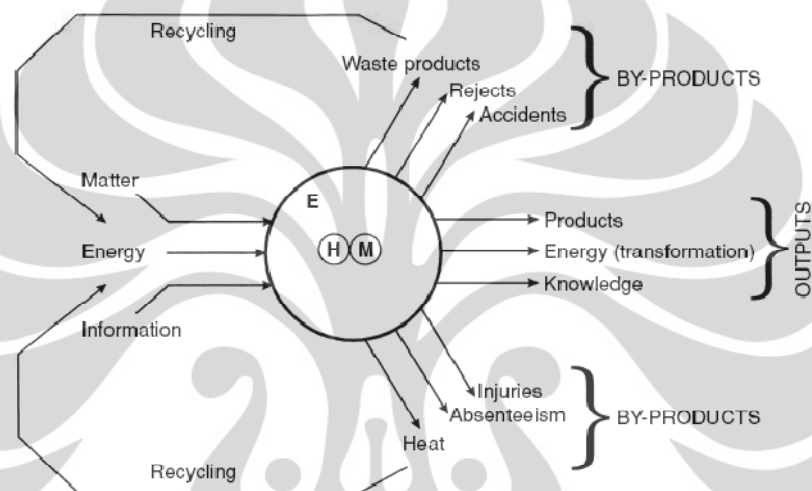
Berikut ini merupakan pendekatan ini dilakukan dengan cara mengkategorikan struktur sederhana. Yaitu pada tabel 2.2 di bawah ini menjelaskan tentang ergonomi ke dalam bentuk *who*, *what*, *how*, *when/where*, dan *goal*.

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 di bawah ini menunjukkan system kerja sederhana manusia berinteraksi dengan mesin untuk mengubah input menjadi input.



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

Sumber: Bridger, 2003

2.1.2 Ergonomi dan Desain Produk

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

keberhasilan, sedangkan atribut dan karakteristik lainnya dapat mengikuti sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan yang ada.

Dalam aplikasi ergonomi, secara ideal dapat diterapkan “*to fit the job to the man*” dalam perancangan sistem kerja begitu juga dalam pengembangan desain produk (Bridger, 1995; Kroemer, 200; Pulat, 1992), sehingga desain produk yang dihasilkan diharapkan akan memenuhi keinginan konsumen dan diharapkan memiliki nilai tambah, dimana manfaat (*tangible & intangible benefits*) yang akan dirasakan konsumen memiliki totalitas manfaat yang lebih dibandingkan biaya pengorbanan yang harus dikeluarkan. Dengan demikian, desain produk tersebut telah memiliki *superior customer value* dibandingkan pesaingnya (Kotler & Amstrong, 2006). Keunggulan bersaing harus diciptakan sejak desain produk dan diwujudkan dengan produk jadi (*finished goods*) sebagai indikator performansi nyata (*tangible*) yang akan dilihat dan dirasakan oleh konsumen. Penilaian konsumen terhadap produk merupakan perwujudan tingkat performansi dari produk yang dihasilkan perusahaan (Kotler & Keller, 2006), apakah konsumen akan merasakan puas (*satisfied*)-jika performansi produk sesuai dengan harapan dari keinginan konsumen, atau tidak puas (*dissatisfied*)-jika performansi produk dibawah harapan dari keinginan konsumen, atau sangat puas (*delighted*) jika performansi produk melebihi harapannya. Konsep ergonomi harus juga dijadikan sebagai kerangka dasar dalam perancangan *control device* dari sebuah mesin sehingga diharapkan operator dapat mengoperasikan mesin tersebut secara benar dan dapat mengurangi kecelakaan kerja. Sebagaimana dijelaskan oleh Sanders & McCormick (1993) bahwa terdapat beberapa jenis *control device*, seperti *hand control*, *foot control* dan *data entry devices*. Jenis *foot control* dapat mempengaruhi postur dari operator sehingga perancangan dari jenis ini harus didasarkan beberapa aspek, seperti lokasi engsel pedal, sudut telapak kaki dengan betis, dan peletakan pedal tersebut terhadap operator. Dengan demikian, diperlukan konsiderasi ergonomi pada desain produk sehingga kegunaan dan pemakaian produk tersebut sudah sesuai dengan faktor manusia dari penggunaanya.

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 standar 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-factor yang mempengaruhi dimensi tubuh. Para perancang harus mempertimbangkan faktor-faktor tersebut dan menyesuaikan rancangan dengan faktor tersebut. Faktor-faktor yang paling penting adalah :

a. Usia

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

b. Jenis kelamin

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

c. Posisi Tubuh (*Posture*)

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

d. Cacat Tubuh

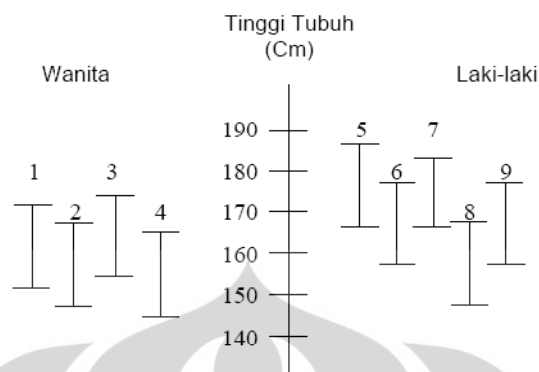
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki/tangan palsu, dan lain-lain).

e. Tebal/Tipisnya Pakaian

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

f. Suku bangsa

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



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

Catatan :

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

g. Kehamilan

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

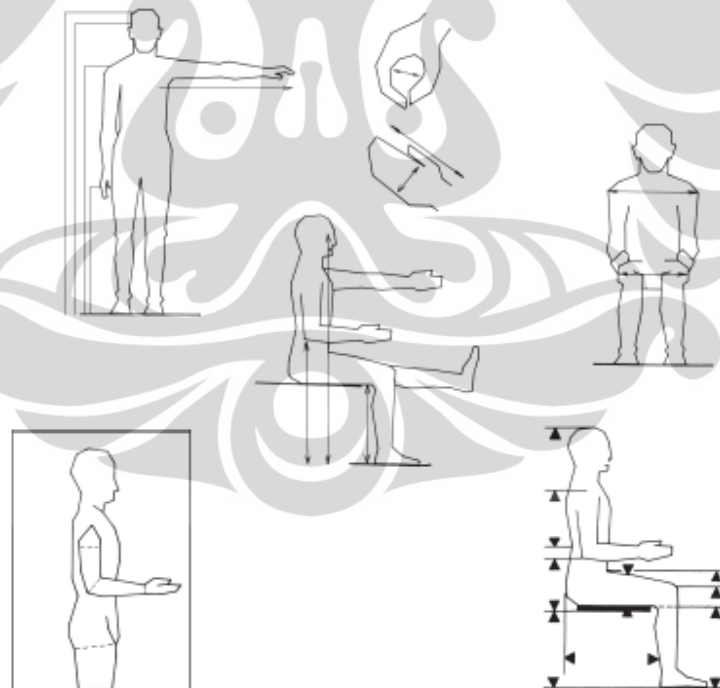
Akhirnya, sekalipun segmentasi dari populasi yang ingin dituju dari rancangan suatu produk selalu berhasil diidentifikasi sebaik-baiknya berdasarkan faktor-faktor seperti yang telah diuraikan; namun adanya variasi ukuran bukan tidak mungkin bisa tetap dijumpai. Permasalahan variasi ukuran sebenarnya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

2.2.3 Data Antropometri

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

- Data Antropometri Struktural

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



Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural

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

- Data Antropometri Fungsional

Data antropometri fungsional dikumpulkan untuk menggambarkan gerakan bagian tubuh terhadap titik posisi yang tetap, seperti misalnya area jangkauan tangan. Daerah yang berada dalam jangkauan tangan disebut zona jangkauan maksimum, atau dalam hal ini menggunakan istilah “working envelopes”. Berbeda dengan data antropometri struktural 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.

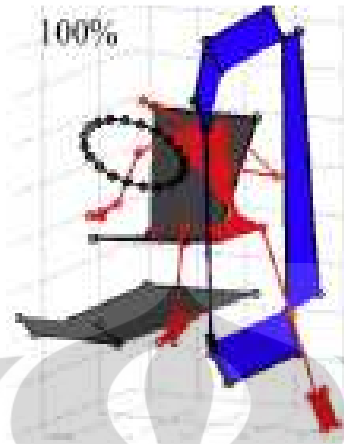
2.3 Ingress dan Egress

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. Contoh gerakan *median motion strategy* dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 *Median Motion Strategy* Pada Pergerakan Inggres

- *Forward Motion Strategy*

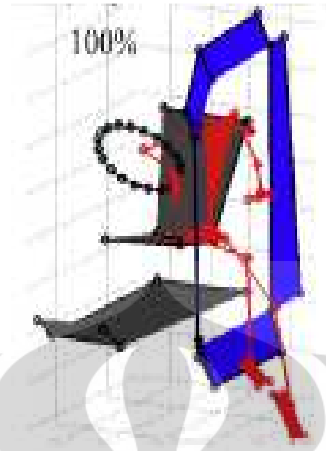
Forward Motion Strategy merupakan sebuah gerakan memasuki kendaraan dimana ketinggian pintu yang dimiliki kendaraan tersebut berada sejajar dengan lutut rata-rata manusia. Contoh gerakan *forward motion strategy* dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 *Forward Motion Strategy*

- *Trunk Motion Strategy*

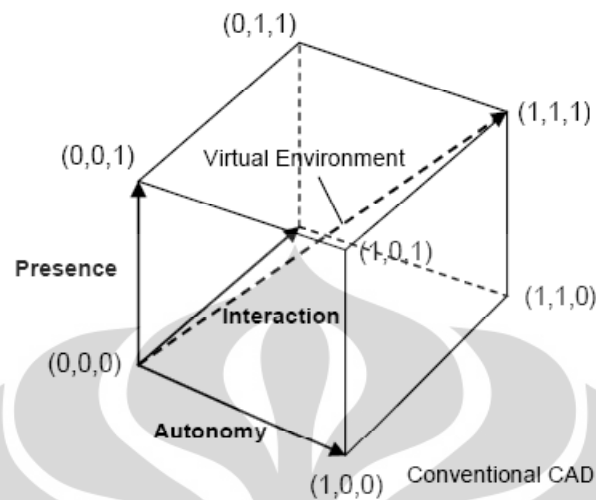
Trunk Motion Strategy merupakan sebuah gerakan memasuki kendaraan dimana ketinggian pintu yang dimiliki kendaraan tersebut berada dibawah lutut rata-rata manusia. Contoh gerakan *trunk motion strategy* dapat dilihat pada gambar 2.7



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 2.8 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

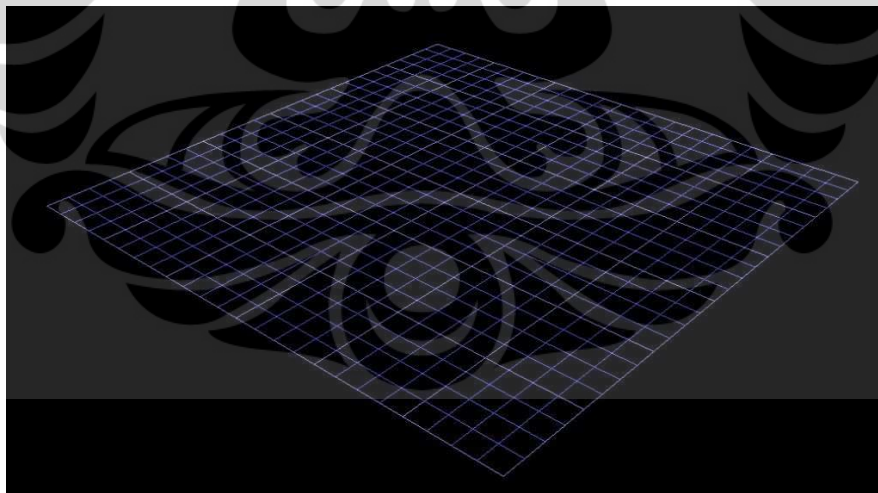
ditransfer ke *software* dari pihak ketiga, seperti Jack.6.1, untuk analisis dan manipulasi yang digunakan untuk animasi digital dan *virtual environments*.

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 2.9



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 2.10 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. Memosisikan *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)).:

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

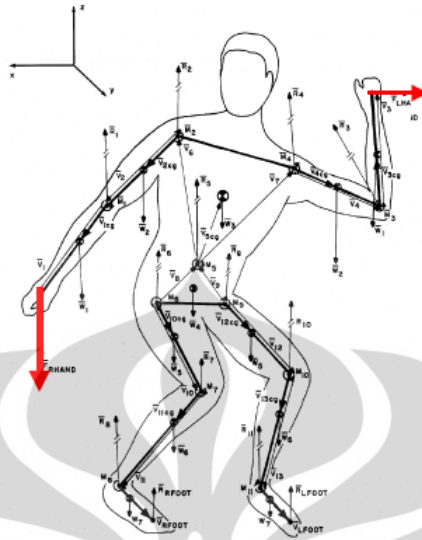
SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika diaplikasikan dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit dan bergerak. Pada tubuh manusia pergerakan otot akan membuat tulang cenderung berotasi pada setiap persendiaan yang ada. Besarnya kecenderungan 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 persendiaan. Yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Gambar 2.11 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",

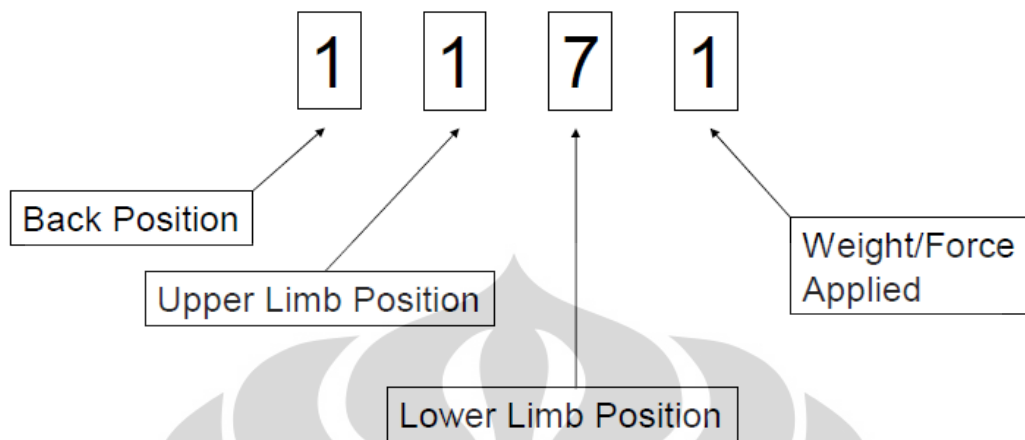
- VM, faktor "Vertical Multiplier",
- DM, faktor "Distance Multiplier",
- FM, faktor "Frequency Multiplier",
- AM, faktor "Asymmetric Multiplier", dan
- CM, faktor "Coupling Multiplier".

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 2.12). 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.

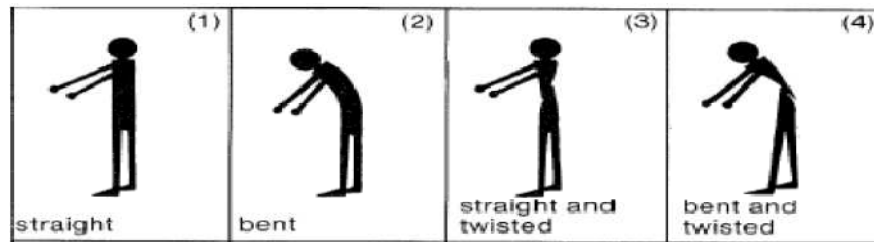


Gambar 2.12 Model Kode OWAS

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 menjelaskan model postur punggung dalam metode OWAS.

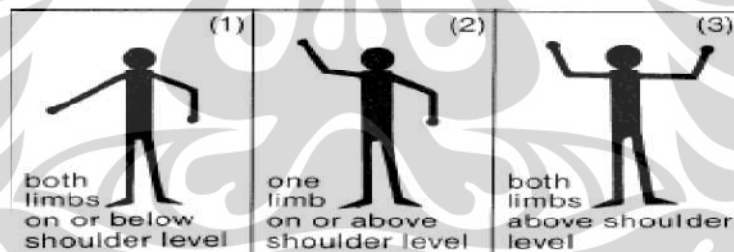


Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS

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 menjelaskan model postur tungkai bagian tubuh atas dalam metode OWAS.



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.

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 mengenai posisi *lower limb* ini dapat dilihat pada gambar 2.15.



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 penggunanya 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 penggunaanya 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

Complete 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
 -15° to 15° (+1), 15° to 45° (+2), 45° to 90° (+3), 90° (+4)

Step 1a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1; If elbow arm is abducted: +1; If arm is supported or posture is leaning: -1

Final Upper Arm Score = []

Step 2: Locate Lower Arm Position
 +1, 0° to 30° (+2), 30° to 60° (+3), 60° to 90° (+4)

Step 2a: Adjust...
 If arm is working across middle of body: +1; If arm out to side of body: +1

Final Lower Arm Score = []

Step 3: Locate Wrist Position
 +1, 0° to 15° (+2), 15° to 30° (+3), 30° to 45° (+4)

Step 3a: Adjust...
 If wrist is bent from the midline: +1

Final Wrist Score = []

Step 4: Wrist Twist
 If wrist is twisted in mid-range: -1; If twist at or near end of range: -2

Wrist Twist Score = []

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in Table A

Posture Score A = []

Step 6: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or: If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

Muscle Use Score = []

Step 7: Add Force/Load Score
 If load less than 2 kg (intermittent): 0; If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1; If 2 kg to 10 kg (static) or repeatedly: +2; If more than 10 kg (static) or repeatedly or shocks: +3

Force/load Score = []

Step 8: Find Row in Table C
 The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C

Final Arm & Wrist Score = []

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Twist	1	2	3	4
1	1	1	1	1	2	3	4
1	1	2	1	2	3	4	5
1	1	3	1	3	4	5	6
1	1	4	1	4	5	6	7
1	2	1	1	2	3	4	5
1	2	2	1	3	4	5	6
1	2	3	1	4	5	6	7
1	2	4	1	5	6	7	8
1	3	1	1	3	4	5	6
1	3	2	1	4	5	6	7
1	3	3	1	5	6	7	8
1	3	4	1	6	7	8	9
1	4	1	1	4	5	6	7
1	4	2	1	5	6	7	8
1	4	3	1	6	7	8	9
1	4	4	1	7	8	9	10
2	1	1	1	2	3	4	5
2	1	2	1	3	4	5	6
2	1	3	1	4	5	6	7
2	1	4	1	5	6	7	8
2	2	1	1	3	4	5	6
2	2	2	1	4	5	6	7
2	2	3	1	5	6	7	8
2	2	4	1	6	7	8	9
2	3	1	1	4	5	6	7
2	3	2	1	5	6	7	8
2	3	3	1	6	7	8	9
2	3	4	1	7	8	9	10
2	4	1	1	5	6	7	8
2	4	2	1	6	7	8	9
2	4	3	1	7	8	9	10
2	4	4	1	8	9	10	11
3	1	1	1	3	4	5	6
3	1	2	1	4	5	6	7
3	1	3	1	5	6	7	8
3	1	4	1	6	7	8	9
3	2	1	1	4	5	6	7
3	2	2	1	5	6	7	8
3	2	3	1	6	7	8	9
3	2	4	1	7	8	9	10
3	3	1	1	5	6	7	8
3	3	2	1	6	7	8	9
3	3	3	1	7	8	9	10
3	3	4	1	8	9	10	11
3	4	1	1	6	7	8	9
3	4	2	1	7	8	9	10
3	4	3	1	8	9	10	11
3	4	4	1	9	10	11	12
4	1	1	1	4	5	6	7
4	1	2	1	5	6	7	8
4	1	3	1	6	7	8	9
4	1	4	1	7	8	9	10
4	2	1	1	5	6	7	8
4	2	2	1	6	7	8	9
4	2	3	1	7	8	9	10
4	2	4	1	8	9	10	11
4	3	1	1	6	7	8	9
4	3	2	1	7	8	9	10
4	3	3	1	8	9	10	11
4	3	4	1	9	10	11	12
4	4	1	1	7	8	9	10
4	4	2	1	8	9	10	11
4	4	3	1	9	10	11	12
4	4	4	1	10	11	12	13

Table B

Neck	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Table C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position
 0° to 10° (+1), 10° to 20° (+2), 20° to 30° (+3), 30° to 45° (+4), 45° to 60° (+5), 60° to 75° (+6), 75° to 90° (+7)

Step 9a: Adjust...
 If neck is bent: +1; If neck is side-bending: +1; If extension: +1

Final Neck Score = []

Step 10: Locate Trunk Position
 0° to 10° (+1), 10° to 20° (+2), 20° to 30° (+3), 30° to 45° (+4), 45° to 60° (+5), 60° to 75° (+6), 75° to 90° (+7)

Step 10a: Adjust...
 If trunk is bent: +1; If trunk is side-bending: +1; If flexion: +1

Final Trunk Score = []

Step 11: Legs
 If hip & feet supported and balanced: +1; If foot: +2

Final Leg Score = []

Trunk Posture Score

Neck	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B

Posture B Score = []

Step 13: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static or: If action: +1; If action: +2; If action: +3

Muscle Use Score = []

Step 14: Add Force/Load Score
 If load less than 2 kg (intermittent): 0; If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1; If 2 kg to 10 kg (static) or repeatedly: +2; If more than 10 kg (static) or repeatedly or shocks: +3

Force/load Score = []

Step 15: Find Column in Table C
 The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart 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

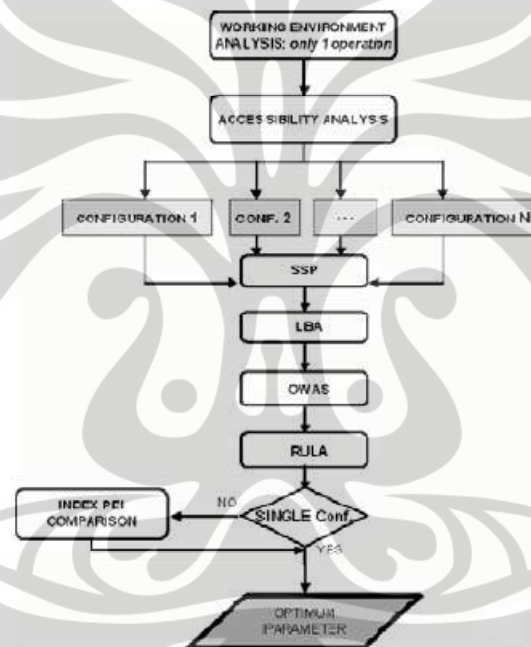
Sumber: Hedge, 2000

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 Frederico II, Italia. Metodologi ini dikembangkan berdasarkan aplikasi *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack. Tujuan dari penggunaan metodologi ini adalah

untuk melakukan optimalisasi terhadap fitur geometri pada sebuah stasiun kerja. Dengan optimalisasi yang dilakukan, postur kerja yang paling memberikan kenyamanan pada pekerja, dalam berbagai macam persentil populasi, dapat ditentukan¹⁷.

Jika fitur geometri yang menjadi karakter dari sebuah stasiun kerja hanya mempengaruhi sisi ergonomi dari sebuah operasi, maka metode PEI dapat digunakan sehingga optimalisasi dari sebuah operasi pada satu buah stasiun kerja dapat dilakukan. Metode ini mengikuti alur yang ada pada gambar 2.17 di bawah ini:



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”)¹⁹.

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

dimana:

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

Definisi dari PEI dan penggunaan dari ketiga buah metode analisis (LBA, OWAS, RULA) bergantung terhadap hal-hal berikut. Faktor-faktor yang menjadi penyebab utama dari pembebanan yang berlebihan pada biomekanikal adalah: repetisi, frekuensi, postur, usaha kerja, dan waktu pemulihan. Faktor yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kegiatan adalah postur ekstrim, khususnya pada tubuh bagian atas. Konsekuensinya, perhatian yang lebih harus diberikan pada evaluasi tingkat ketidaknyaman pada *lumbar disc* L4/L5 (pengaruh I_1) dan evaluasi dari tingkat kelelahan pada tubuh bagian atas (pengaruh I_3). PEI memungkinkan penggunaannya untuk menentukan modus operandi untuk menjalankan kegiatan kerja dalam cara yang sederhana. Faktanya, postur optimal yang berkaitan dengan kegiatan dasar adalah postur kritis dengan nilai PEI minimum. Variabel yang mempengaruhi nilai akhir PEI bergantung pada tingkat 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 I_1 -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 di bawah ini adalah kendaraan tempur tank.



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 di bawah ini adalah kendaraan tempur pengangkut personil lapis baja.



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 di bawah ini adalah kendaraan tempur infanteri.



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 di bawah ini adalah kendaraan tempur Penghancur Tank.



Gambar 2.21 Kendaraan Tempur Penghancur Tank

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

- **Artileri Gerak Sendiri dan Meriam Serbu**

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

Meriam serbu adalah artileri gerak sendiri yang fungsinya mendukung pasukan infanteri. Kendaraan ini biasanya dipersenjatai meriam otomatis yang bisa menembakkan peluru berdaya ledak tinggi, cocok untuk melawan tentara yang bersembunyi di parit atau pertahanan. Gambar 2.12 di bawah ini adalah kendaraan tempur artileri gerak sendiri dan meriam serbu.



Gambar 2.22 Kendaraan Tempur Artileri Gerak Sendiri dan Mariam Serbu

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

BAB 3

PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan mengambil data yang sudah tersedia dan juga dengan melakukan pengukuran langsung terhadap Kendaraan tempur Lapis Baja tipe APC yang akan menjadi objek penelitian. Selanjutnya, akan dijelaskan lebih detail data-data yang diperlukan.

3.1.1 Data Spesifikasi Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

Kendaraan Tempur yang menjadi objek penelitian adalah kendaraan tempur anoa type APC (*Armoured Personal Carrier*). Kendaraan tempur pengangkut personil (APC : *Armoured personal carrier*) dengan sistem penggerak 6 roda simetris, dirancang khusus untuk kebutuhan ALUTSISTA TNI-AD khususnya satuan kavaleri Dirancang dan di produksi oleh anak bangsa khusus untuk TNI. Panser ini dapat mengangkut 10 personil dengan 3 orang kru, 1 driver 1 commander dan 1 gunner. Dilengkapi dengan mounting senjata 12,7 mm yang dapat berputar 360 derajat. Detail spesifikasi dapat dilihat pada keterangan dibawah ini:

- Pabrik : PT. Pindad
- Berat Tempur : 14 ton
- Panjang : 6 meter
- Lebar : 2,5 meter
- Tinggi : 2,9 meter
- Kru : 3 + 10 personel
- Senjata Utama : SMB 12,7 mm atau pelontar granat AGL 40 mm
- Mesin : Renault MIDR 062045 inline 6 cylinder turbo-charged diesel
- Transmisi : Automatic, ZF S6HP502, 6 forward, 1 reverse
- Suspensi : Independent suspension, torsion bar
- Kapasitas BBM : 200 liter

- Jarak Tempuh : 600 Km
- Kecepatan Max : 90 Km/jam ; 2,2 meter / detik di air

3.1.2 Data Antropometri Tentara Nasional Indonesia

Data Antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) adalah data berdasarkan jurnal internasional anthropometry of Singaporean and Indonesian military population.

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

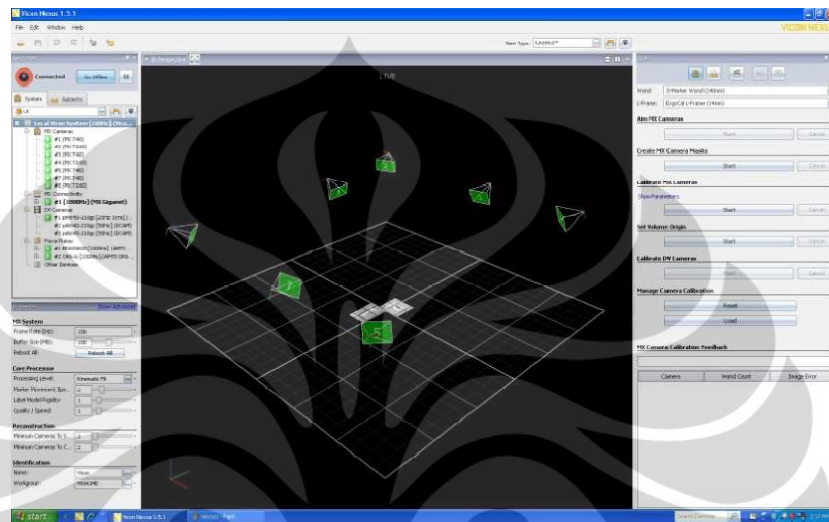
3.1.3 Data Postur dan Gerakan Tentara Menggunakan Pintu Darurat Kendaraan Tempur

Perekaman gerakan tentara ketika keluar menggunakan pintu darurat kendaraan tempur dilakukan dengan menggunakan peralatan *motion capture* dan Vicon System Observer sebagai Vicon System.

Data gerakan yang diperoleh dari perekaman tersebut akan dijadikan sebagai *input* untuk mensimulasikan manekin (virtual human) dalam pergerakan keluar menggunakan pintu darurat 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 3.1 Tampilan Vicon Nexus 1.5.1

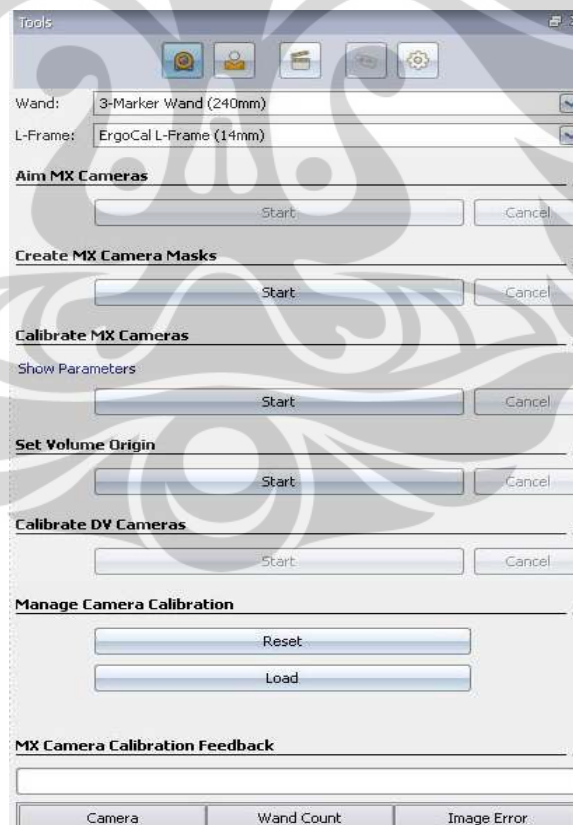
3.1.3.1 Mengkalibrasi Vicon System

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 3.3.



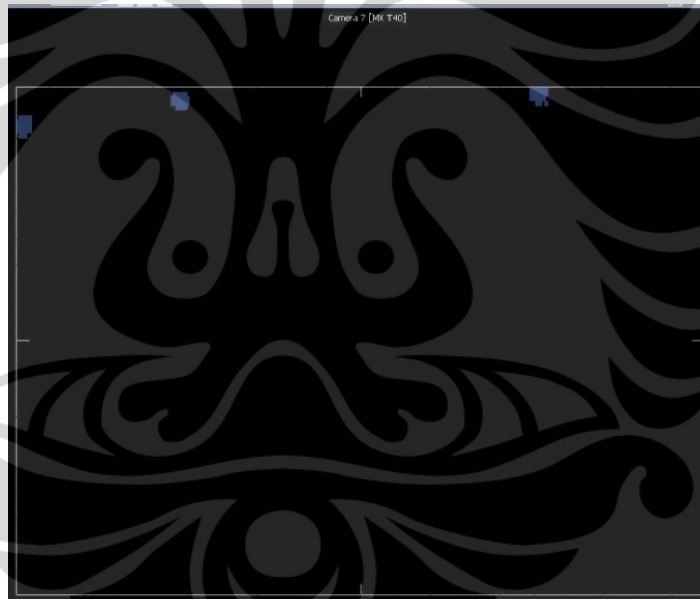
Gambar 3.2 Penempatan Frame Pintu



Gambar 3.3 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.

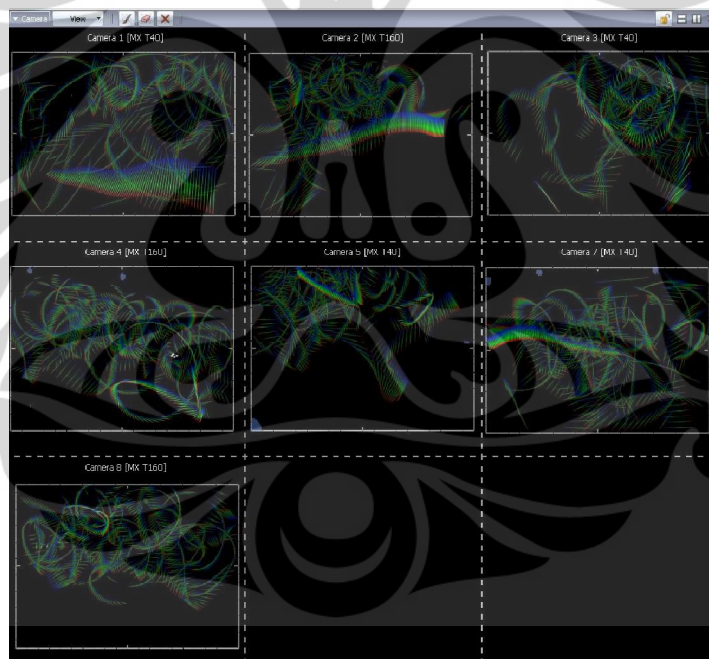
Hasil *masking* pada dapat dilihat pada Gambar 3.4 dimana *noise* cahaya yang telah ditutupi berwarna ungu. Setelah melalui proses *masking*, dilanjutkan dengan kalibrasi kamera MX dengan menggunakan *3-marker wand (240mm)*. *Wand* tersebut diputar-putar seperti Gambar 3.5 mengelilingi area perekaman sehingga kamera MX dapat mengenali *markers* dalam area perekaman. Pada *software* Vicon Nexus 1.5.1 akan terlihat seperti Gambar 3.6 ketika dilakukan proses kalibrasi kamera MX.



Gambar 3.4 Tampilan Noise yang Telah Ditutup



Gambar 3.5 Proses Kalibrasi dengan *Wand*



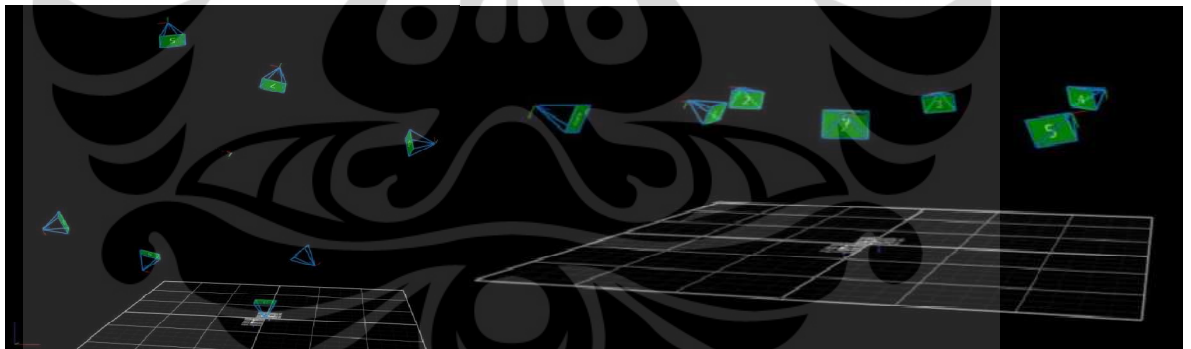
Gambar 3.6 Tampilan *Wand* pada Vicon Nexus

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 3.7 dapat dilihat peletakan *ErgoCal L-Frame (14mm)* sebagai titik awal

(*origin*) dan pada Gambar 3.8 dapat dilihat tampilan sebelum dan sesudah proses *Set Volume Origin*.



Gambar 3.7 Peletakan *L-Frame* pada Area Perekaman



Gambar3.8 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 3.9.

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

Tabel 3.3 (Lanjutan) Susunan *Markers* untuk *software* Jack

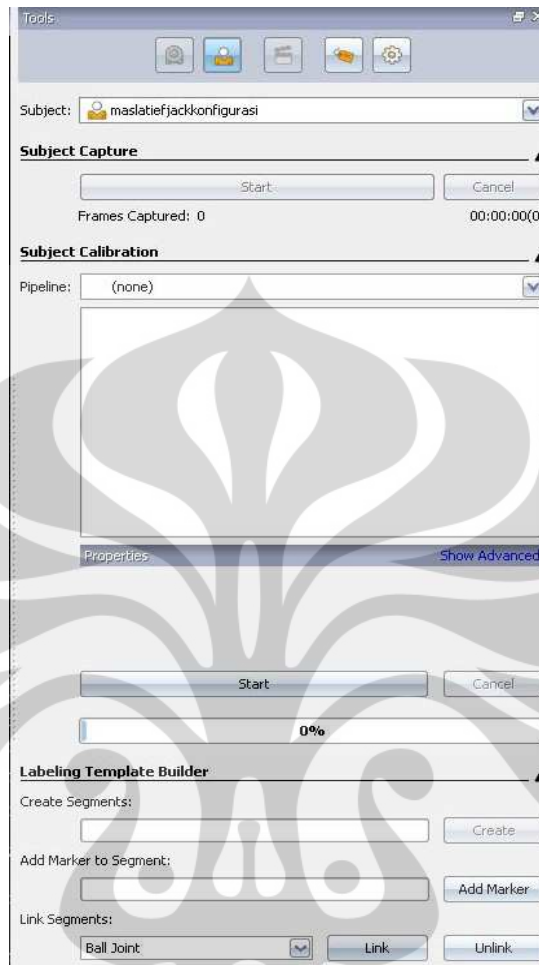
Label	Penempatan
23. LPostElbow	Siku kiri bagian dalam
24. LForearm	Tengah tangan kiri
25. LRadius	Pergelangan tangan kiri searah ibu jari
26. LUlna	Pergelangan tangan kiri searah kelingking
27. LThumb	Pangkal ibu jari tangan kiri
28. LMHand	Tengah metakarpal kiri
29. LPinky	Pangkal kelingking tangan 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



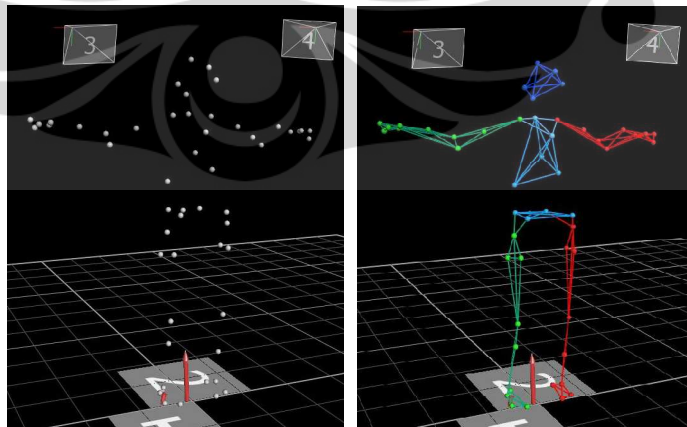
Gambar 3.9 Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia

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 3.11(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 3.11(b). Dengan demikian, Vicon Nexus akan otomatis mengenali *markers* tersebut dan mempermudah pengamat dalam mengolah data.



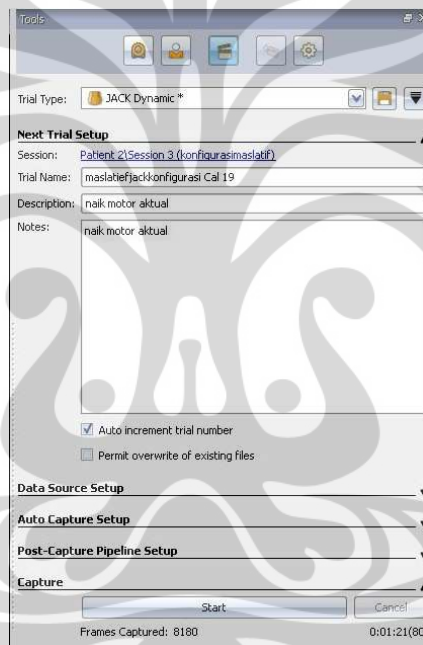
Gambar 3.10 Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia



Gambar 3.11 (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 3.12 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 3.12 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

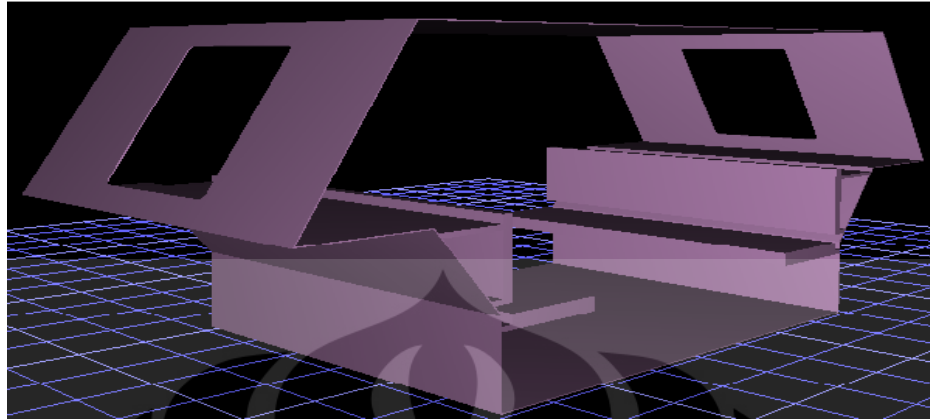
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Jack 6.1. Ada 6 tahapan umum yang dilakukan dalam pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack 6.1, yaitu :

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)

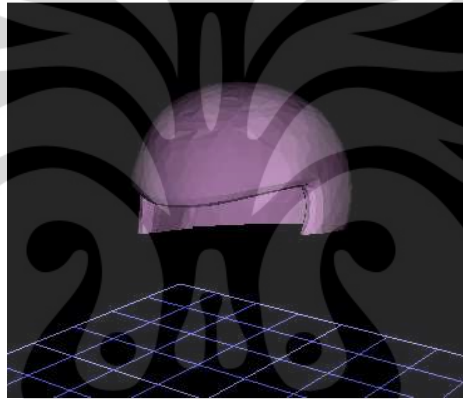
3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual (*Virtual Environment*)

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.

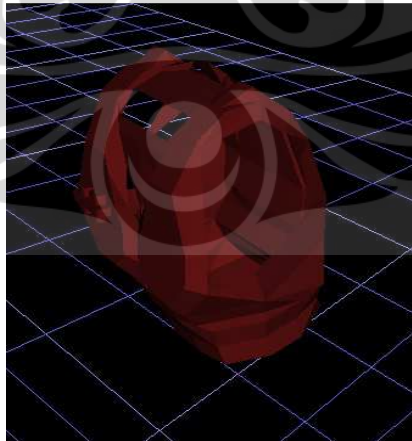
Pembuatan model tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* NX 6, 3DS Max, dan Autocad. . Pemilihan *software* ini dikarenakan fitur-fitur pada ketiga *software* yang berbeda. Kekurangan pada *software* yang satu dapat dilengkapi dengan menggunakan *software* yang lainnya. Selain itu untuk memudahkan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



Gambar 3.13 Model Pintu Darurat Kendaraan Tempur



Gambar 3.14 Model Helm yang digunakan oleh Tentara

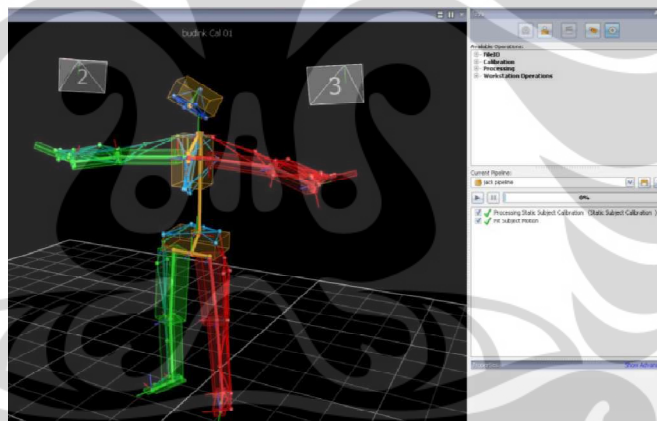


Gambar 3.15 Model Rompi yang digunakan oleh Tentara

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 Memasukan 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. Gambar 3.16 dapat dilihat *tab Processing* dijalankan *pipeline Static Subject Calibration* dan *Fit Subject Motion* dan klik *Play*.



Gambar 3.16 Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan *Pipeline*

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

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 memasangkan 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.

3.2.6 Menganalisa Pemilihan Gerakan Ingress atau Egress dan Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Analisis gerakan 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).

Perhitungan PEI gerakan Egress pada konfigurasi 1 :

Persentil 5 :

- LBA = 1886N
- OWAS = 2
- RULA = 6
- Maka PEI = $I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$
- = $1886/3400 + 2/4 + (6/7 \times 1,42)$
- = 2,271

Persentil 95 :

- LBA = 2335 N
- OWAS = 4
- RULA = 7
- Maka PEI = $I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$
- = $2335/3400 + 4/4 + (7/7 \times 1,42)$
- = 3,106

Perhitungan PEI gerakan Ingress pada konfigurasi 1 :

Persentil 5 :

- LBA = 1084N
- OWAS = 3
- RULA = 3
- Maka PEI = $I1 + I2 + (I3 \cdot mr)$
- = $1084/3400 + 3/4 + (3/7 \times 1,42)$
- = 1,670

Persentil 95 :

- LBA = 2011 N
- OWAS = 4
- RULA = 6
- Maka PEI = I1 + I2 + (I3 . mr)
- = 2011/3400 + 4/4 + (6/7 x 1,42)
- = 2,861

Tabel 3.3 Tabel Perbandingan nilai PEI Ingress Dan Egress Pada Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur APC

	PEI Persentil 5	PEI Persentil 95	Waktu
Ingress	1,670	2,861	16,06 Second
Egress	2,271	3,106	22,03 Second

Nilai PEI yang paling terkecil dan waktu terbaik untuk keluar menggunakan pintu darurat adalah gerakan Ingress. Kemudian gerakan ingress digunakan untuk mendapatkan 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 darurat penumpang kendaraan tempur yang ergonomis.

3.3 Perancangan Konfigurasi Model

Perancangan konfigurasi model perlu di lakukan untuk menentukan desain pintu darurat 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 keluar menggunakan pintu darurat penumpang kendaraan tempur. Variable yang menjadi masalah yaitu tinggi pintu dan lebar pintu darurat kendaraan tempur. Tabel 3.4 di bawah ini adalah konfigurasi desain yang akan dibuat.

Tabel 3.4 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat

Konfigurasi	Panjang	Lebar	Keterangan PEI dan Waktu
1	65cm	55cm	AKTUAL
2	70cm	AKTUAL	REDESAIN
3	AKTUAL	60cm	REDESAIN
4	70cm	60cm	REDESAIN
5	75cm	AKTUAL	REDESAIN
6	AKTUAL	65cm	REDESAIN
7	75cm	65cm	REDESAIN

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.

Permodelan interaksi antara manekin manusia terhadap lingkungan virtual dengan menggunakan *software* Jack 6.1 ini telah dilakukan verifikasi. 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.

BAB 4

ANALISIS

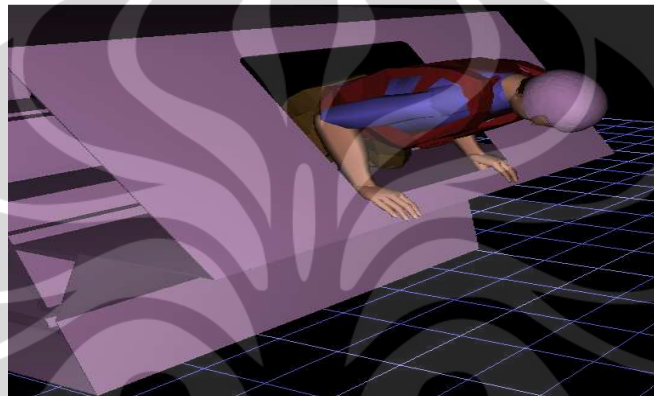
Bab ini membahas tentang ergonomi desain pintu darurat penumpang kendaraan tempur pengangkut personel pada keadaan aktual dan beberapa konfigurasi desain yang dianalisa dengan menggunakan *Task Analysis Toolkits* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack 6.1. Semua konfigurasi desain yang ada akan dihitung besar nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) dan waktu terbaik akan dibandingkan satu sama lain untuk mendapatkan desain pintu darurat penumpang kendaraan tempur *Armoured Personnel Carrier* (APC) yang paling ergonomis bagi personel tentara yang menggunakannya. Dalam bab ini akan dilihat pula waktu keluar untuk setiap konfigurasi. Dari hasil nilai PEI dan waktu keluar tersebut, kemudian akan dilihat mana nilai PEI yang paling kecil kemudian dibandingkan dengan waktu sehingga menghasilkan suatu kesimpulan. Pada Gambar 4.1 yaitu panser Anoa 6x6 *Armoured Personnel Carrier* (APC).



Gambar 4.1 Panser Anoa 6x6 *Armoured Personnel Carrier* (APC)

4.1 Analisa Desain Aktual Pintu Darurat Penumpang Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

Desain aktual merupakan desain yang sesuai dengan keadaan sebenarnya di dunia nyata dengan ukuran 55cm x 65cm dan gerakan ingress untuk menggunakan pintu darurat kendaraan tempur. Desain aktual pintu darurat kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.2.



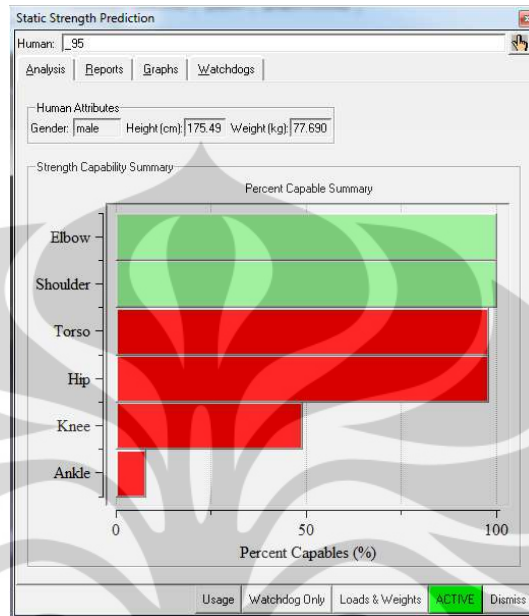
Gambar 4.2 Desain Pintu Darurat Kendaraan Tempur Dalam Keadaan Aktual

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*).

Jika diperhatikan hasil yang diperoleh dari Task Analysis Toolkits untuk konfigurasi pertama ini, dapat dilihat pada Gambar 4.3 bahwa warna hijau pada grafik menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas untuk konfigurasi actual ini masih dalam batas aman. Warna merah menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas dari pengguna ini hampir diambang batas. Dari sini kami menyimpulkan bahwa tanda ini

masih dalam bentuk kewajaran melihat pekerjaan yang dilakukan oleh manekin ini merupakan pekerjaan yang tidak semua orang dapat melakukannya.



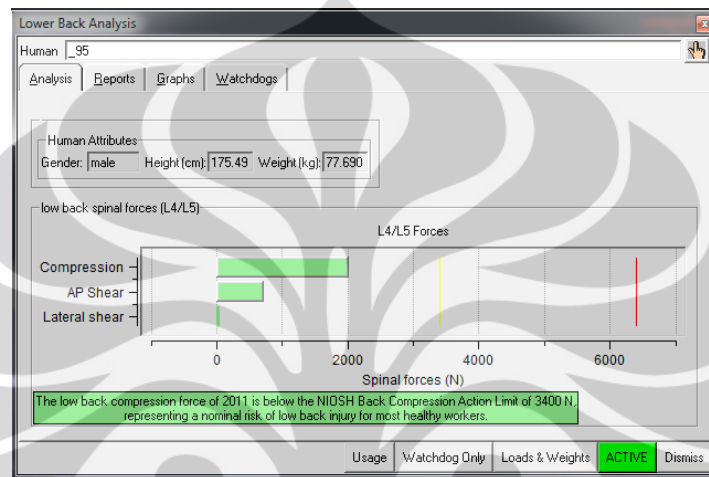
Gambar 4.3 Grafik SSP Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

Pada bagian batang tubuh (torso), pinggul (hip), dan lutut (knee) diagramnya berwarna merah hal ini dikarenakan gerakan yang dilakukan pada pintu darurat kendaraan tempur ini memang benar-benar extreme dan cuma tentara yang terlatih lah yang mampu mengerjakan ini.

4.1.2 Lower Back Analysis (LBA)

Lower 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 4.4 merupakan hasil dari nilai LBA dari desain aktual pintu darurat penumpang kendaraan tempur.



Gambar 4.4 Grafik LBA Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

Gambar 4.4 merupakan hasil nilai LBA yang diperoleh untuk konfigurasi desain pintu darurat actual pada kendaraan tempur lapis baja APC. Dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk konfigurasi 1 ini, resiko 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. Seperti yang ditunjukkan pada grafik, nilai LBA pada konfigurasi ini adalah 2011 (lebih kecil dibandingkan *Compression Action Limit* menurut standar NIOSH). Walaupun terlihat lebih kecil tetapi angka ini cukup besar untuk mempengaruhi dan membuat resiko terjadinya cedera pada tulang belakang.

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 4.1 di bawah ini menjelaskan tentang deskripsi kode OWAS.

Tabel 4.1 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

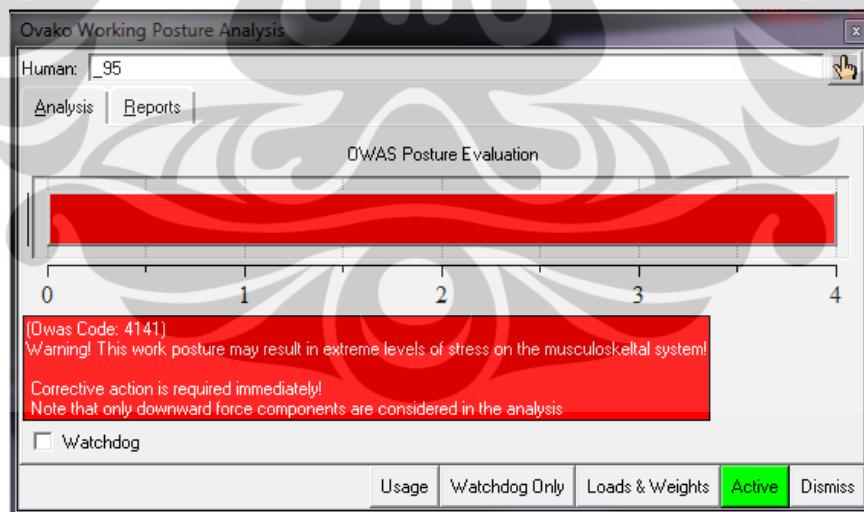
Kombinasi dari kode OWAS diatas akan menghasilkan suatu nilai total yang menunjukkan tingkat urgensi pengambilan suatu aksi perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera pada pekerja. Adapun kategori nilai OWAS total yang

menunjukkan tingkat urgensi perlunya dilakukan perbaikan dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

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



Gambar 4.5 Hasil OWAS Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa hasil dari nilai OWAS nya adalah 4. Ini merupakan hasil tertinggi dari keseluruhan penilaian pada nilai OWAS. Hal ini merupakan hasil *extreme* pada penilaiannya dan dibutuhkan tindakan perbaikan segera mungkin karena secara nyata dapat menyebabkan gangguan pada *musculoskeletal* system. Skor OWAS ini memiliki nilai 4141 dimana penjelasannya adalah :

1. Postur bagian punggung masuk dalam kategori nilai 4, yang menunjukkan bahwa batang tubuh bagian belakang melakukan pekerjaan membungkuk dan berputar. Sebuah pekerjaan yang sulit dan tidak nyaman melakukan pekerjaan yang membutuhkan koordinasi artikulasi gerakan tubuh bagian belakang yang membungkuk dan berputar.
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 4, 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.

Setelah nilai OWAS didapat, selanjutnya nilai ini akan dimasukan ke perhitungan PEI yang akan menjadi pembanding konfigurasi lainnya.

4.1.4 Hasil Rapid Upper Limb Assesment (RULA)

Rapid Upper Limb Assessment merupakan suatu metode untuk mengevaluasi tingkat resiko cedera dan gangguam 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 4.6 di bawah ini merupakan hasil RULA untuk desain pintu darurat penumpang kendaraan tempur aktual.

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

Body Group A Posture Rating		Body Group B Posture Rating	
Upper arm:	2	Neck:	4
Lower arm:	3	Trunk:	3
Wrist:	3	Total:	6
Wrist Twist:	2		
Total:	4		

Muscle Use:	Normal, no extreme use	Muscle Use:	Normal, no extreme use
Force/Load:	< 2 kg intermittent load	Force/Load:	< 2 kg intermittent load
Arms:	Not supported		

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

Grand Score: 6
Action: Investigation and changes are required soon.

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

Gambar 4.6 Hasil RULA Desain Aktual Pintu Darurat Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

Dari gambar 4.5 diatas kita dapat melihat nilai RULA dari desain aktual tersebut yaitu 6 untuk nilai 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 95 yaitu 2,861 dan waktu untuk keluar adalah 16,06 detik. Nilai PEI dan waktu ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai PEI dan waktu pada konfigurasi lain, yang kemudian dicari konfigurasi desain yang memiliki nilai PEI terkecil dan waktu tercepat. Nilai PEI yang makin kecil menunjukkan bahwa desain pintu kabin penumpang kendaraan tempur makin ergonomis. Tabel 4.3 di bawah ini menunjukkan hasil rekapitulasi nilai SSP, LBA, OWAS dan RULA serta perhitungan nilai PEI dan Waktu untuk konfigurasi 1 pintu kabin penumpang kendaraan tempur untuk persentil 95.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Desain Aktual

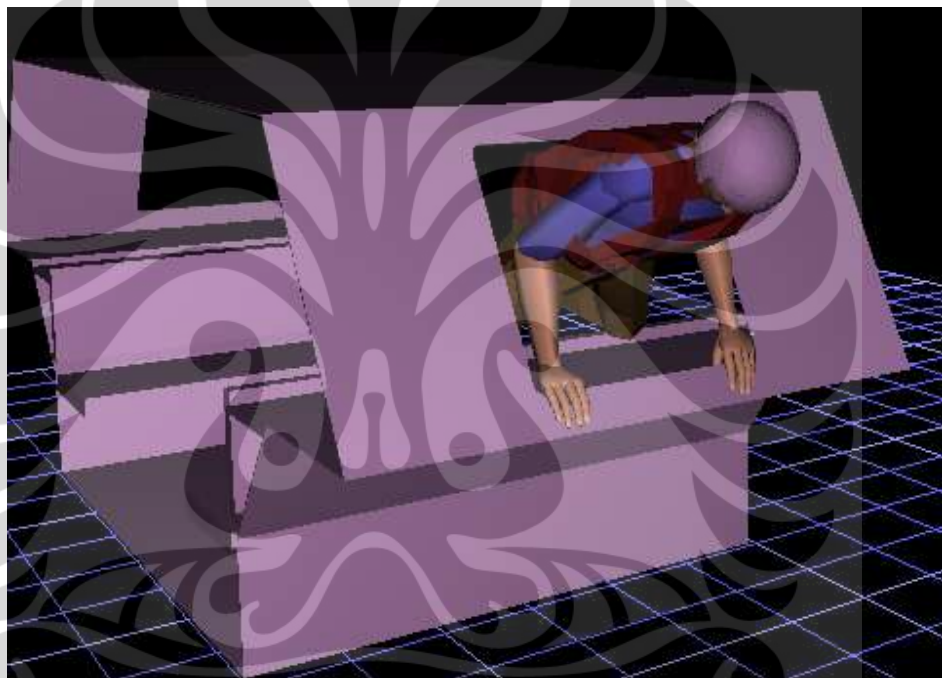
Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI	Waktu
95	2011N	4	6	2,861	16,06 Second

4.2 Analisis Rancangan Konfigurasi

Pembuatan konfigurasi desain pintu darurat kendaraan tempur ini dilakukan dengan mengubah ukuran pintu dari desain aktual pintu darurat kendaraan tempur APC. Desain pintu yang dibuat didasarkan oleh spasi yang masih tersedia pada bagian pintu itu. Setiap desain konfigurasi akan disimulasikan dalam ukuran persentil 95 Tentara Nasional Indonesia.

4.2.1 Analisa Rancangan Konfigurasi 2

Pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 2 yaitu desain pintu darurat kendaraan tempur APC dengan tinggi atas dan bawah pintu di tambah sebesar 2,5 cm ke atas dan 2.5 cm ke bawah. Salah satu alasan kenapa harus 2,5 cm pada setiap sisi, karena penambahan konfigurasi dilihat dari sisa spasi yang masih kosong pada bagian pintu darurat kendaraan tempur APC ini. Desain konfigurasi 2 pintu darurat kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi 2 ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual yaitu 1985 N. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 2 untuk *critical posture* tidak mengalami perubahan yaitu 4. Untuk nilai RULA pada konfigurasi 2 ini memiliki nilai yang sama pada desain aktual yaitu 6. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan yang cukup ekstrim.

Seperti terlihat pada tabel 4.4 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 2 berturut-turut sebesar 2,853 dan waktu untuk keluar menggunakan pintu darurat pada konfigurasi 2 yaitu 15,74 second. Hal ini menunjukkan bahwa pintu darurat

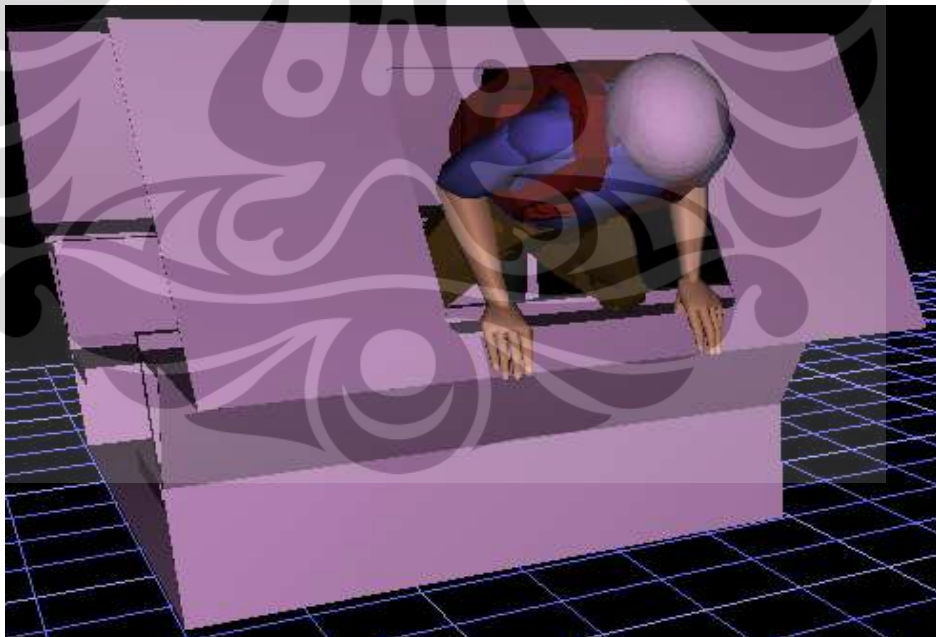
kendaraan tempur APC konfigurasi 2 relatif lebih ergonomis dan waktu untuk keluar lebih cepat dibandingkan dengan desain aktual.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 2

Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI	Waktu
95	1985 N	4	6	2,853	15,74 Second

4.2.2 Analisa Rancangan Konfigurasi 3

Pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 3 yaitu desain pintu darurat kendaraan tempur APC dengan lebar kiri dan kanan pintu di tambah sebesar 2,5 cm ke kiri dan 2.5 cm ke kanan. Salah satu alasan kenapa harus 2,5 cm pada setiap sisi, karena penambahan konfigurasi dilihat dari sisa spasi yang masih kosong pada bagian pintu darurat kendaraan tempur APC ini. Desain konfigurasi 3 pintu darurat kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi 3 ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual yaitu 1959 N. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 3 untuk *critical posture* tidak mengalami perubahan yaitu 4. Untuk nilai RULA pada konfigurasi 3 ini memiliki nilai yang sama pada desain aktual yaitu 6. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan yang cukup ekstrim.

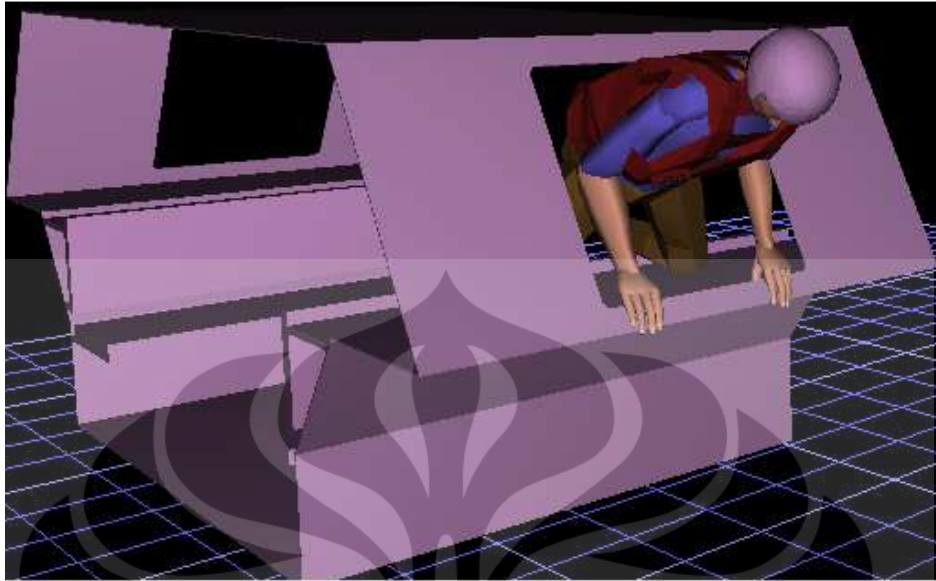
Seperti terlihat pada tabel 4.5 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 3 berturut-turut sebesar 2,787 dan waktu untuk keluar menggunakan pintu darurat pada konfigurasi 3 yaitu 15,09 second. Hal ini menunjukkan bahwa pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 3 relatif lebih ergonomis dan waktu untuk keluar lebih cepat dibandingkan dengan desain aktual.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 3

Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI	Waktu
95	1959 N	4	6	2,787	15,09 Second

4.2.3 Analisa Rancangan Konfigurasi 4

Pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 4 yaitu desain pintu darurat kendaraan tempur APC dengan semua lebar atas, bawah, kiri dan kanan di tambahkan sebesar 2,5cm . Salah satu alasan kenapa harus 2,5 cm pada setiap sisi, karena penambahan konfigurasi dilihat dari sisa spasi yang masih kosong pada bagian pintu darurat kendaraan tempur APC ini. Desain konfigurasi 4 pintu darurat kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi 4 ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual yaitu 1957 N. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 4 untuk *critical posture* tidak mengalami perubahan yaitu 4. Untuk nilai RULA pada konfigurasi 4 ini memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 5. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan yang cukup ekstrim.

Seperti terlihat pada tabel 4.6 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 4 berturut-turut sebesar 2,580 dan waktu untuk keluar menggunakan pintu darurat pada konfigurasi 4 yaitu 14,84 second. Hal ini menunjukkan bahwa pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 4 relatif lebih ergonomis dan waktu untuk keluar lebih cepat dibandingkan dengan desain aktual.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 4

Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI	Waktu
95	1957 N	4	5	2,580	14,84 Second

4.2.4 Analisa Rancangan Konfigurasi 5

Pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 5 yaitu desain pintu darurat kendaraan tempur APC dengan tinggi atas dan bawah pintu di tambah sebesar 5 cm ke atas dan 5 cm ke bawah. Salah satu alasan kenapa harus 5 cm pada setiap sisi, karena penambahan konfigurasi dilihat dari sisa spasi yang masih kosong dan jarak maksimal yang dapat diperlebar hanya bisa sampai 5cm pada bagian pintu darurat kendaraan tempur APC ini. Desain konfigurasi 5 pintu darurat kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi 5 ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual yaitu 1623 N. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 5 untuk *critical posture* mengalami perubahan dibandingkan nilai OWAS aktual yaitu 3. Untuk nilai RULA pada konfigurasi 5 ini memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 5. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan yang cukup ekstrim.

Seperti terlihat pada tabel 4.7 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 5 berturut-turut sebesar 2,237 dan waktu untuk keluar menggunakan pintu darurat pada konfigurasi 5 yaitu 14,52second. Hal ini menunjukkan bahwa pintu darurat kendaraan

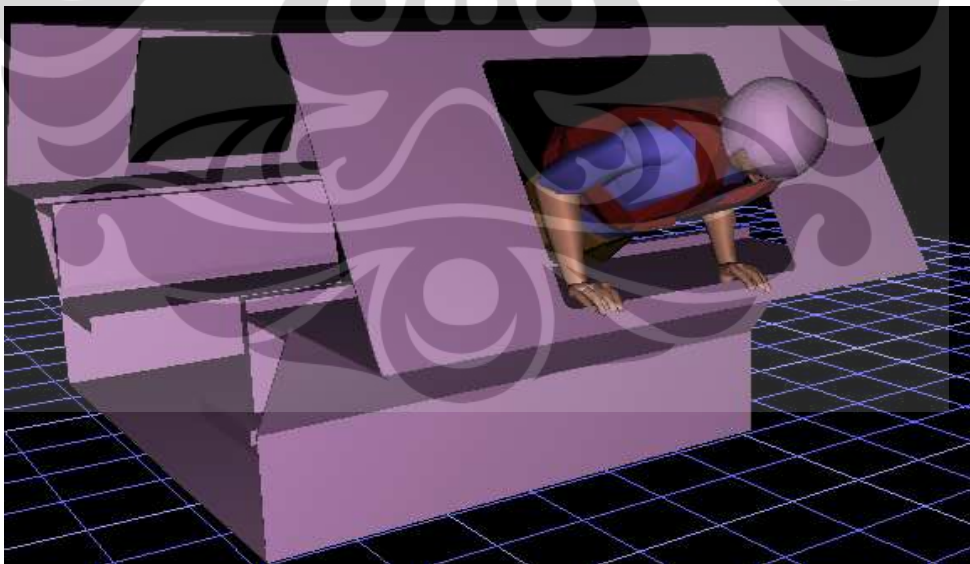
tempur APC konfigurasi 5 relatif lebih ergonomis dan waktu untuk keluar lebih cepat dibandingkan dengan desain aktual.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 5

Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI	Waktu
95	1623 N	3	5	2,237	14,52 Second

4.2.5 Analisa Rancangan Konfigurasi 6

Pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 6 yaitu desain pintu darurat kendaraan tempur APC dengan lebar kiri dan kanan pintu di tambah sebesar 5 cm ke kiri dan 5 cm ke kanan. Salah satu alasan kenapa harus 5 cm pada setiap sisi, karena penambahan konfigurasi dilihat dari sisa spasi yang masih kosong dan jarak maksimal yang dapat diperlebar hanya sampai 5cm pada bagian pintu darurat kendaraan tempur APC ini. Desain konfigurasi 6 pintu darurat kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi 6 ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual yaitu 1649 N. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 6 untuk *critical posture* mengalami perubahan dibandingkan nilai OWAS aktual yaitu 3. Untuk nilai RULA pada konfigurasi 6 ini memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 5. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan yang cukup ekstrim.

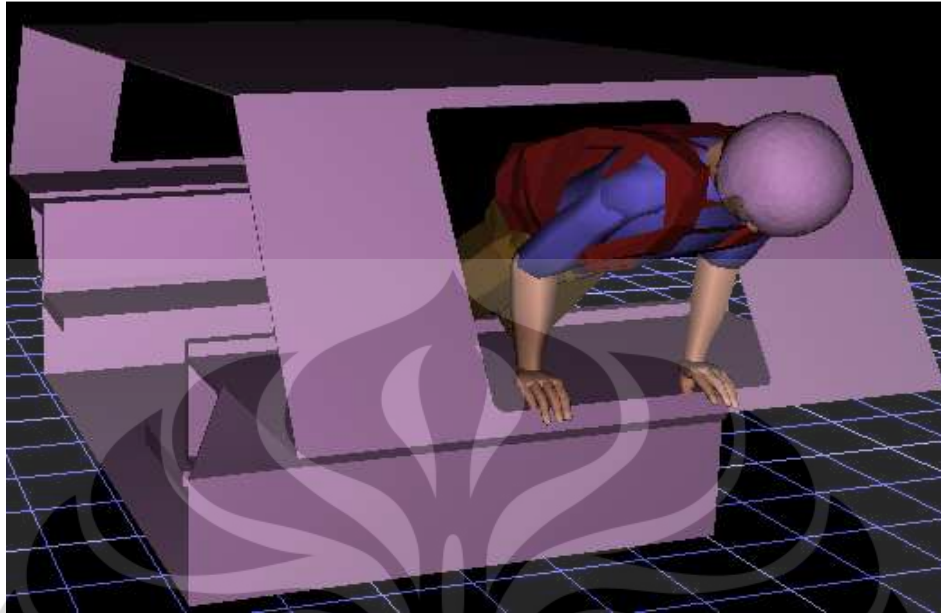
Seperti terlihat pada tabel 4.8 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 6 berturut-turut sebesar 2,24 dan waktu untuk keluar menggunakan pintu darurat pada konfigurasi 6 yaitu 15,12 second. Hal ini menunjukkan bahwa pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 6 relatif lebih ergonomis dan waktu untuk keluar lebih cepat dibandingkan dengan desain aktual.

Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 6

Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI	Waktu
95	1649 N	3	5	2,24	15,12 Second

4.2.6 Analisa Konfigurasi 7

Pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 7 yaitu desain pintu darurat kendaraan tempur APC dengan semua lebar atas, bawah, kiri dan kanan di tambahkan sebesar 5cm. Salah satu alasan kenapa harus 5 cm pada setiap sisi, karena penambahan konfigurasi dilihat dari sisa spasi yang masih kosong dan jarak maksimal yang dapat diperlebar hanya sampai 5cm pada bagian pintu darurat kendaraan tempur APC ini. Desain konfigurasi 7 pintu darurat kendaraan tempur terlihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Rancangan Konfigurasi 7 pada Manekin Persentil 95

Desain konfigurasi 7 ini memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual yaitu 1623 N. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 7 untuk *critical posture* mengalami perubahan dibandingkan nilai OWAS aktual yaitu 3. Untuk nilai RULA pada konfigurasi 7 ini memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual yaitu 4. Postur SSP pada konfigurasi ini masih dalam keadaan yang cukup ekstrim.

Seperti terlihat pada tabel 4.8 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 7 berturut-turut sebesar 2,031 dan waktu untuk keluar menggunakan pintu darurat pada konfigurasi 7 yaitu 13,18 second. Hal ini menunjukkan bahwa pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi 7 relatif lebih ergonomis dan waktu untuk keluar lebih cepat dibandingkan dengan desain aktual.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan PEI dan Waktu Konfigurasi 7

Persentil	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI	Waktu
95	1623 N	3	4	2,031	13,18 Second

4.3 Analisis Perbandingan

Pada bagian ini akan di jelaskan analisis perbandingan antara hasil PEI yang diperoleh dari setiap rekapitulasi setiap konfigurasi.

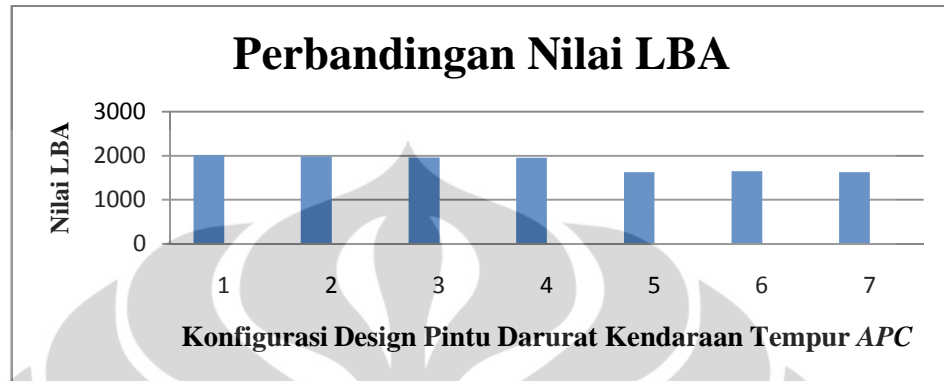
4.3.1 Analisa Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

Setelah melakukan perhitungan nilai PEI dari desain aktual pintu darurat penumpang kendaraan tempur APC yang juga merupakan konfigurasi 1 dari penelitian ini sampai dengan konfigurasi 7. Selanjutnya ke tujuh 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 4.13 dibawah ini merupakan grafik perbandingan nilai LBA seluruh konfigurasi. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai LBA yang paling besar pada konfigurasi 1. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa konfigurasi 1 (kondisi aktual) memiliki resiko cedera pada tulang belakang paling besar. Hal ini dikarenakan posture tubuh manekin yang terlalu bungkuk dan menyesuaikan bentuk ukuran pintu darurat yang kecil ketika keluar menggunakan pintu darurat penumpang kendaraan tempur.

Untuk nilai LBA yang paling kecil terdapat pada konfigurasi yang sama yaitu 5 dan 7. Hal ini berarti konfigurasi 5 dan 7 memiliki resiko cedera pada tulang belakang paling kecil untuk persentil 95 ukuran tubuh. Nilai LBA yang kecil pada konfigurasi 5 dan 7 ini dikarenakan postur manekin yang tidak terlalu membungkuk ketika keluar menggunakan pintu darurat penumpang kendaraan tempur. Pada konfigurasi 5 ini, tinggi pintu mengalami pembesaran keatas sebesar 5cm dan

kebawah sebesar 5cm, sedangkan konfigurasi 7 semua sisi atas, bawah, kanan dan kiri sebesar 5cm.



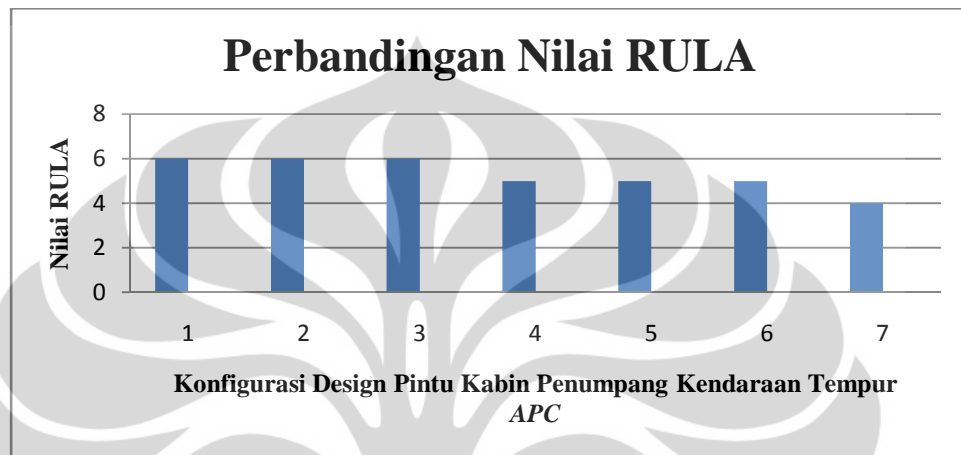
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi

Gambar 4.14 merupakan grafik perbandingan nilai OWAS seluruh konfigurasi. Dari grafik tersebut kita dapat melihat nilai OWAS yang paling tinggi yaitu bernilai 4. Pada grafik ini terlihat nilai OWASnya yang relative konstan dibandingkan dengan nilai LBA. Dikarenakan ketika keluar menggunakan pintu darurat kendaraan tempur postur kaki manekin yang sedikit bengkok untuk menyesuaikan pijakan dan bentuk pintu darurat. Nilai OWAS terkecil yaitu 3 terdapat pada konfigurasi 5, 6 dan 7.



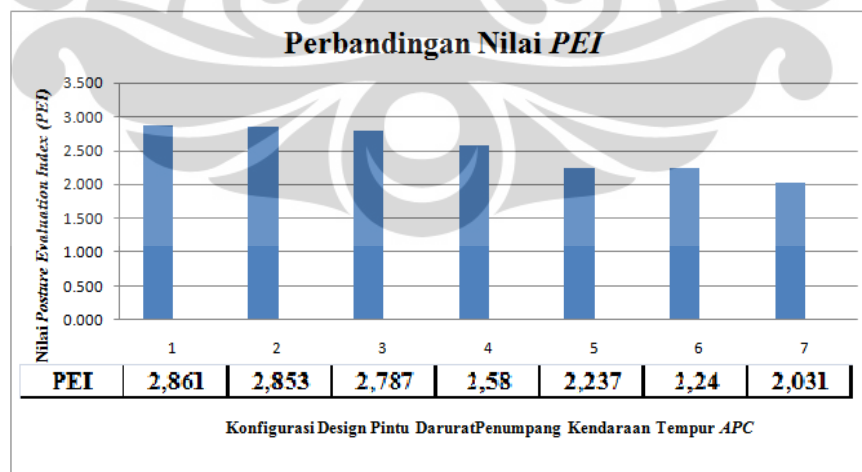
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi

Dari Gambar 4.15 dibawah ini dapat dilihat range nilai RULA berkisar antara 4 sampai dengan 6. Nilai RULA yang mencapai nilai 6 terjadi pada konfigurasi 1, 2 dan 3. Hal ini terjadi karena posisi *neck* dan *trunk* yang lumayan ekstrim dengan kondisi pintu darurat yang masih dalam keadaan aktual.



Gambar 4.15 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 4.16 merupakan grafik perbandingan nilai PEI seluruh konfigurasi desain pintu darurat penumpang kendaraan tempur.



Gambar 4.16 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 terdapat pada konfigurasi 1. Nilai PEI yang besar pada 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 darurat penumpang kendaraan tempur yang tidak ergonomis.

Nilai OWAS dan RULA juga mempengaruhi hasil perhitungan PEI yang diperoleh. Hal ini terlihat bahwa nilai OWAS yang paling besar adalah konfigurasi 1, 2, 3 dan 4 sebesar 4. Sedangkan Nilai OWAS yang paling kecil adalah konfigurasi 5, 6 dan 7 sebesar 4. Untuk nilai RULA yang paling besar adalah konfigurasi 1, 2, dan 3 sebesar 6. Sedangkan Nilai RULA terkecil adalah konfigurasi 7 sebesar 4.

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil terdapat pada konfigurasi 7. Nilai PEI yang diperoleh yaitu 2,031 yang berarti desain konfigurasi 7 merupakan desain konfigurasi pintu darurat yang paling ergonomis berdasarkan data antropometri Indonesia. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan desain konfigurasi 7 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 20 orang responden yang diminta untuk masuk melalui ketujuh konfigurasi frame pintu darurat kendaraan tempur.

Posisi yang di ambil dari detik pertama adalah posisi duduk. Kemudian responden diminta untuk melewati frame pintu darurat tersebut secepat mungkin. Dan waktu dihentikan ketika kedua kaki responden sudah berada di atas tanah.

Setelah diperoleh waktu ke dua puluh responden, kemudian semua waktu untuk setiap konfigurasi di ambil rata-rata waktunya. Berikut ini adalah tabel 4.10 hasil rata-rata waktu yang didapat:

Tabel 4.10 Waktu Rata-Rata Simulasi Memasuki Pintu Darurat

Waktu Rata-Rata (S)	Konfigurasi						
	1	2	3	4	5	6	7
	16,06	15,74	15,09	14,84	14,52	15,12	13,18

Dari table diatas dapat dilihat bahwa waktu yang paling tinggi terdapat pada konfigurasi ke 1. Desain konfigurasi ke 1 merupakan desain konfigurasi yang aktual, hal ini memiliki pengaruh dalam kecepatan responden ketika masuk ke dalam frame pintu darurat sehingga waktu yang dihasilka menjadi besar.

Sedangkan konfigurasi yang memiliki waktu tercepat ketika masuk ke dalam frame pintu darurat yaitu konfigurasi 7. Konfigurasi 7 yaitu konfigurasi dengan desain semua sisi ditambahkan 5 cm. Lebar keseluruhan sisi memiliki pengaruh dalam kecepatan responden ketika melalui pintu darurat.

Dari hasil simulasi waktu ini dapat diambil kesimpulan bahwa desain konfigurasi 7 merupakan desain yang paling bagus jika diukur dari segi waktu yang diperlukan untuk keluar dari pintu darurat kendaraan tempur. Hasil dari simulasi waktu sama dengan hasil perhitungan PEI yang telah dilakukan.

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 7 merupakan desain konfigurasi yang paling ergonomis.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Konfigurasi 7 merupakan konfigurasi desain pintu darurat kendaraan tempur APC yang terbaik dari sisi ergonomis dengan perubahan tinggi atas dan bawah di tambah 5 cm dan lebar kanan dan kiri di tambah 5cm. Nilai PEI yang dihasilkan dari desain pintu darurat kendaraan tempur APC konfigurasi ke tujuh yaitu sebesar 2,031. Nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi ke tujuh ini merupakan nilai PEI yang paling rendah dibandingkan dengan konfigurasi desain pintu darurat kendaraan tempur APC lainnya. Selain nilai PEI yang kecil, waktu yang diperlukan untuk melewati frame pintu darurat kendaraan tempur APC adalah 13,18 detik. Hal ini menunjukkan bahwa desain dengan konfigurasi ke tujuh tersebut paling ergonomis berdasarkan *Posture Evaluation Index* dan waktu terkecil.

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.

Selain itu perlu dilakukannya proses kalibrasi ulang secara total pada alat *motion capture* karena dari hari kehari database pada *motion capture* semakin banyak sehingga membuat alat sensitive dan berat dalam melakukan pengolahan pada *motion capture*.

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*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Kalawsky, R. (1993b). *Critical Aspects of Visually Coupled Systems*. In: Earnshaw, R., Gigante, M. and Jones, H. (eds.), *Virtual Reality Systems*. London: Academic Press, h. 302–312.
- Karwowski, W., Marras, W.S. (2003). *Occupational Ergonomic Principles of Work Design*. Boca Raton: CRC Press. Pg 25-1 – 26-12.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Mark Sanders. S dan Ernest J McCormick,(1993). *Human Factor in Engineering and Design*, Attention (pp. 4), Singapore: MCGraw-Hill Inc.
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110*.

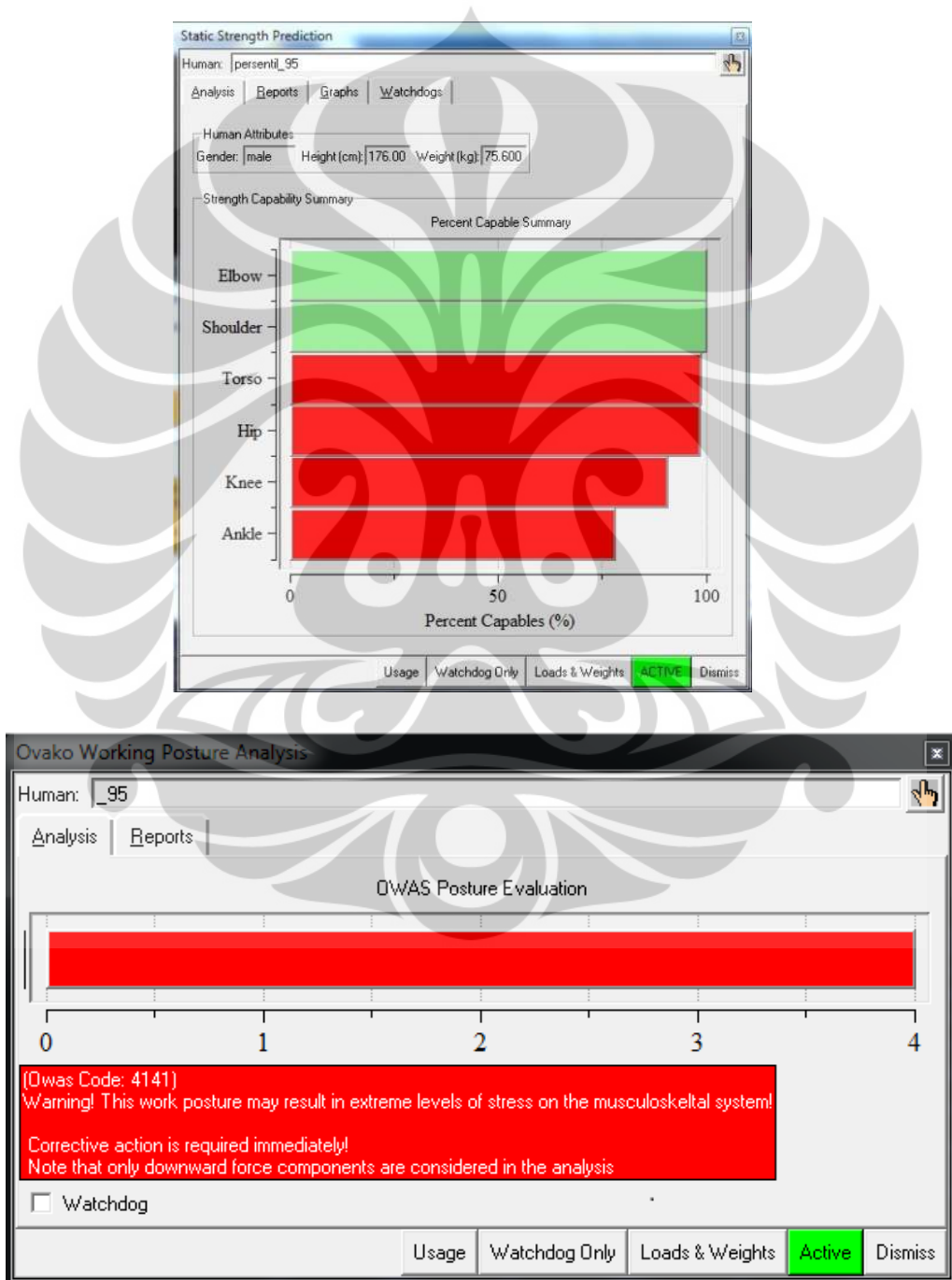
- Peter van der Meulen and Andreas Seidl (2007), *Ramsis – The Leading Cad Tool for Ergonomic Analysis of Vehicles*, Human Solutions GmbH Europaallee, 10 67657. Kaiserslautern. Germany
- Reed, Matthew P., Ebert, Sheila M., & Hoffman, Suzanne G. (2008). Modeling Foot Trajectories for Heavy Truck Ingress 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

Hasil Analisis Jack TAT

Konfigurasi 2



Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 0
 Lower arm: 2
 Wrist: 3
 Wrist Twist: 2
 Total: 3

Body Group B Posture Rating
 Neck: 5
 Trunk: 2
 Total: 7

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

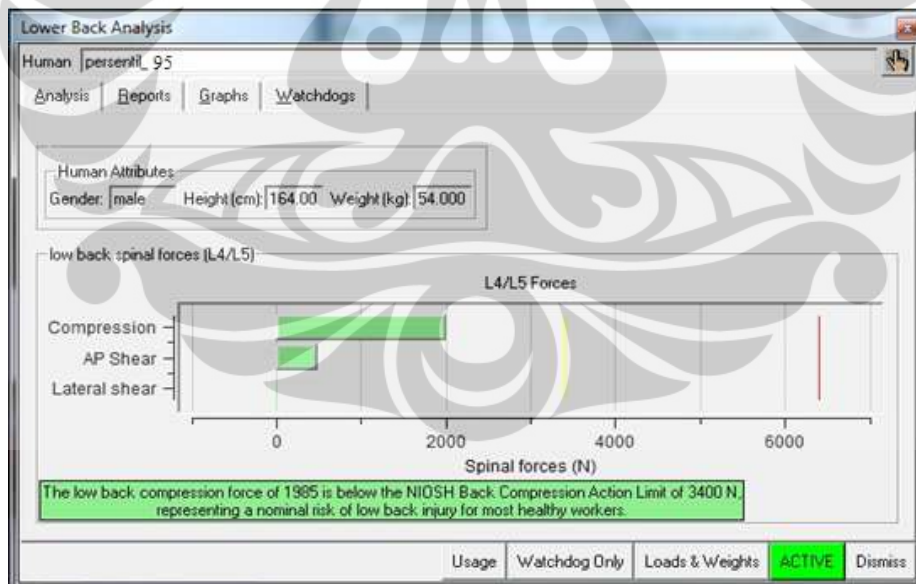
Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

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

Grand Score: 6
 Action: Investigation and changes are required soon.

Update Analysis

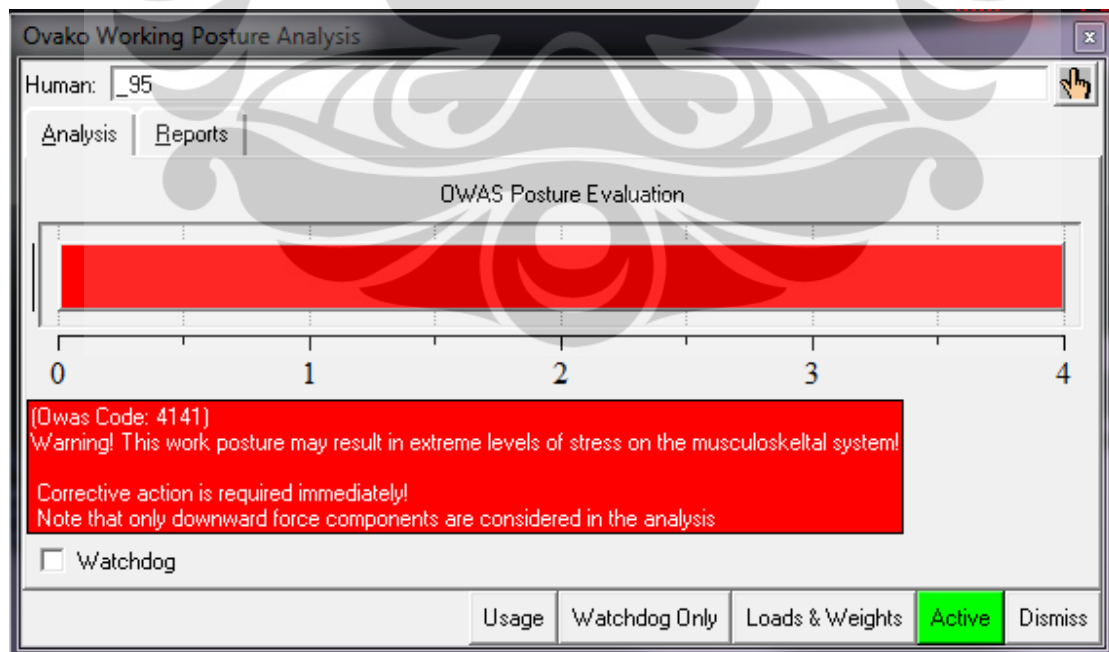
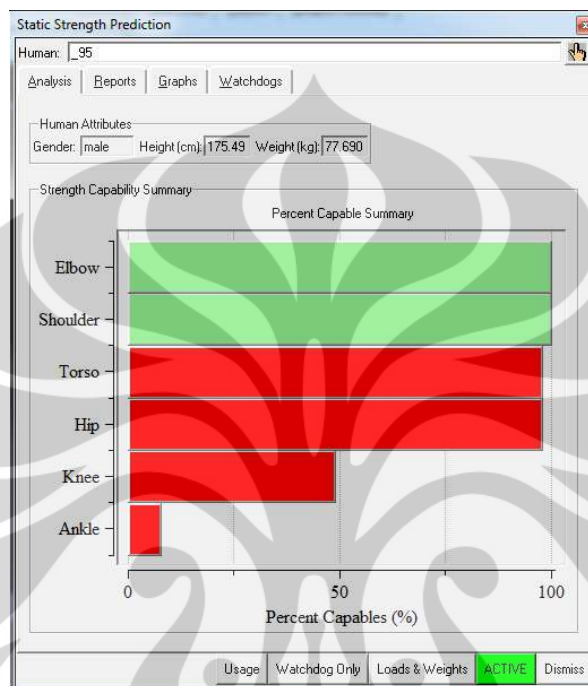
Usage Dismiss



Lampiran 1

Hasil Analisis Jack TAT (Lanjutan)

Konfigurasi 3



Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 0
 Lower arm: 2
 Wrist: 3
 Wrist Twist: 2
 Total: 3

Body Group B Posture Rating

Neck: 5
 Trunk: 2
 Total: 7

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

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

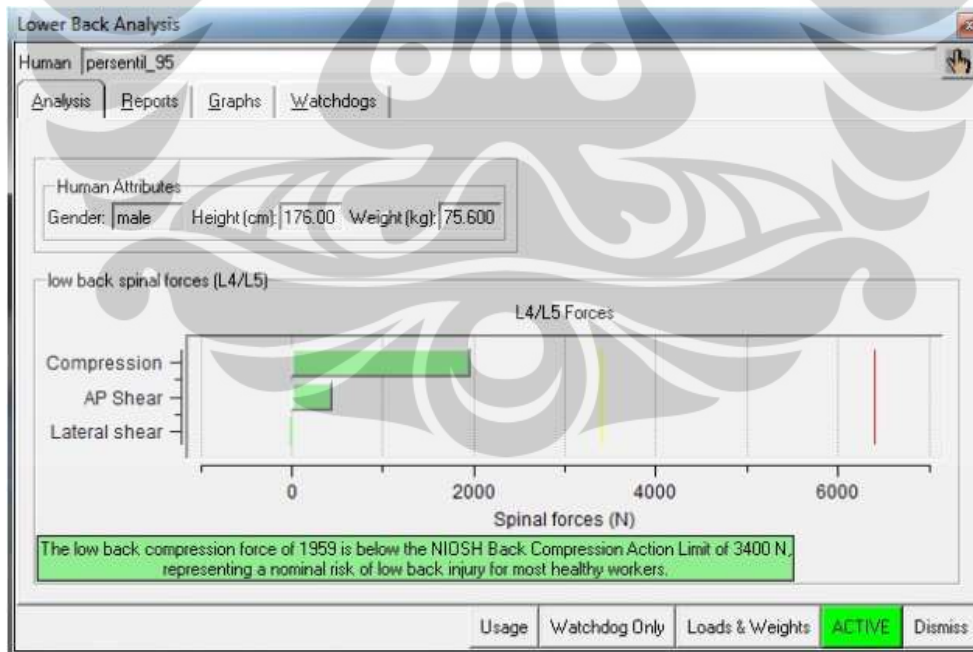
Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 6
 Action: Investigation and changes are required soon.

Update Analysis

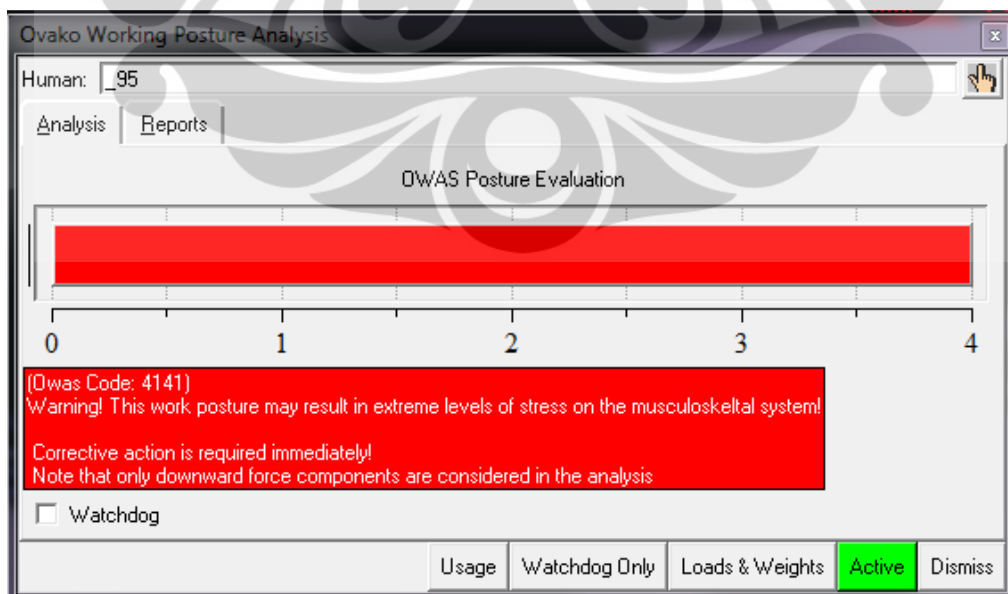
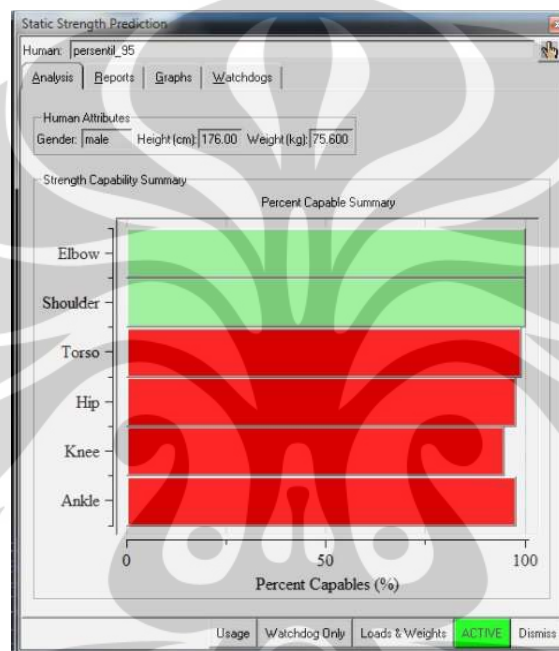
Usage Dismiss



Lampiran 1

Hasil Analisis Jack TAT (Lanjutan)

Konfigurasi 4



Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 2
 Lower arm: 3
 Wrist: 3
 Wrist Twist: 2
 Total: 4

Body Group B Posture Rating
 Neck: 1
 Trunk: 4
 Total: 5

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

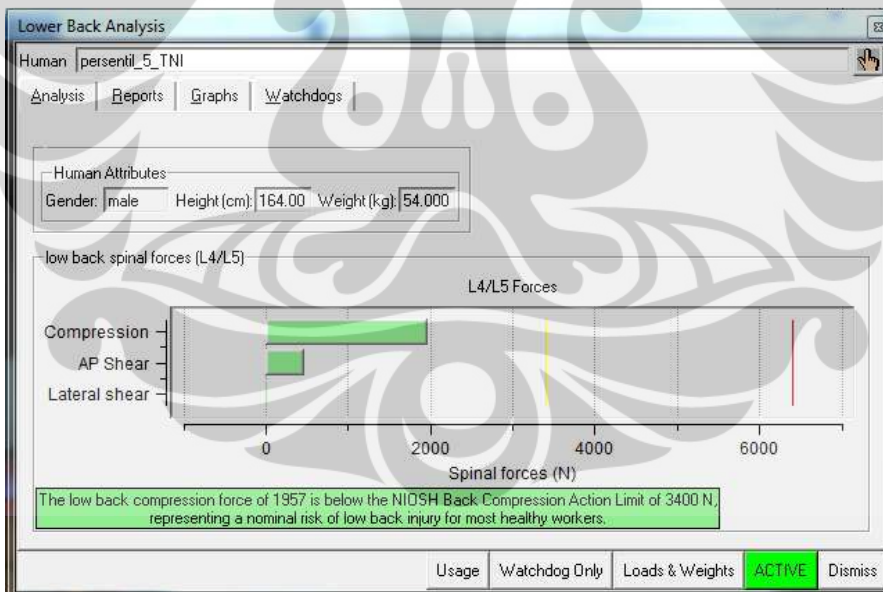
Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

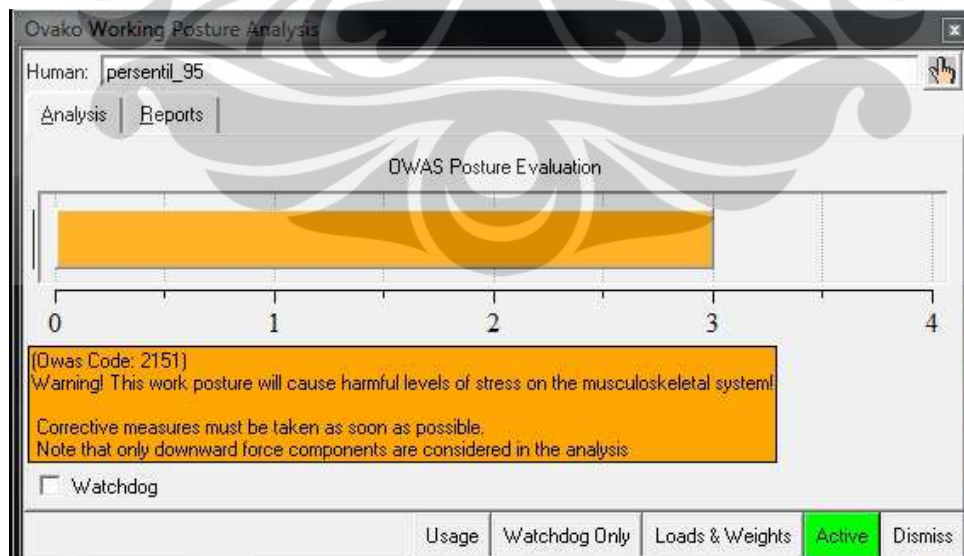
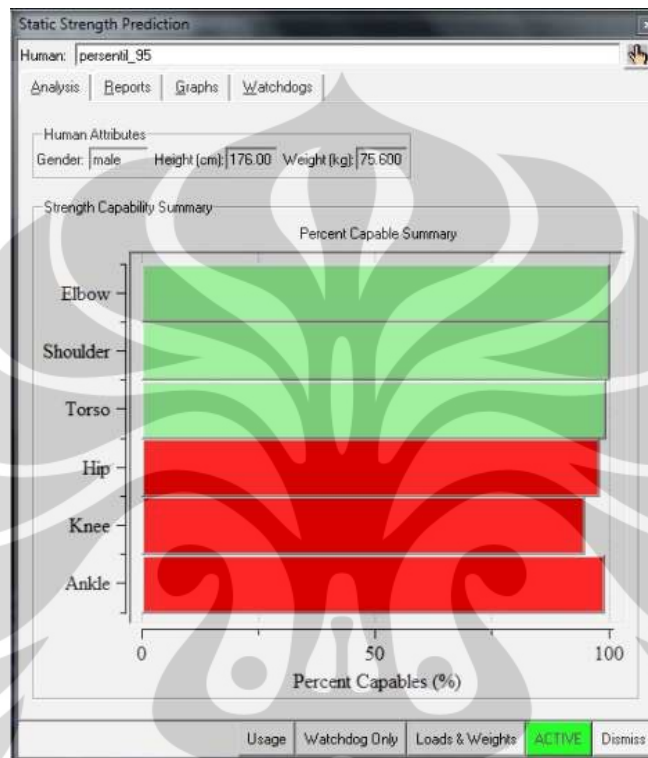
Legs and Feet Rating
 Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

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

Update Analysis

Usage Dismiss





Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating

Upper arm:	2
Lower arm:	3
Wrist:	3
Wrist Twist:	2
Total:	4

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

Body Group B Posture Rating

Neck:	1
Trunk:	4
Total:	5

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

Legs and Feet Rating

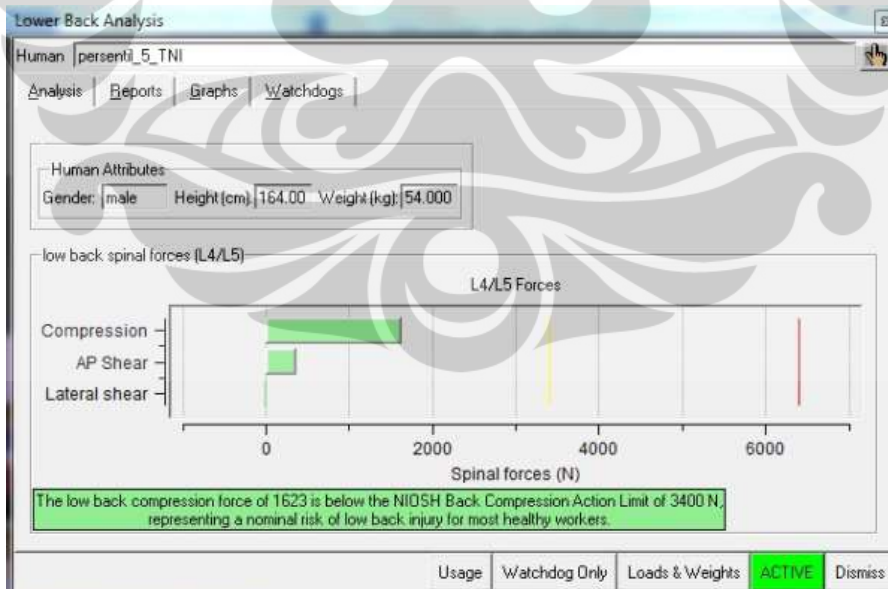
Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

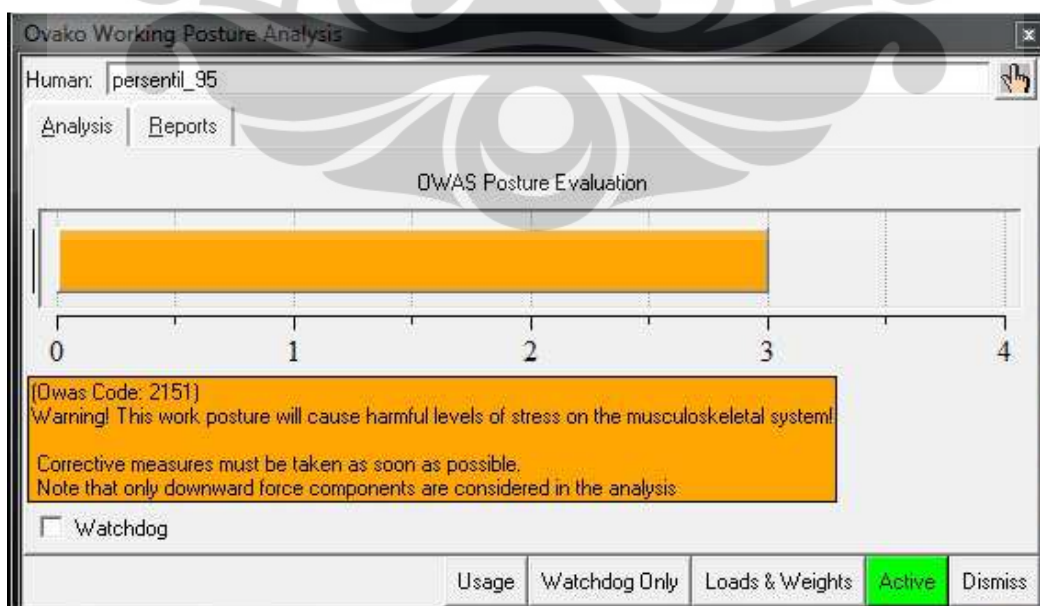
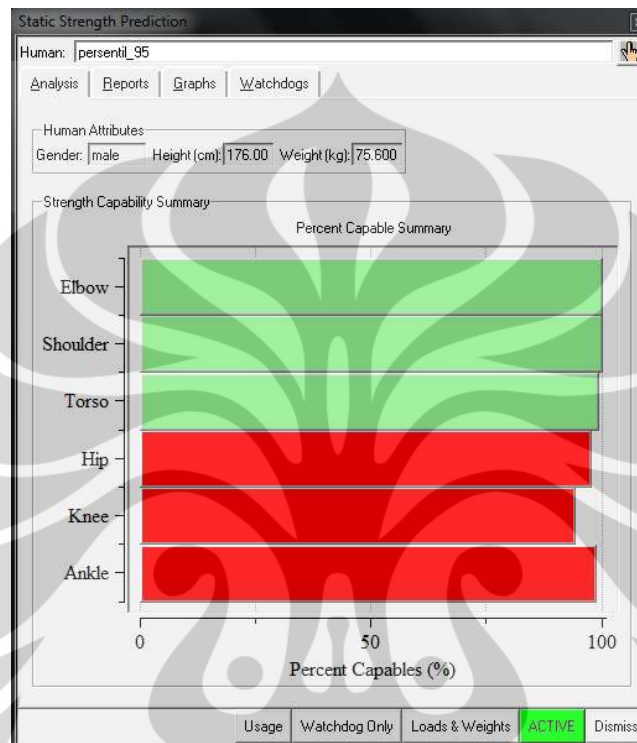
Grand Score: 5

Action: Investigation and change are required now

Update Analysis

Usage | Dismiss





Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 2
 Lower arm: 3
 Wrist: 3
 Wrist Twist: 2
 Total: 4

Body Group B Posture Rating
 Neck: 1
 Trunk: 4
 Total: 5

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

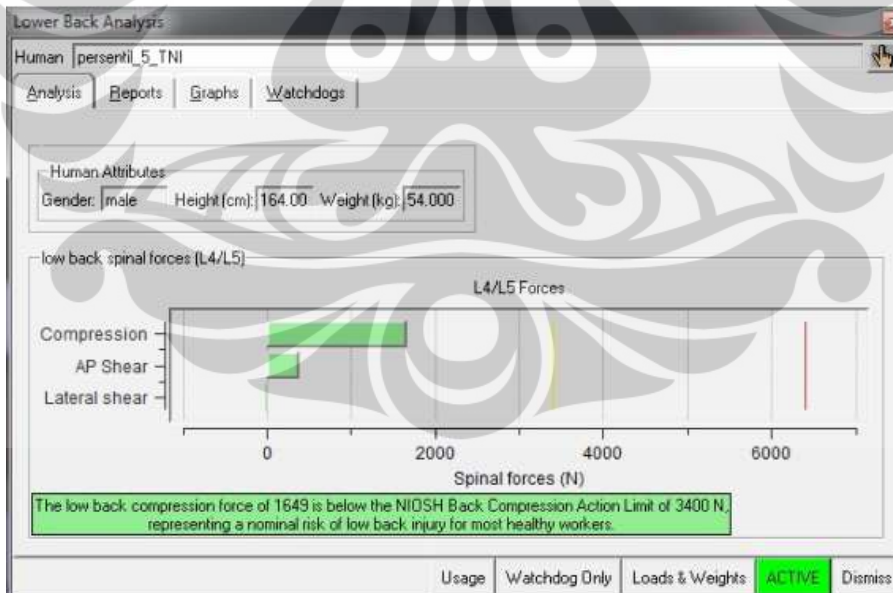
Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

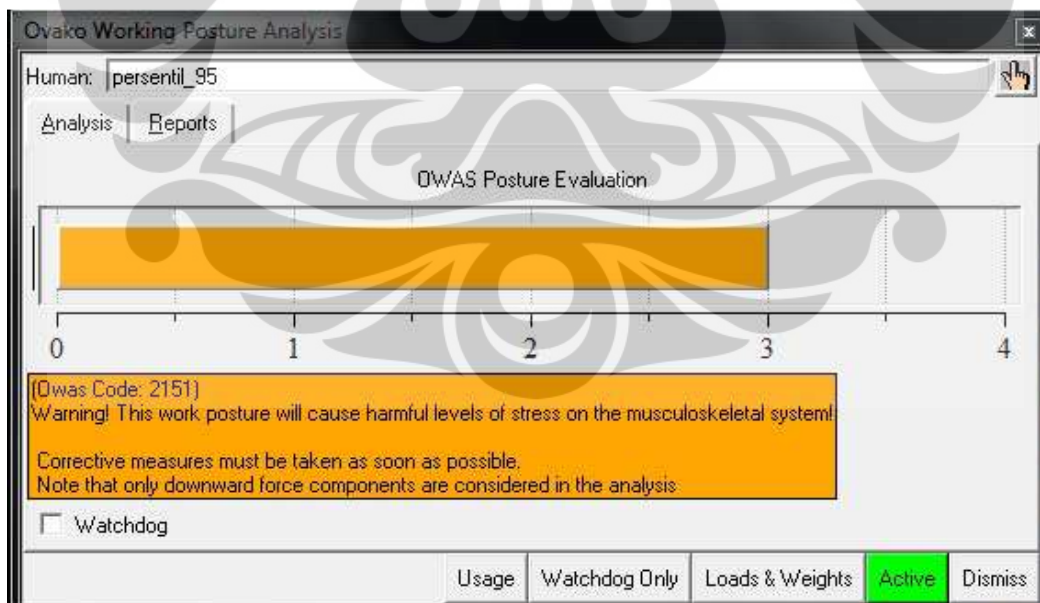
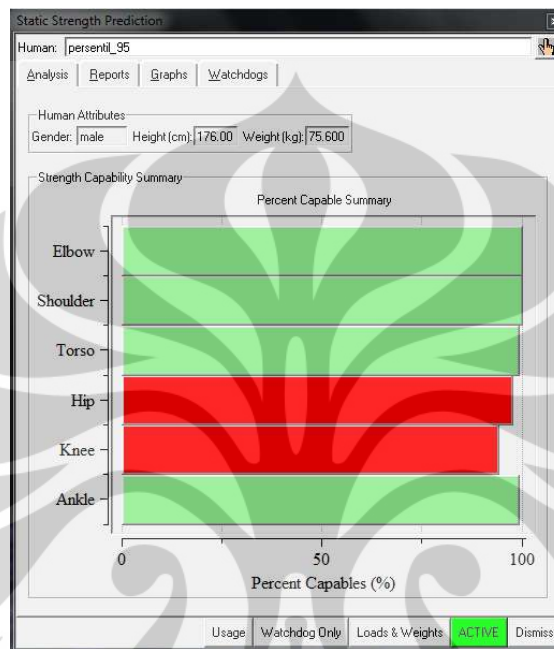
Legs and Feet Rating
 Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 5
 Action: Investigation and change are required now

Update Analysis

Usage Dismiss





Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 2
 Lower arm: 3
 Wrist: 3
 Wrist Twist: 2
 Total: 4

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

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

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

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

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

Update Analysis

Usage Dismiss

