



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN KABIN PENGEMUDI KENDARAAN  
TEMPUR TIPE *ARMORED PERSONNEL CARRIER* YANG  
ERGONOMIS MENGGUNAKAN MODEL *VIRTUAL  
ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

**IVAN G. SIHOMBING  
0706274754**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN KABIN PENGEMUDI KENDARAAN  
TEMPUR TIPE *ARMORED PERSONNEL CARRIER* YANG  
ERGONOMIS MENGGUNAKAN MODEL *VIRTUAL  
ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

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

**IVAN G. SIHOMBING  
0706274754**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Ivan Gunawan Sihombing**

**NPM : 0706274754**

**Tanda tangan :**

**Tanggal : 13 Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Ivan Gunawan Sihombing

NPM : 0706274754

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Perancangan Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Tipe *Armored Personnel Carrier* yang Ergonomis Menggunakan Model *Virtual Environment*

**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 : Prof. Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel, M.Eng.Sc. ( )  
Penguji : Ir. M. Dachyar M.Sc ( )  
Penguji : Ir. Yadrifil M.Sc ( )  
Penguji : Akhmad Hidayatno, ST, MBT ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena hanya oleh berkat dan karunia-Nya yang senantiasa menyertai penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

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

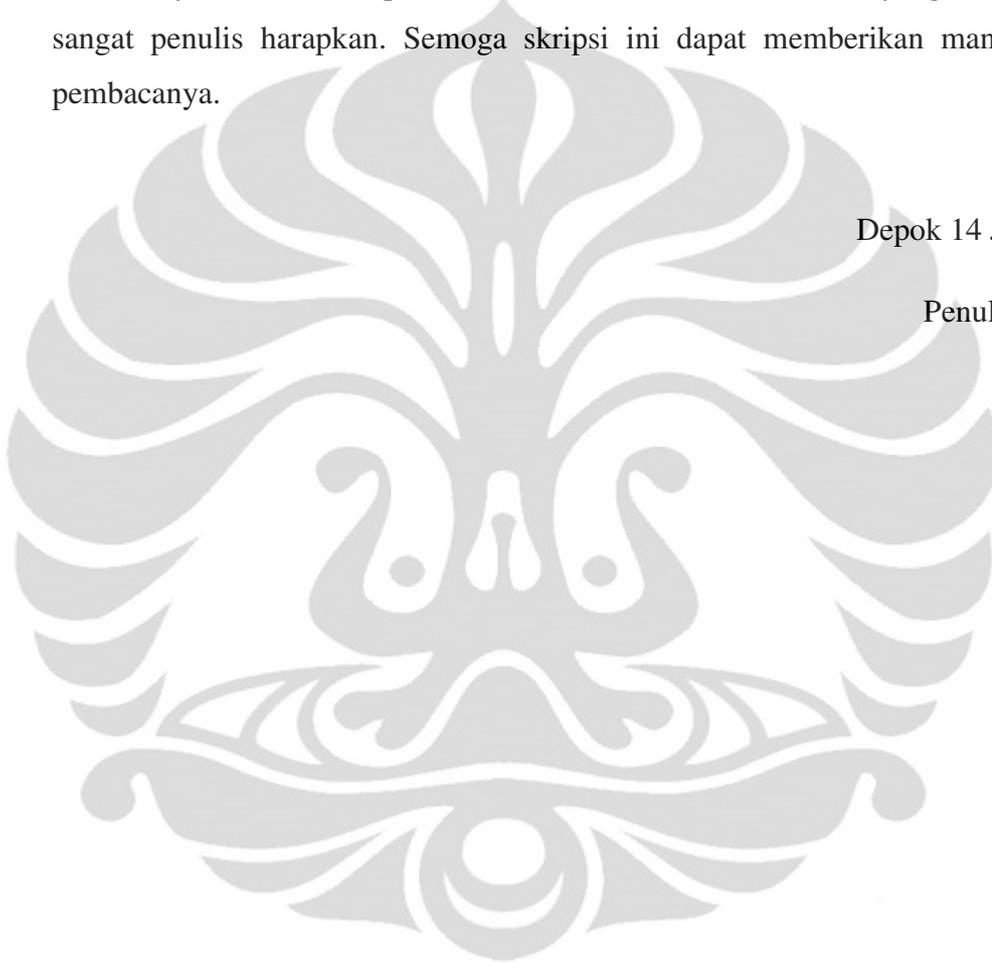
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Teuku Yuri M.Zagloel, M.Eng.Sc. Terima kasih atas segala yang telah bapak berikan selaku dosen pembimbing skripsi; motivasi, arahan, saran, doa.
2. Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE dan Ir. Erlinda Muslim, MEE., Armand Omar Moeis ST, MSc., selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini.
3. Pak Sena Maulana sebagai pembimbing ketika melakukan pengambilan data design aktual kendaraan tempur panser di PT Pindad
4. Kepada Pangdam Jaya beserta staf di Kodam Jaya yang telah membantu dalam perizinan pengambilan data di Yonif Mekanis 201
5. Letnan Sinaga yang telah banyak memberikan bantuan sebagai pembimbing ketika melakukan pengambilan data antropometri personil Tentara Nasional Indonesia Yonif Mekanis 201
6. Personil Tentara Nasional Indonesia (TNI) Yonif Mekanis 201 yang bersedia meluangkan waktunya untuk menjadi responden pengambilan data antropometri.
7. Keluarga yang selalu memberikan perhatian, kasih sayang, dukungan dan dorongan sehingga penulis dapat mencapai tahap seperti sekarang
8. Andrea Coudillo, Dela Agung Septriadi, M. Farouk Akbar, dan R. Yoga Prawiranegara sebagai kawan tim skripsi ergonomi pada kendaraan tempur yang telah saling memberi masukan dan bantuan dalam melakukan penelitian.

9. 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.
10. Pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu di sini.

Akhir kata, penulis mendoakan agar Tuhan memberkati semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Depok 14 Juni 2011

Penulis



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

---

---

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

Nama : Ivan Gunawan Sihombing

NPM : 0706274754

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:

**Perancangan Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Tipe Armoured  
Personnel Carrier Yang Ergonomis Menggunakan Model Virtual  
Environment**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang Menyatakan

(Ivan G. Sihombing)

## ABSTRAK

Nama : Ivan Gunawan Sihombing

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Perancangan Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Tipe *Armored Personnel Carrier* yang Ergonomis Menenggunakan Model *Virtual Environment*

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis pada desain kabin pengemudi kendaraan tempur tipe *Armored Personnel Carrier* menggunakan model *Virtual Environment*. Tujuannya adalah mengevaluasi desain aktual kabin pengemudi kendaraan tempur dan menentukan konfigurasi paling ergonomis ditinjau dari kemiringan kursi, ketinggian kursi, dan jarak pedal akselerator dan rem dari kursi tanpa mengabaikan spesifikasi standar militer. Dihasilkan 18 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Pengambilan data kebiasaan postur dilakukan dengan observasi langsung pada personel TNI dan kemudian direkonstruksi dan dilakukan analisis menggunakan menggunakan *software* Jack 6.1. 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 berupa usulan konfigurasi kabin pengemudi yang ergonomis bagi personel TNI.

Kata Kunci:

Ergonomi, *Armoured Personnel Carrier*, Lingkungan Virtual, Desain Ergonomi, *Posture Evaluation Index*.

## ABSTRACT

Name : Ivan Gunawan Sihombing

Study Program: Industrial Engineering

Judul Skripsi : *Ergonomic Design of Driver Cabin of Armored Personnel Carrier using Virtual Environment Model.*

This research studies the ergonomic aspect of the driver cabin of Armored Personnel Carrier (APC) using virtual environment model. The purpose of this study is to evaluate the actual design of the driver cabin of combat vehicle and determine the most ergonomic configuration which concerns on seat angle, seat height, and the distance between seat and accelerator and brake pedals without compromising military specification standard. There are 18 configuration models that are made and analyzed in this study. Actual driving postures of military personnel are being observed and reconstructed on virtual environment using to be analyzed using Jack 6.1 software task analysis toolkits which are *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. The analysis result was integrated using Posture Evaluation Index approach. The purpose of this study is to design an ergonomic driver cabin models for Indonesian Army personnel

Key words:

Ergonomics, Armoured Personnel Carrier (APC), Virtual Environment, Ergonomic Design, Posture Evaluation Index.

## 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 Masalah ..... 4
1.4	Tujuan ..... 5
1.5	Batasan Masalah..... 5
1.6	Metodologi ..... 5
1.7	Sistematika Penulisan ..... 7
2	LANDASAN TEORI..... 9
2.1	Ergonomi..... 9
2.2	Ergonomi dan Desain Produk ..... 12
2.3	Antropometri ..... 13
2.3.1	Definisi Antropometri ..... 13
2.3.2	Variabilitas Manusia ..... 15
2.3.3	Data Antropometri ..... 17
2.3.4	Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan..... 19
2.4	Postur Mengemudi ..... 19
2.5	Virtual Environment..... 20

2.6	Software Siemens Jack 6.1.....	22
2.6.1	Pendahuluan Mengenai Jack.....	22
2.6.2	Jack Task Analysis Toolkit.....	24
2.7	Static Strength Prediction (SSP).....	25
2.8	Low Back Analysis (LBA).....	27
2.9	Ovako Working Posture Analysis (OWAS).....	28
2.10	Rapid Upper Limb Assessment (RULA).....	29
2.11	Metode Posture Evaluation Index (PEI).....	30
2.12	Kendaraan Tempur Lapis Baja.....	31
3	PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA.....	34
3.1	Pengumpulan Data Pengemudi.....	34
3.1.1	Pengumpulan Data Antropometri.....	34
3.2	Pengumpulan Data Kendaraan.....	36
3.3	Observasi Perilaku Pengemudi dalam Berkendara.....	38
3.4	Pembuatan Model Simulasi Postur Mengemudi Aktual.....	39
3.4.1	Rekonstruksi Kabin Pengemudi Aktual.....	39
3.4.2	Pembuatan model <i>virtual human</i> .....	40
3.4.3	Pembuatan Postur Duduk.....	43
3.4.4	Pemberian Beban ( <i>Weights</i> ) pada Manekin.....	45
3.5	Analisis Kondisi Aktual Menggunakan <i>Task Analysis Toolkit</i> .....	46
3.5.2	Pengujian Pada Persentil 95.....	50
3.6	Perancangan Konfigurasi Model.....	52
4	ANALISIS.....	56
4.1	Analisis Desain Aktual Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur.....	56
4.1.1	Static Strength Prediction (SSP).....	57
4.1.2	Hasil Lower Back Analysis (LBA).....	60
4.1.3	Hasil Ovako Working Analysis System (OWAS).....	61
4.1.4	Hasil Rapid Upper Limb Assessment (RULA).....	64
4.1.5	Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual.....	66
4.2	Analisis Rancangan Konfigurasi.....	66
4.2.1	Analisis Rancangan Konfigurasi 2.....	67
4.2.2	Analisis Rancangan Konfigurasi 3.....	68
4.2.3	Analisis Rancangan Konfigurasi 4.....	70
4.2.4	Analisis Rancangan Konfigurasi 5.....	71
4.2.5	Analisis Rancangan Konfigurasi 6.....	73
4.2.6	Analisis Rancangan Konfigurasi 7.....	75

4.2.7	Analisis Rancangan Konfigurasi 8.....	76
4.2.8	Analisis Rancangan Konfigurasi 9.....	78
4.2.9	Analisis Rancangan Konfigurasi 10.....	79
4.2.10	Analisis Rancangan Konfigurasi 11.....	81
4.2.11	Analisis Rancangan Konfigurasi 12.....	83
4.2.12	Analisis Rancangan Konfigurasi 13.....	84
4.2.13	Analisis Rancangan Konfigurasi 14.....	86
4.2.14	Analisis Rancangan Konfigurasi 15.....	87
4.2.15	Analisis Rancangan Konfigurasi 16.....	89
4.2.16	Analisis Rancangan Konfigurasi 17.....	90
4.2.17	Analisis Rancangan Konfigurasi 18.....	92
4.3	Pengujian Konfigurasi Usulan Pada Persentil 95 Data Antropometri Indonesia	93
4.4	Analisis Perbandingan.....	97
4.4.1	Analisa Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi .	97
5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	102
5.1	Kesimpulan .....	102
5.2	Saran.....	103
	REFERENSI.....	104

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Persentase Gangguan pada Bagian Tubuh Pengemudi.....	2
Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	6
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> ). .....	12
Gambar 2.2 Perbedaan Tinggi Tubuh Manusia Dalam Posisi Berdiri Tegak Untuk Berbagai Suku Bangsa .....	16
Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural.....	18
Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional.....	19
Gambar 2.5 Lingkungan pada Jack.....	22
Gambar 2.6 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack .....	23
Gambar 2.7 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian .....	26
Gambar 2.8 Kondisi kabin Pengemudi Berbagai Jenis Kendaraan Tempur Pengangkut Personil (APS 3 Anoa, VAB, dan BTR 80) .....	32
Gambar 2.9 Standar ukuran kursi kendaraan tempur Departemen Pertahanan Amerika Serikat .....	33
Gambar 3.1 Proses Pengukuran Personil TNI.....	35
Gambar 3.2 Postur Pengemudi dalam Berkendara.....	38
Gambar 3.3 Pembuatan model pada software Jack 6.1 .....	40
Gambar 3.4 Tampilan <i>Dialog Box Build Human Basic Scaling</i> .....	41
Gambar 3.5 Tampilan <i>Build Human Advanced Scaling</i> .....	42
Gambar 3.6 Postur manekin di <i>virtual environment</i> pada software Jack 6.1 .....	44
Gambar 3.7 Tampilan Menu <i>View Cones</i> .....	45
Gambar 3.8 Manekin dengan Pandangan yang Terhalang .....	45
Gambar 3.9 Hasil analisa SSP.....	47
Gambar 3.10 Hasil analisis LBA Konfigurasi 1 pada persentil 5 .....	47
Gambar 3.11 Hasil Analisis OWAS pada konfigurasi aktual .....	48
Gambar 3.12 Hasil Analisis RULA pada konfigurasi aktual .....	49
Gambar 3.13 Hasil Analisis SSP pada Persentil 95 .....	50
Gambar 3.14 Analisis LBA pada Persentil 95 .....	50
Gambar 3.15 Analisis OWAS pada Persentil 95.....	51
Gambar 3.16 Analisis RULA pada Persentil 95.....	51
Gambar 3.17 Spesifikasi Konfigurasi Kabin Pengemudi.....	54
Gambar 4.1 Manekin Persentil 5 pada Desain Kabin Pengemudi Aktual.....	56
Gambar 4.2 Manekin Persentil 95 pada Desain Kabin Pengemudi Aktual.....	57
Gambar 4.3 Grafik SSP Konfigurasi 1 Persentil 5.....	58
Gambar 4.4 Grafik SSP Konfigurasi 1 Persentil 95.....	59
Gambar 4.5 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 Persentil 95 .....	59
Gambar 4.6 Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 5.....	60
Gambar 4.7 Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 95.....	60
Gambar 4.8 Hasil Analisis OWAS pada Konfigurasi dengan Persentil 5.....	63
Gambar 4.9 Hasil Analisis OWAS pada Konfigurasi dengan Persentil 95.....	63

Gambar 4.10 Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 Pada Persentil 5 .....	65
Gambar 4.11 Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 Pada Persentil 95 .....	65
Gambar 4.12 Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 5.....	67
Gambar 4.13 Rancangan Konfigurasi 2 pada Persentil 95.....	68
Gambar 4.14 Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 5 .....	69
Gambar 4.15 Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 95.....	69
Gambar 4.16 Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 5.....	70
Gambar 4.17 Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 95.....	71
Gambar 4.18 Rancangan Konfigurasi 5 pada Persentil 5.....	72
Gambar 4.19 Rancangan Konfigurasi 5 pada Persentil 95.....	72
Gambar 4.20 Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 5.....	74
Gambar 4.21 Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 95.....	74
Gambar 4.22 Rancangan Konfigurasi 7 pada Persentil 5.....	75
Gambar 4.23 Rancangan Konfigurasi 7 pada Persentil 95.....	75
Gambar 4.24 Rancangan Konfigurasi 8 pada Persentil 5.....	77
Gambar 4.25 Rancangan Konfigurasi 8 pada Persentil 95.....	77
Gambar 4.26 Rancangan Konfigurasi 9 pada Persentil 5.....	78
Gambar 4.27 Rancangan Konfigurasi 9 pada Persentil 95.....	79
Gambar 4.28 Rancangan Konfigurasi 10 pada Persentil 5.....	80
Gambar 4.29 Rancangan Konfigurasi 10 pada Persentil 95.....	80
Gambar 4.30 Rancangan Konfigurasi 11 pada Manekin Persentil 5.....	81
Gambar 4.31 Rancangan Konfigurasi 11 pada Persentil 95.....	82
Gambar 4.32 Rancangan Konfigurasi 12 pada Manekin Persentil 5.....	83
Gambar 4.33 Rancangan Konfigurasi 12 pada Persentil 95.....	83
Gambar 4.34 Rancangan Konfigurasi 13 pada Persentil 5.....	85
Gambar 4.35 Rancangan Konfigurasi 13 pada Persentil 95.....	85
Gambar 4.36 Rancangan Konfigurasi 14 pada Persentil 5.....	86
Gambar 4.37 Rancangan Konfigurasi 14 pada Persentil 95.....	87
Gambar 4.38 Rancangan Konfigurasi 15 pada Persentil 5.....	88
Gambar 4.39 Rancangan Konfigurasi 15 pada Persentil 95.....	88
Gambar 4.40 Rancangan Konfigurasi 16 pada Persentil 5.....	89
Gambar 4.41 Rancangan Konfigurasi 16 pada Persentil 95.....	90
Gambar 4.42 Rancangan Konfigurasi 17 pada Persentil 5.....	91
Gambar 4.43 Rancangan Konfigurasi 17 pada Persentil 95.....	91
Gambar 4.44 Rancangan Konfigurasi 18 pada Persentil 5.....	92
Gambar 4.45 Rancangan Konfigurasi 18 pada Persentil 95.....	93
Gambar 4.46 Postur Pengemudi dengan Antropometri Indonesia Persentil 95 .....	94
Gambar 4.47 Hasil Analisis SSP pada Antropometri Indonesia Persentil 95 .....	95
Gambar 4.48 Hasil Analisis LBA pada Antropometri Indonesia Persentil 95 .....	95
Gambar 4.49 Hasil Analisis OWAS pada Antropometri Indonesia Persentil 95 .....	96
Gambar 4.50 Hasil Analisis RULA pada Antropometri Indonesia Persentil 95 .....	96
Gambar 4.51 Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi .....	97
Gambar 4.52 Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi .....	99
Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi .....	99
Gambar 4.54 Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi .....	100

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definisi <i>Human Factors</i> dan Ergonomi .....	11
Tabel 2.2 Struktur Kategori Terminologi Ergonomi.....	11
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Personil Yonif Mekanis 201 .....	36
Tabel 3.2 Data antropometri manekin yang dimasukkan.....	42
Tabel 3.3 Konfigurasi Redesain yang akan dibuat.....	53
Tabel 4.1 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 Persentil 95.....	58
Tabel 4.2 Deskripsi Kode OWAS .....	62
Tabel 4.3 Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS .....	62
Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual.....	66
Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2 .....	68
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3 .....	70
Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4 .....	71
Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5 .....	73
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6 .....	75
Tabel 4.10 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 7 .....	76
Tabel 4.11 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 8 .....	78
Tabel 4.12 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 9 .....	79
Tabel 4.13 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 10 .....	81
Tabel 4.14 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 11 .....	82
Tabel 4.15 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 12 .....	84
Tabel 4.16 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 13 .....	86
Tabel 4.17 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 14 .....	87
Tabel 4.18 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 15 .....	89
Tabel 4.19 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 16 .....	90
Tabel 4.20 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 17 .....	92
Tabel 4.21 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 18 .....	93
Tabel 4.22 Rekapitulasi Perhitungan PEI.....	96

## DAFTAR RUMUS

2.1 Prinsip Dasar SSP.....	25
2.2 Persamaan SSp .....	26
2.3 Standar Lifting NIOSH .....	28
2.4 Rumus Posture Evaluation Index (PEI).....	30



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kendaraan tempur pengangkut personil (*armored personnel carrier*) adalah kendaraan tempur lapis baja yang dirancang untuk mengangkut infantri ke medan pertempuran. Kendaraan ini tidak dirancang untuk ikut serta dalam pertempuran frontal namun digunakan untuk mengangkut pasukan secara aman, terlindung dari serpihan peluru dan sergapan lawan.

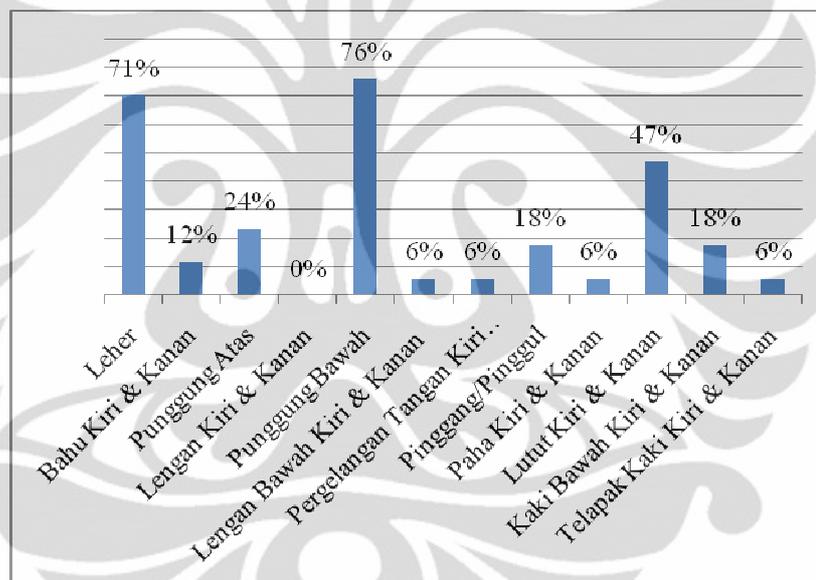
Pengembangan kendaraan tempur lapis baja buatan Indonesia dimulai sejak tahun 2003. Salah satu yang mendorong adalah meningkatnya intervensi militer pada konflik di Aceh. Pada saat itulah TNI mengajukan pengadaan kendaraan pengangkut personil lapis baja sebagai kebutuhan utama yang mendesak. Selain itu, semakin memprihatinkannya kondisi alutsista TNI juga menjadi alasan lain yang mendorong pengembangan kendaraan tempur dalam negeri. Berdasarkan data yang dirilis oleh pihak Markas Besar Tentara Nasional Indonesia, 70 persen alutsista TNI berada dalam kondisi yang memprihatinkan. Pada tahun 2004, Pindad memproduksi kendaraan pertama, APR-1V. Selanjutnya pada tahun 2005, Pindad melanjutkan program pengembangan kendaraan angkut personel dengan bantuan BPPT. Pada Tanggal 22 November 2008, panser APS-3 Anoa ditampilkan pertama kali di hadapan publik pada Indo Defence & Aerospace 2008.

Dari segi rancangan, tampak jelas bahwa desain kendaraan dibuat berdasarkan kendaraan lapis baja buatan Perancis, Véhicule de l'Avant Blindé (VAB). Berdasarkan fakta ini, timbul pertanyaan apakah pembuatan desain kendaraan ini dilakukan berdasarkan pertimbangan terhadap aspek ergonomis. Salah satu hal yang harus diperhatikan adalah apakah desain kursi pengemudi sesuai dengan antropometri personil TNI.

Seperti yang kita ketahui, keamanan dan kenyamanan pengguna merupakan faktor yang penting dalam desain kendaraan. Kenyamanan dan kinerja dalam berkendara dipengaruhi oleh postur tubuh dalam berkendara, posisi duduk, sudut pandangan, visibilitas, dan ruang untuk sandaran kepala yang tersedia serta dimensi fisik dari pengemudi. Desain tempat duduk yang tidak ergonomis dan

tidak sesuai dengan antropometri penggunaanya tidak hanya dapat menyebabkan ketidaknyaman, melainkan juga dapat meningkatkan risiko terjadinya cedera dan masalah muskuloskeletal pada penggunaanya. Sementara itu, sejauh ini tampaknya belum ada penelitian yang dilaksanakan untuk mengkaji aspek ergonomi dari kendaraan militer buatan Indonesia ini. Hal inilah yang membuat penulis merasa perlu untuk melakukan penelitian terhadap kendaraan lapis baja pengangkut personel.

Berdasarkan penelitian pendahuluan yang dilakukan dengan menyebarkan kuesioner dan wawancara kepada personel militer dari batalyon infantri mekanis 201 yang ditugaskan sebagai pengemudi sejumlah 17 orang, diperoleh hasil seperti yang terdapat pada Gambar 1.1



**Gambar 1.1** Persentase Gangguan pada Bagian Tubuh Pengemudi

Dari wawancara dengan pengemudi kendaraan tempur ini, diperoleh juga keluhan-keluhan yang tidak didapat dengan menggunakan kuesioner semata. Keluhan-keluhan itu diantaranya kursi yang terlalu tinggi, sandaran yang terlalu tegak, dan ruang untuk kaki yang sempit.

Analisis aspek ergonomi dari kursi pengemudi kendaraan lapis baja dilakukan dengan mempertimbangkan posisi duduk, penempatan setir/kemudi, dan letak pedal. Penilaian aspek ergonomi dilakukan dengan menganalisis evaluasi postur saat orang sedang mengendarai kendaraan dengan menggunakan metode *Posture Evaluation Index* (PEI). Metode ini dikembangkan oleh Francesco

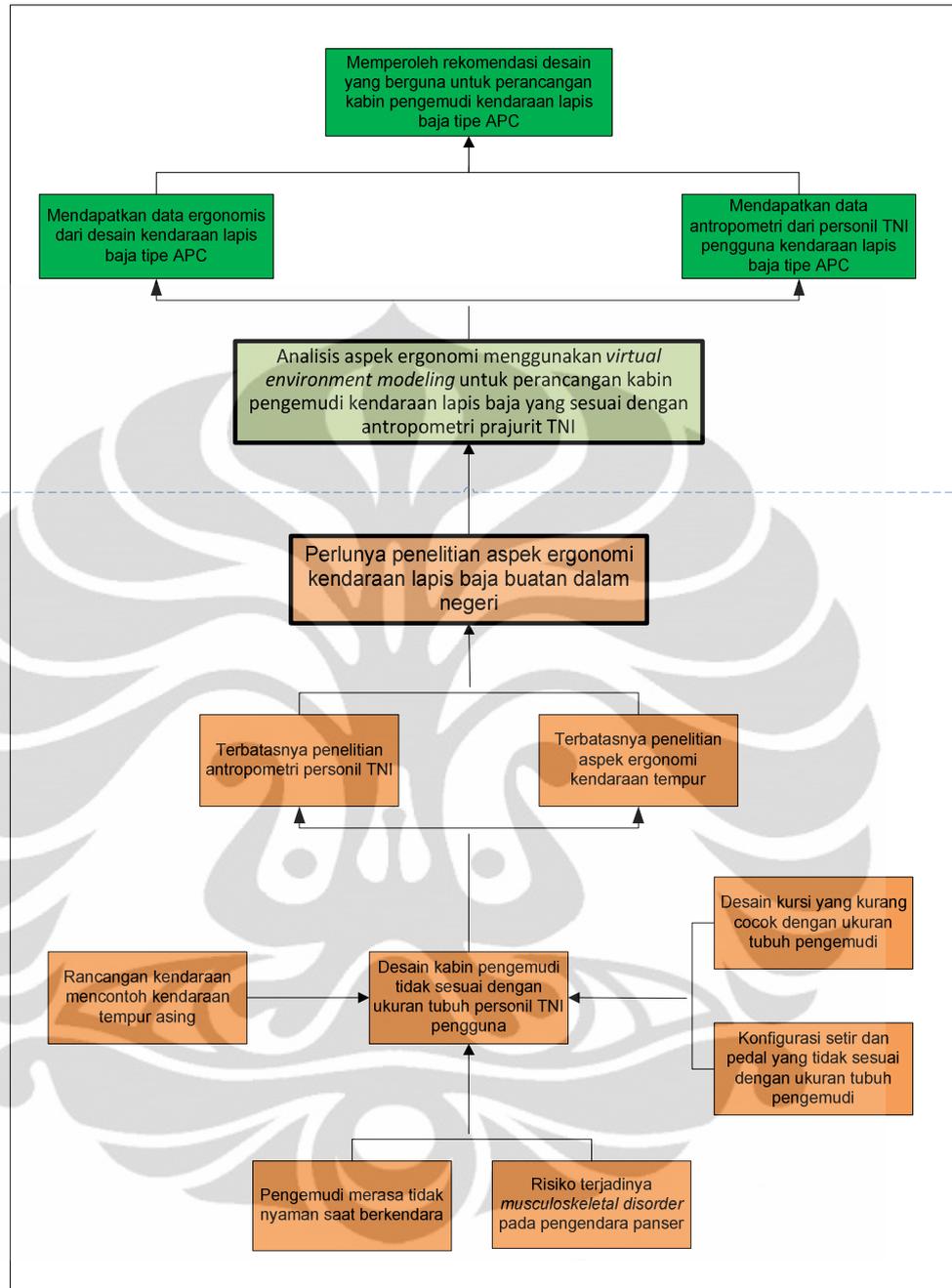
Caputo, Prof. , Giuseppe Di Gironimo, Ph.D, dan Adelaide Marzano, Ing. dari University of Naples Frederico II, Italia dan bertujuan untuk mengkalkulasi tingkat kenyamanan postur manusia. Postur dalam berkendara berkaitan dengan kenyamanan dan dapat menunjukkan apakah desain kursi sudah ergonomis dan dapat menjamin kenyamanan penggunanya.

Analisis ergonomi dari kursi pengendara kendaraan lapis baja ini akan dilakukan dengan bantuan software *digital human modeling and simulation* yang bernama Jack yang tersedia di Ergonomic Centre Teknik Industri Universitas Indonesia. Software Jack 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.

Penelitian ini diharapkan dapat mengevaluasi desain dari kursi pengendara kendaraan lapis baja pengangkut personel yang telah diproduksi saat ini sudah cukup ergonomis dan sesuai dengan antropometri personel TNI sebagai penggunanya.

## **1.2 Diagram Keterkaitan Masalah**

Penjabaran masalah secara utuh serta interaksi antar sub-permasalahan berdasarkan latar belakang permasalahan digambarkan dalam diagram keterkaitan masalah berikut



**Gambar 1.2** Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi fokus penelitian adalah analisa aspek ergonomi dari desain kursi pengendara kendaraan lapis baja pengangkut personel beserta instrumen kontrol utama terhadap antropometri pengguna menggunakan *virtual environment modeling* dengan metode *Posture Evaluation Index*.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan rekomendasi desain konfigurasi kursi kemudi kendaraan lapis baja produksi dalam negeri yang ergonomis dan sesuai dengan spesifikasi kebutuhan militer.

#### 1.5 Batasan Masalah

1. Objek penelitian adalah kendaraan lapis baja APS-3 Anoa tipe *armored personnel carrier* produksi PT Pindad.
2. Pengukuran antropometri dilakukan terhadap personil TNI pengguna kendaraan tempur.
3. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa rekomendasi redesain kursi pengemudi beserta instrumen kendali utama dari kendaraan yang merupakan analisis dengan metode PEI dalam *virtual environment*.
4. Permodelan dan simulasi menggunakan *software* Jack 6.1

#### 1.6 Metodologi

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

##### 1. Pendahuluan

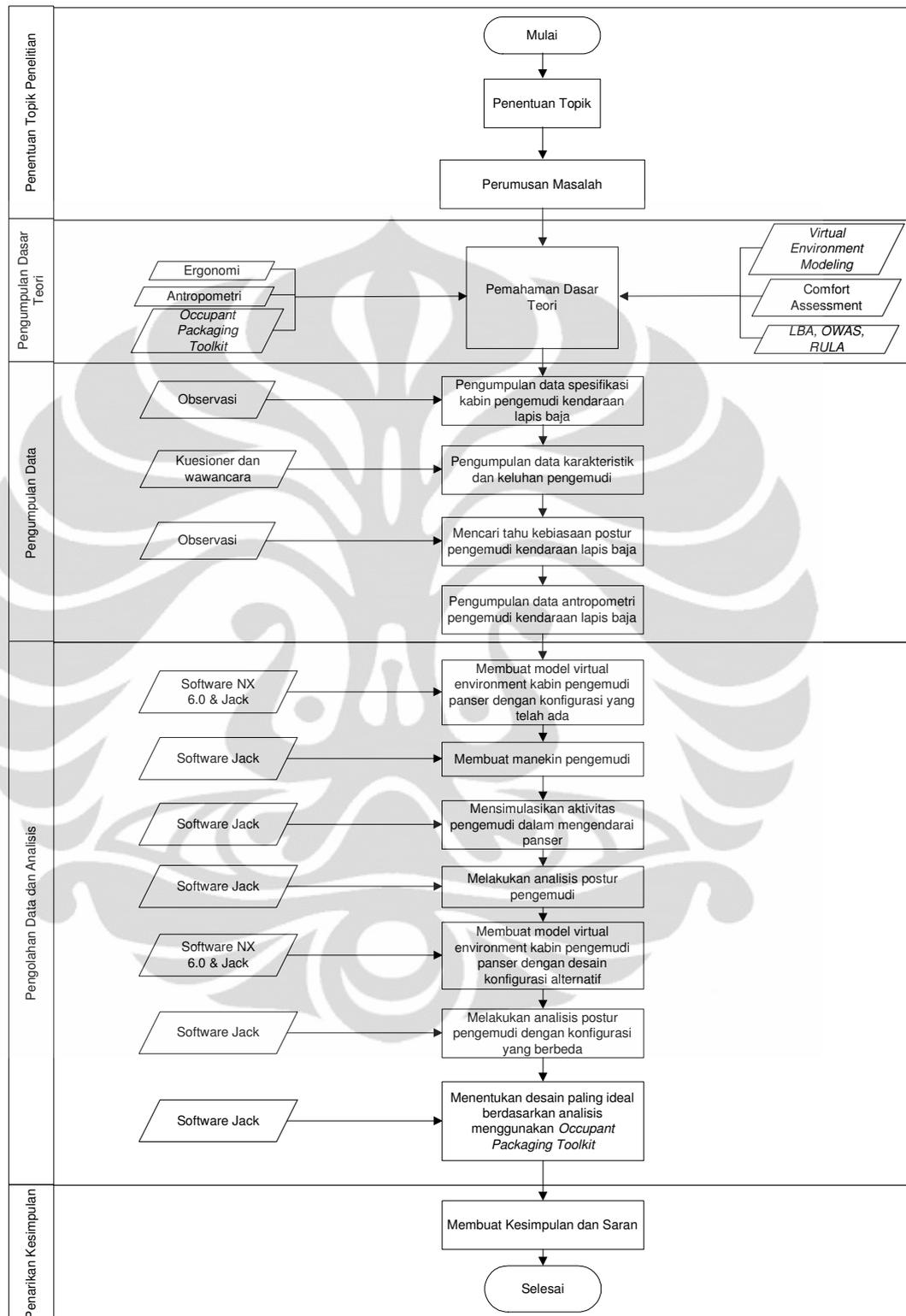
Adapun topik penelitian ini adalah menganalisis aspek ergonomis dari desain dan vibrasi mesin kendaraan lapis baja melalui simulasi model manusia dalam virtual environment.

##### 2. Landasan Teori

Setelah menentukan topik penelitian, penulis mencari berbagai jurnal dan buku panduan untuk memahami dasar teori sesuai dengan topik 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 ergonomi dengan LBA, OWAS, dan RULA



**Gambar 1.3** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3. Persiapan Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi variabel apa saja yang diperlukan dan

bagaimana data akan dikumpulkan.

#### 4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengukuran spesifikasi standar kendaraan lapis baja yang digunakan, kemudian melakukan studi literatur terhadap pemetaan kondisi lintasan yang pernah dilakukan, serta mengumpulkan data antropometri prajurit TNI AD sebagai pengguna kendaraan.

#### 5. Pengolahan Data dan Analisis

- Membuat model kursi pengendara APS-3 Anoa menggunakan *software* NX 6.0
- Membuat manekin prajurit TNI sebagai pengendara sesuai data antropometri yang diperoleh.
- Mensimulasikan aktivitas manusia dengan menggunakan *software* Jack 6.1
- Melakukan analisis ergonomi desain kursi dengan bantuan *software* Jack 6.1
- Melakukan perhitungan PEI
- Menganalisis hasil perhitungan PEI

#### 6. Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat maka akan dapat disimpulkan konfigurasi desain kursi pengendara kendaraan lapis baja yang ergonomis dan sesuai dengan spesifikasi militer

### 1.7 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, batasan masalah, metodologi penelitian, serta 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*, dan metode *posture evaluation index*.

Bab 3 merupakan bab pengumpulan data dan perancangan model. Bab ini membahas mengenai data-data yang dikumpulkan seperti data spesifikasi kursi pengemudi kendaraan tipe *armored personnel carrier*, data antropometri personil TNI sebagai penggunaanya, berikut proses pengumpulan datanya. Pada bab ini juga dibahas mengenai pembuatan model berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan menggunakan *software Jack*.

Bab 4 merupakan bab 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 kursi pengemudi kendaraan lapis baja yang menjadi objek penelitian.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

Bab ini berisi uraian landasan teori yang menjelaskan mengenai teori-teori yang berhubungan dan mendukung penelitian skripsi ini. Teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini antara lain teori ergonomi, antropometri, hubungan ergonomi dan desain produk, gangguan musculoskeletal, *virtual environment*, *virtual human modelling* pada software Jack, serta teori-teori lain yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

#### 2.1 Ergonomi

Ergonomi merupakan kata yang berasal dari bahasa Yunani, yaitu “*ergon*” yang berarti kerja, dan “*nomos*” yang berarti aturan. Istilah ergonomi pertama kali digunakan oleh Wojciech Jastrzębowski pada artikelnya, *Rys ergonomji czyli nauki o pracy, opartej na prawdach poczerpniętych z Nauki Przyrody* yang terbit pada tahun 1857 (Karwowski, 1991). 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

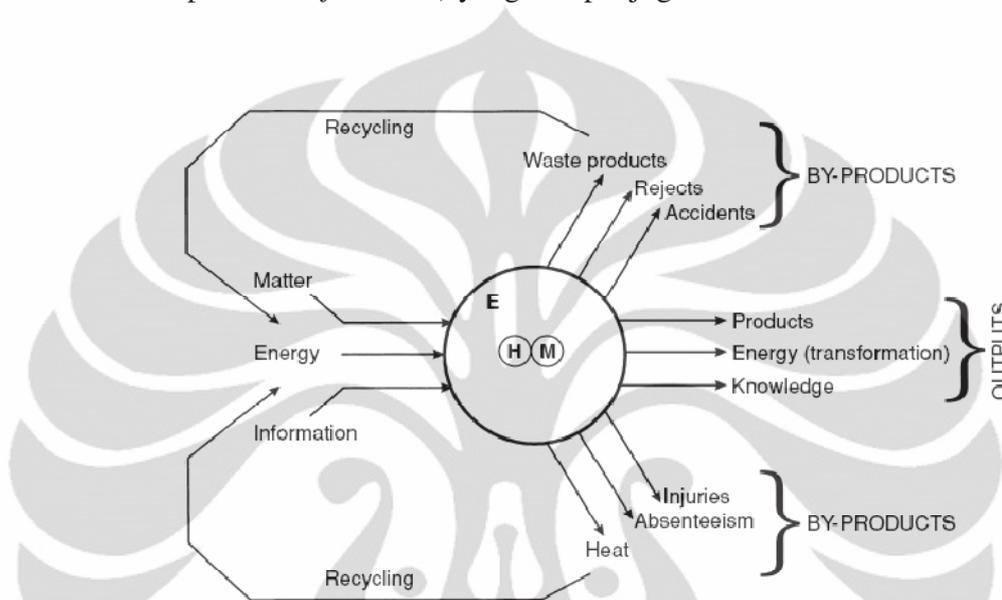
Berikut ini merupakan pendekatan ini dilakukan dengan cara mengkategorikan struktur sederhana yang menjelaskan tentang ergonomi ke dalam bentuk *who, what, how, when/where, dan goal*.

**Tabel 2.2** Struktur Kategori Terminologi Ergonomi

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

Sumber: Karwowski, 2006

Fokus kajian dari ilmu ergonomi adalah interaksi antara manusia dengan mesin yang digunakan dan antar muka diantara keduanya. Ketika manusia berinteraksi dengan mesin, manusia tersebut berinteraksi melalui sebuah antar muka. Umpan balik (*feedback*) yang didapat juga diterima melalui antar muka.



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

Sumber: Bridger, 2003

## 2.2 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, 2001; Pulat, 1992), sehingga desain produk yang dihasilkan diharapkan akan memenuhi keinginan konsumen dan diharapkan memiliki nilai tambah, dimana manfaat (*tangible & intangible benefits*) yang akan dirasakan konsumen memiliki totalitas manfaat yang lebih dibandingkan biaya pengorbanan yang harus dikeluarkan. Dengan demikian, desain produk tersebut telah memiliki *superior customer value* dibandingkan pesaingnya (Kotler & Armstrong, 2006). Keunggulan bersaing harus diciptakan sejak desain produk dan diwujudkan dengan produk jadi (*finished goods*) sebagai indikator performansi nyata (*tangible*) yang akan dilihat dan dirasakan oleh konsumen. Penilaian konsumen terhadap produk merupakan perwujudan tingkat performansi dari produk yang dihasilkan perusahaan (Kotler & Keller, 2006), apakah konsumen akan merasakan puas (*satisfied*)-jika performansi produk sesuai dengan harapan dari keinginan konsumen, atau tidak puas (*dissatisfied*)-jika performansi produk dibawah harapan dari keinginan konsumen, atau sangat puas (*delighted*)-jika performansi produk melebihi harapannya. Konsep ergonomi harus juga dijadikan sebagai kerangka dasar dalam perancangan *control device* dari sebuah mesin sehingga diharapkan operator dapat mengoperasikan mesin tersebut secara benar dan dapat mengurangi kecelakaan kerja. Sebagaimana dijelaskan oleh Sanders & McCormick (1993) bahwa terdapat beberapa jenis *control device*, seperti *hand control*, *foot control* dan *data entry devices*. Jenis *foot control* dapat mempengaruhi postur dari operator sehingga perancangan dari jenis ini harus didasarkan beberapa aspek, seperti lokasi engsel pedal, sudut telapak kaki dengan betis, dan peletakan pedal tersebut terhadap operator. Dengan demikian, diperlukan konsiderasi ergonomi pada desain produk sehingga kegunaan dan pemakaian produk tersebut sudah sesuai dengan faktor manusia dari penggunaannya.

## **2.3 Antropometri**

### **2.3.1 Definisi Antropometri**

Secara etimologis, istilah antropometri berasal dari bahasa Yunani, yaitu *antropos* yang berarti manusia, dan *metron* yang berarti ukuran. Sehingga bisa dikatakan, antropometri adalah studi tentang ukuran tubuh manusia. Manusia

mempunyai ukuran dan bentuk tubuh yang berbeda-beda. Ilmu teknik yang menggunakan informasi yang telah ada dan perkembangan informasi yang baru tentang ukuran tubuh manusia disebut ilmu antropometri. Penelitian awal tentang ukuran tubuh manusia dilakukan akhir abad 14. Data antropometri yang cukup lengkap dihasilkan pada awal tahun 1800. Metode-metode pengukuran distandarisasikan beberapa kali yang dilakukan pada awal sampai pertengahan abad 20. Standarisasi yang paling baru muncul pada tahun 1980-an yang dikeluarkan oleh *Internasional Standart Organization* (ISO). Metode-metode pengukuran standart mengasumsikan tentang ukuran postur tubuh dan batas-batas penggunaannya. Pelaksanaan penelitian untuk penggunaan ilmu teknik hanya dilakukan untuk kepentingan militer. Pengertian antropometri menurut Stevenson (1989) dan Eko Nurmianto (1991) adalah suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia ukuran, bentuk dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain.

Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi-dimensi yang tepat berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan mengoperasikan atau menggunakan produk tersebut. Maka perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangan tersebut. Secara umum sekurang-kurangnya 90% - 95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakannya dengan selayaknya. Pada dasarnya peralatan kerja yang dibuat dengan mengambil referensi dimensi tubuh tertentu jarang sekali bisa mengakomodasi seluruh range ukuran tubuh dari populasi yang akan memakainya. Survey antropometri dalam skala besar menghabiskan waktu dan biaya. Ada sebuah metode alternatif yang dapat digunakan yaitu dengan mengerjakan survey khusus untuk memperoleh dimensi pokok. Lalu dimensi lain dihasilkan dari dimensi pokok ini dengan menggunakan prosedur statistik. Biasanya metode ini tidak dapat menghasilkan data yang akurat, akan tetapi metode ini akan menjadi cukup akurat untuk beberapa pelaksanaan praktek tertentu. Aplikasi utama dari penerapan data antropometri adalah :

- Desain lingkup kerja
- Desain lingkungan

- Desain peralatan, perlengkapan mesin
- Desain produk konsumen

### 2.3.2 Variabilitas Manusia

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

#### a. Usia

Secara umum dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar – seiring dengan bertambahnya umur – yaitu sejak awal kelahiran sampai dengan umur 20 tahunan..

#### 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

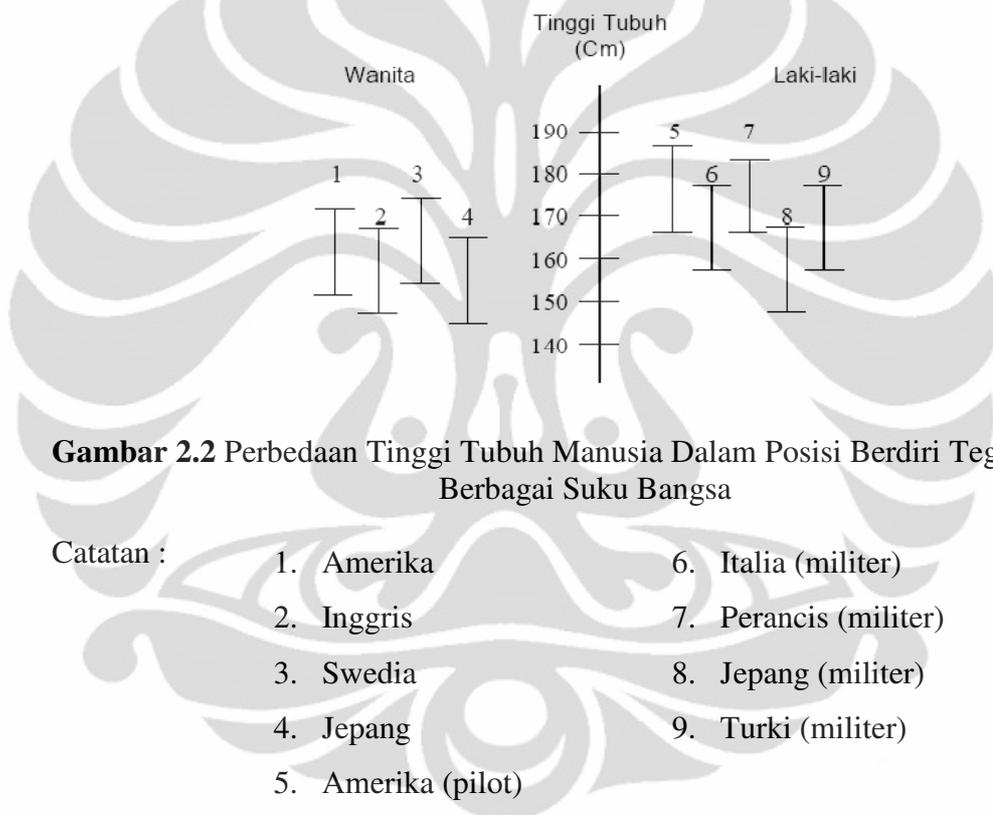
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki/tangan palsu, dan lain-lain).

#### 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

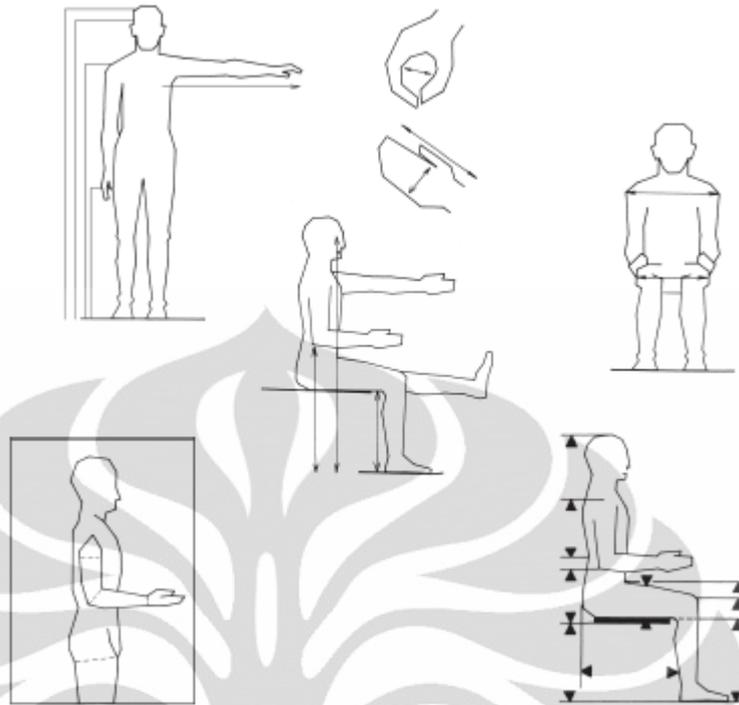
ukuran bukan tidak mungkin bisa tetap dijumpai. Permasalahan variasi ukuran sebenarnya akan mudah diatasi dengan cara merancang produk (*adjustable*) dalam suatu rentang dimensi ukuran pemakaiannya.

### 2.3.3 Data Antropometri

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

- Data Antropometri Struktural

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

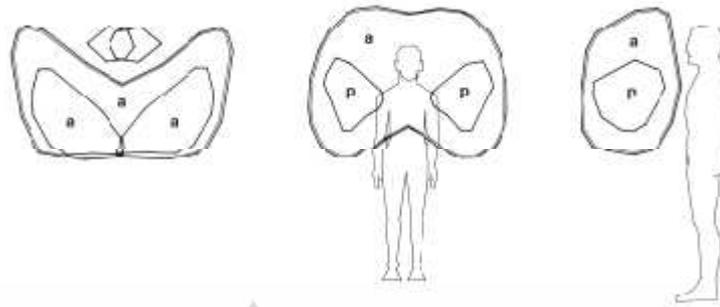


**Gambar 2.3** Data Antropometri Struktural

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

- Data Antropometri Fungsional

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



**Gambar 2.4** Data Antropometri Fungsional

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.

#### 2.3.4 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.

## 2.4 Postur Mengemudi

Salah satu kontribusi penting ergonomi yang dapat diaplikasikan pada perancangan di industriomotif adalah mengenai antropometri dan penentuan postur pengemudi (Porter and Gyi, 1998). Dalam perancangan dan pengembangan kursi pengemudi, postur dari pengemudi merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dengan seksama. Kelelahan yang diakibatkan kegiatan

mengemudi dalam waktu yang lama dikelompokkan menjadi dua, kelelahan fisik dan kelelahan mental. Kelelahan fisik umumnya disebabkan oleh postur berkendara (Hirao, 2008).

Kenyamanan dan kinerja saat mengemudi dipengaruhi oleh postur mengemudi, posisi tempat duduk, sudut kemiringan tempat duduk, pandangan pengemudi, dan ruang yang tersedia untuk kepala, lokasi setir dan pedal, karakteristik kursi, dan sandaran untuk menopang tulang belakang (Park; Lee; Kwon; Kim; Kim, 1999). Secara khusus, postur mengemudi, posisi dan sudut kemiringan kursi merupakan faktor yang paling penting dalam perancangan stasiun kerja pengemudi yang mempertimbangkan kenyamanan dan kinerja pengemudi. Postur mengemudi sendiri adalah suatu postur kerja dalam kondisi duduk dimana pengemudi harus berinteraksi dan mengoperasikan komponen otomatis.

## 2.5 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.

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:

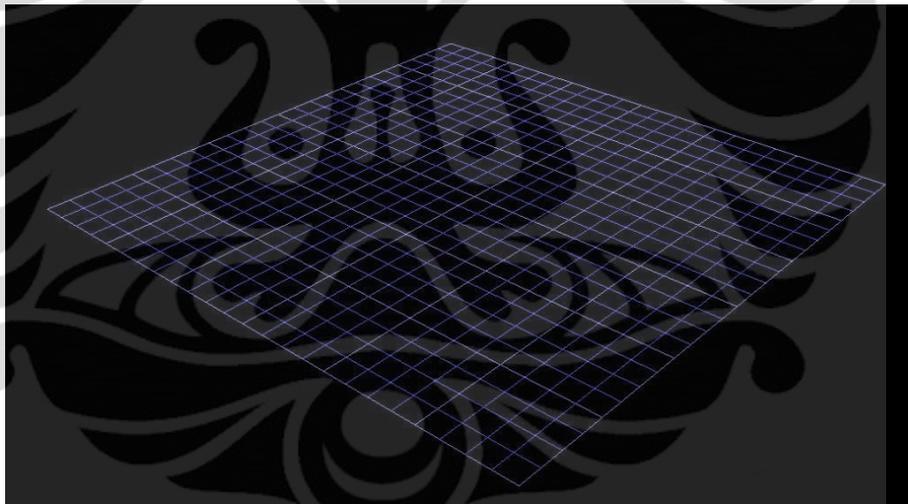
- Penilaian ergonomis tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja.
- Pelatihan teknisi pemeliharaan, misalnya untuk bekerja di lingkungan yang berbahaya.
- Perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi
- Pelatihan umum untuk industri, termasuk prosedur untuk pergerakan material dan penggunaan mesin pelindung.
- Diagnosa kesalahan (*error*) yang terjadi dan perbaikan dalam proses yang berlangsung di pabrik.

## 2.6 Software Siemens Jack 6.1

### 2.6.1 Pendahuluan Mengenai Jack

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

Fokus pengembangan yang dapat dilakukan Jack adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat, yang terdapat dalam sistem apapun. Kemampuan terbaik dari Jack adalah Jack mampu mengisi lingkungan yang dimilikinya dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri yang dapat diatur dan ditentukan sendiri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata. Lingkungan pada *software* ini dapat terlihat pada gambar 2.6



**Gambar 2.5** 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 penggunaannya. Selain itu, pengguna Jack dapat membuat model pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran

tubuh, berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Jack 6.1 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 untuk membuat model. Namun, Jack juga menyediakan formulir khusus jika pengguna ingin membuat model manekin berdasarkan data antropometri yang ingin diteliti. Gambar 2.7 menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



**Gambar 2.6** 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 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

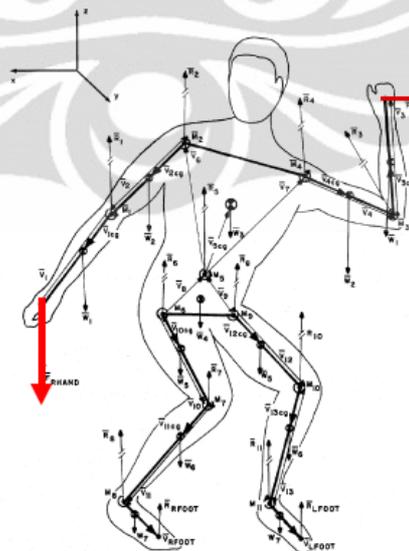
yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal lainnya. Secara matematis, hal ini dituliskan dalam persamaan:

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

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

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

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul, maka data tersebut diolah dengan mekanika Newton. Gaya yang didapatkan tubuh dari luar akan dikalikan dengan jarak antara titik tempat tubuh menerima gaya luar tersebut dengan persendian. Yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Gambar 2.8 adalah model biomekanikal manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan sebuah aktivitas.



**Gambar 2.7** 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. 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.

### **2.10 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

*Rapid Upper Limb Assessment* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat resiko cedera dan gangguan muskuloskeletal pada tubuh bagian atas. Analisis dibuat berdasarkan kualitas postur, penggunaan otot, berat beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensinya. Metode ini dibuat melalui pengisian lembar kerja, dimana lembar tersebut akan memudahkan penggunaannya untuk menghitung sebuah nilai yang mengindikasikan derajat kepentingan dari tingkat intervensi yang diperlukan untuk mereduksi resiko dan bahaya yang dapat terjadi. Seperti terlihat pada Gambar 2.13, bagian tubuh yang dianalisis dibagi menjadi dua grup. Grup A terdiri dari bagian tubuh tangan dan pergelangan tangan. Grup B terdiri dari leher, batang tubuh, dan kaki. Nilai akhir yang dihasilkan RULA adalah sebagai berikut:

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

Metode RULA akan membantu penggunaannya untuk:

- Memberikan penilaian terhadap suatu kegiatan kerja dengan cepat sehingga resiko cedera pada tubuh bagian atas dapat dikurangi.
- Membantu dalam pembuatan desain kegiatan kerja atau perbaikan dari kegiatan yang telah ada.
- Mengidentifikasi dan memprioritaskan postur kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

### 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 ditentukan

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

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

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 *I1*) dan evaluasi dari tingkat kelelahan pada tubuh bagian atas (pengaruh *I3*). PEI memungkinkan penggunaanya untuk menentukan modus operandi untuk menjalankan kegiatan kerja dalam cara yang sederhana. Faktanya, postur optimal yang berkaitan dengan kegiatan dasar adalah postur kritis dengan nilai PEI minimum. Variabel yang mempengaruhi nilai akhir PEI bergantung pada tingkat ketidaknyaman pada postur yang dianalisis: semakin tinggi tingkat ketidaknyaman, semakin tinggi nilai PEInya.

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

## **2.12 Kendaraan Tempur Lapis Baja**

Kendaraan tempur pengangkut personil (*armored personnel carrier*) adalah kendaraan tempur lapis baja yang dirancang untuk mengangkut infantri dari dan ke medan pertempuran. Kendaraan ini tidak dirancang untuk menghadapi musuh secara langsung, melainkan hanya sebagai alat transportasi yang dapat menjamin keamanan penggunaanya dan dilengkapi persenjataan untuk melindungi diri. Kendaraan ini ada yang menggunakan roda dan ada yang menggunakan *track*. Kendaraan yang dibahas pada penelitian ini menggunakan roda sebagai alat gerak.

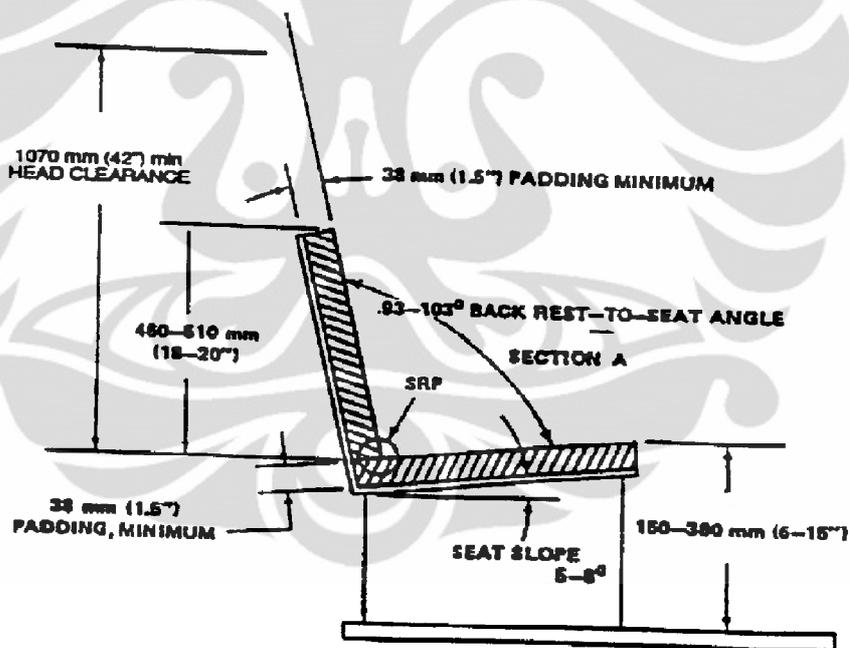
Kendaraan tempur pengangkut personil biasanya menggunakan body yang terbuat dari baja yang relatif lebih tipis dibanding body tank namun cukup untuk menahan proyektil pistol hingga senapan. Baja yang lebih tipis digunakan dengan alasan menjaga bobot kendaraan agar tidak terlalu berat sehingga tidak mengorbankan mobilitasnya. Untuk memaksimalkan proteksi, body yang terbuat dari baja ini dibuat miring permukaannya (*slope*) dengan maksud agar tercipta

sudut dengan proyektil yang datang, sehingga dapat mengurangi dampak kerusakan. Selain itu, atap body kendaraan juga dibuat tidak tinggi untuk meminimalkan tampilannya sehingga sulit dilihat oleh lawan pada jarak jauh, sementara lantai body dibuat tinggi untuk menunjang mobilitasnya di medan yang berat. Ketiga hal tersebut membuat kabin pengemudi dan penumpang memiliki ruang yang lebih terbatas dibandingkan kendaraan angkut sipil.



**Gambar 2.8** Kondisi kabin Pengemudi Berbagai Jenis Kendaraan Tempur Pengangkut Personil (APS 3 Anoa, VAB, dan BTR 80)

Selain ruang yang terbatas seperti yang terlihat pada Gambar 2.9, terdapat beberapa spesifikasi lain yang membuat kendaraan ini berbeda dari kendaraan angkut sipil. Salah satunya adalah kaca depan kabin pengemudi yang dibuat minim untuk meminimalisasi bahaya yang datang pada pengemudi. Hal ini dapat berpengaruh pada sudut pandangan pengemudi. Berdasarkan buku panduan standar desain *human engineering* yang dirilis oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat, dapat terlihat bahwa kendaraan tempur memiliki standar yang berbeda dari kendaraan sipil karena ruang yang tersedia relatif lebih terbatas dan memberikan perhatian yang lebih pada aspek keamanan. Karena kaca depan yang minim, standar sudut pandangan kendaraan tempur adalah sebesar 15 derajat di atas garis pandang horizontal. Selain itu, desain harus memungkinkan pengemudi melihat permukaan tanah 3 meter di hadapannya.



**Gambar 2.9** Standar ukuran kursi kendaraan tempur Departemen Pertahanan Amerika Serikat

## BAB 3

### PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam pembuatan model *virtual environment*. Proses pembuatan model membutuhkan dua jenis data, yaitu data spesifikasi kendaraan tempur yang berupa berbagai dimensi *body*, kabin pengemudi dan posisi instrumen kontrol, serta data antropometri pengguna kendaraan tempur itu sendiri. Pengumpulan data spesifikasi kendaraan dilakukan dengan mengambil data yang sudah tersedia dan melakukan pengukuran langsung terhadap kabin pengemudi kendaraan tempur pengangkut personil yang telah ada. Pengumpulan data antropometri dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung pada personil militer pengguna kendaraan tempur. Selanjutnya akan dijelaskan lebih detail mengenai proses pengambilan data.

#### **3.1 Pengumpulan Data Pengemudi**

##### **3.1.1 Pengumpulan Data Antropometri**

Data antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) adalah data personil militer dari Batalyon Infantri Mekanis 201. Pemilihan personil dari kesatuan Batalyon Infantri Mekanis 201 dilakukan karena ukuran tubuh mereka dinilai dapat merepresentasikan kondisi antropometri personil militer pengguna kendaraan tempur. Pemikiran ini dilandaskan fakta bahwa kendaraan lapis baja pengangkut personil ini memang dibuat untuk dioperasikan oleh kesatuan infantri mekanis. Selain itu, Batalyon Infantri Mekanis 201 merupakan satu-satunya kesatuan yang menggunakan kendaraan ini ketika penelitian ini dilakukan.



**Gambar 3.1** Proses Pengukuran Personil TNI

Data antropometri diperoleh dengan cara melakukan pengukuran langsung menggunakan peralatan antropometer terhadap sampel prajurit Batalyon Infantri Mekanis 201 sebanyak 170 orang responden. Data antropometri ini dibutuhkan untuk dapat melakukan rekonstruksi model manusia dalam lingkungan *virtual*. Adapun ukuran-ukuran yang diambil dalam proses pengumpulan data antropometri adalah sebagai berikut:

- Tinggi badan
- Berat badan
- Tinggi lutut saat duduk dengan kaki tegak
- Jarak antara lantai sampai bagian bawah paha
- Panjang telapak kaki
- Jarak bokong ke lutut bagian depan
- Jarak bokong ke lutut bagian belakang
- Tinggi bahu dari bantalan duduk
- Tinggi mata dari bantalan duduk
- Tinggi ujung kepala dari bantalan duduk
- Jarak bahu ke siku tangan
- Jarak siku tangan ke ujung jari tangan
- Lebar bahu
- Lebar pelana (diukur setinggi pusar)
- Lebar bokong
- Lebar perut (diukur dari samping)

Pengukuran besaran-besaran di atas, kecuali tinggi badan dilakukan dalam posisi duduk. Pengukuran memakan waktu yang cukup lama karena pengukuran dilakukan secara manual dan banyaknya besaran yang diukur. Oleh karena itu, pengukuran dilakukan oleh lima orang operator agar bisa melakukan pengukuran pada lebih banyak orang dalam waktu yang terbatas.

Setelah proses pengumpulan data antropometri selesai, dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan data ukuran tubuh dari persentil 5 persen dan 95 persen. Rincian data persentil yang diolah dari data antropometri personil batalyon infantri mekanis 201 adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Rekapitulasi Data Antropometri Personil Yonif Mekanis 201

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 bantal duduk	50,0	59,0
8.	Tinggi mata dari bantal duduk	69,0	78,0
9.	Tinggi duduk, kepala ke bantal 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

### 3.2 Pengumpulan Data Kendaraan

Kendaraan tempur yang menjadi objek penelitian adalah kendaraan lapis baja pengangkut personil (*Armored Personnel Carrier*). Kendaraan lapis baja pengangkut personil yang digunakan dalam penelitian ini adalah APS-03 “Anoa” buatan Indonesia yang diproduksi PT Pindad. Kendaraan tempur ini dibuat untuk memenuhi kebutuhan alutsista TNI AD khususnya untuk digunakan oleh kesatuan infantri. Dalam kesatuan infantri, kendaraan ini digunakan untuk mengangkut dan memindahkan pasukan dari satu lokasi ke lokasi lainnya.

Berikut ini detail spesifikasi kabin pengemudi kendaraan ini:

- Diameter setir : 34 cm
- Kemiringan setir : 50°
- Tinggi bantalan duduk kursi : 36 cm
- Tebal bantalan kursi : 7 cm
- Kemiringan kursi : 0°
- Kemiringan sandaran kursi : 100°
- Jarak bantalan duduk ke atap : 90 cm
- Jarak sandaran ke setir : 44 cm
- Jarak ujung dudukan kursi ke pedal gas : 36 cm
- Ukuran Bantalan Duduk Kursi : 34 cm x 28.5 cm
- Ukuran Sandaran Kursi : 41 cm x 28.5 cm

Spesifikasi di atas diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung menggunakan meteran dan alat pengukur sudut. Dari hasil pengukuran dan pengamatan dari kabin pengemudi beserta perlengkapan dan instrumen kendali yang terdapat di dalamnya, terlihat bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur memiliki ruang yang terbatas. Kursi tempat duduk pengemudi memiliki ukuran yang relatif lebih kecil dibandingkan kursi pengemudi kendaraan pada umumnya. Selain itu, kursi pengemudi ini juga tidak memiliki sandaran kepala sementara sandaran punggungnya tidak dapat diatur kemiringannya. Kursi pengemudi hanya bisa diatur posisi maju-mundurnya saja untuk menyesuaikan jarak setir yang dirasa sesuai oleh pengemudi.

Salah satu hal yang membedakan kendaraan ini dari kendaraan angkut lain adalah kendaraan ini dirancang untuk dapat menjamin keamanan personil yang ada di dalamnya dalam kondisi ekstrim yaitu pertempuran. Body kendaraan ini dibentuk dari pelat baja yang disusun miring untuk dapat menahan terjangan peluru. Hal ini membuat ruang bagian dalam kabin kendaraan ini tampak lebih kecil dari kendaraan angkut lain. Selain itu, kaca depan dibuat seminim mungkin

agar meminimalkan risiko tertembak atau bahaya lain pada pengemudi. Di sisi lain, hal ini menyebabkan keterbatasan luas bidang pandang pengemudi.

### 3.3 Observasi Perilaku Pengemudi dalam Berkendara

Pengamatan terhadap perilaku pengemudi saat mengendarai kendaraan tempur dilakukan untuk melihat kebiasaan serta postur kerja pengemudi ketika berinteraksi dengan instrumen yang terdapat dalam kabin pengemudi kendaraan tempur. Hal ini penting karena hasil dari pengamatan digunakan untuk membantu rekonstruksi postur kerja manusia dalam model *virtual environment*. Dengan membuat postur *virtual human* sesuai dengan kondisi postur aktual, dapat diperoleh hasil analisis yang akurat mengenai pengaruh interaksi manusia dengan instrumen yang terdapat dalam kabin pengemudi terhadap postur kerja yang terbentuk. Gambar 3.1 Menunjukkan postur pengemudi saat mengemudikan kendaraan



**Gambar 3.2** Postur Pengemudi dalam Berkendara

Dari observasi yang dilakukan, diperoleh beberapa kondisi yang menggambarkan postur pengemudi dalam mengemudikan kendaraan. Posisi tangan mengenggam setir pada kedua sisi bagian tengah ke atas. Posisi punggung bawah hingga punggung atas menempel mengikuti permukaan sandaran kursi. Sudut yang dibentuk bagian *pelvis* mengikuti sudut yang dibentuk oleh bantalan duduk dan sandaran kursi. Posisi kepala agak maju ke depan sedemikian hingga bagian leher dan kepala relatif tegak lurus terhadap permukaan horizontal. Telapak kaki kanan pengemudi berada di atas pedal gas sehingga membentuk sudut terhadap permukaan lantai mengikuti kemiringan pedal pada posisi normal yaitu sebesar  $50^\circ$ . Sementara itu telapak kaki kiri berada dalam posisi yang sejajar dengan kaki kanan namun sejajar mengikuti permukaan lantai

### 3.4 Pembuatan Model Simulasi Postur Mengemudi Aktual

Dalam penelitian ini akan diujikan postur duduk pengemudi yang berinteraksi dengan perlengkapan dan instrumen yang terdapat pada kabin pengemudi. Komponen yang terdapat dalam kabin pengemudi dalam pengujian ini antara lain kursi pengemudi, setir, serta pedal gas dan rem.

#### 3.4.1 Rekonstruksi Kabin Pengemudi Aktual

Untuk dapat melakukan simulasi postur pengemudi aktual, diperlukan model *virtual environment* dari lingkungan kerja. Pembuatan model *virtual environment* dilakukan dengan bantuan *software* Jack 6.1. Sebelum dapat melakukan pembuatan dan simulasi model pada *software* Jack 6.1, terlebih dahulu dilakukan pembuatan rancangan komponen-komponen yang menyusun lingkungan kerja menggunakan *software* NX 6.0. Lingkungan kerja yang dibuat dalam penelitian ini adalah kabin pengemudi yang terdiri atas kursi pengemudi, pedal akselerator dan rem, serta setir. Instrumen-instrumen tersebut dibangun dan diposisikan pada ruang yang dibatasi oleh dinding *body* kendaraan. Pembuatan model virtual kursi pengemudi, setir, serta pedal akselerator dan rem dilakukan menggunakan *software* NX 6.0 dengan ukuran dimensi aktual yang telah didapat dari pengumpulan data spesifikasi kendaraan.

Setelah model dari komponen-komponen tersebut selesai dikerjakan, model tersebut disimpan dalam bentuk *part files* (.prt). Agar dapat dibuka pada *software* Jack 6.1, *file* desain komponen tersebut harus terlebih dahulu diterjemahkan dalam bentuk IGES 5.3 (.igs). Setelah dilakukan perubahan format, *file* dapat langsung diimport menggunakan *software* Jack 6.1 untuk kemudian digabungkan dengan model *virtual human* sehingga dapat dilakukan analisis terhadap interaksi antara manusia dengan instrumen yang digunakan.



**Gambar 3.3** Pembuatan model pada software Jack 6.1

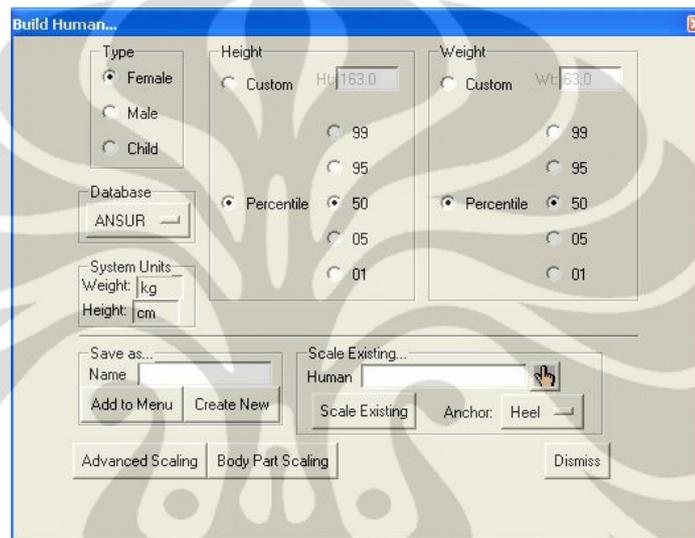
Sementara itu, pembuatan model dinding kabin pengemudi dilakukan dengan merekonstruksi *body* kendaraan pada bagian yang membatasi ruang kabin pengemudi. Proses rekonstruksi *body* kendaraan ini dilakukan dengan mengacu pada data dan spesifikasi *body* kendaraan yang diperoleh dari PT. Pindad. Data desain *body* kendaraan yang dimiliki PT Pindad bersifat rahasia, sehingga tidak semua data diizinkan untuk diperoleh dan digunakan dalam penelitian. Oleh karena hal tersebut, peneliti juga melakukan observasi dan pengukuran pada kendaraan yang telah ada untuk melengkapi dimensi yang belum didapat.

#### 3.4.2 Pembuatan model *virtual human*

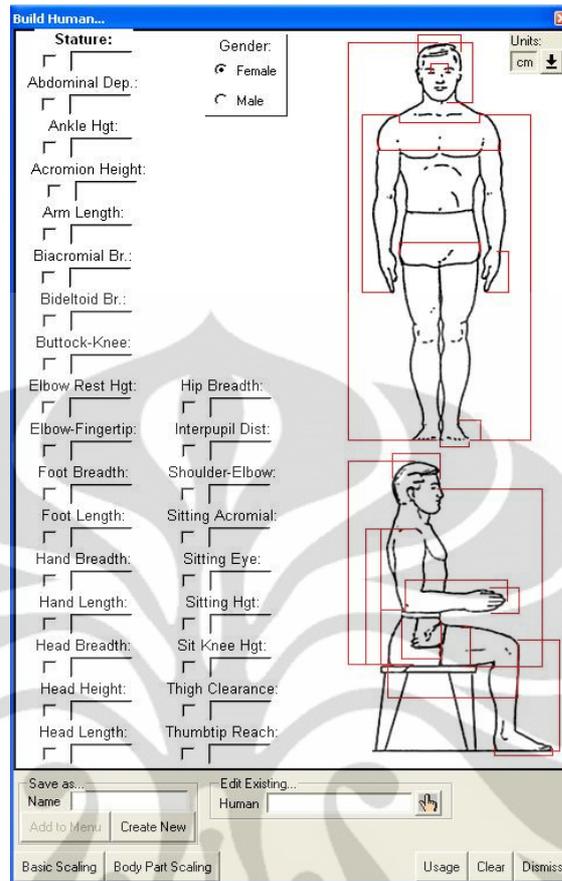
Model *virtual human* atau manekin pada penelitian ini dibuat untuk merepresentasikan personil TNI pengemudi kendaraan lapis baja, yaitu anggota kesatuan infantri mekanis. Manekin personil TNI ini dibuat berdasarkan data antropometri personil batalyon infantri mekanis 201 yang telah diolah. Data-data antropometri yang telah dikumpulkan dan diolah dimasukkan ke dalam fitur Build Human yang tersedia pada *software* Jack.

Pada fitur Build Human, disediakan berbagai macam pilihan dalam membuat manekin. Pada *software* Jack tersedia pilihan untuk menggunakan data antropometri default yang tersedia dari database yang sudah ada seperti ANSUR (*Army Natick Survey User Requirement*). Selain itu, tersedia juga menu *custom scaling* yang memungkinkan pengguna untuk dapat memasukkan data yang dimiliki secara langsung.

Dalam memasukkan data antropometri pada manekin, pengguna dapat menggunakan menu *basic scaling* dan *advanced scaling*. Pada menu *basic scaling*, pengguna hanya dibutuhkan untuk mengisi data tinggi badan dan berat badan. Dengan menggunakan menu *basic scaling*, ukuran bagian tubuh lain akan secara otomatis diperhitungkan mengacu pada database default yang dipilih. Pada menu *advanced scaling*, pengguna dapat mengisi dan mengubah 26 ukuran bagian tubuh sesuai data antropometri yang dimiliki.



**Gambar 3.4** Tampilan *Dialog Box Build Human Basic Scaling*



**Gambar 3.5**Tampilan *Build Human Advanced Scaling*

Manekin yang digunakan pada penelitian ini dibuat menggunakan menu *basic scaling* dan *advanced scaling*. Menu *basic scaling* digunakan untuk memasukkan tinggi badan dan berat badan. Setelah seluruh ukuran tubuh lain dikalkulasi secara otomatis sesuai database antropometri ANSUR, menu *advanced scaling* digunakan untuk mengubah beberapa dimensi tubuh sesuai dengan data antropometri yang telah diperoleh.

**Tabel 3.2**Data antropometri manekin yang dimasukkan

Data manekin yang diubah	persentil 5 TNI	persentil 5 ANSUR	persentil 95 TNI	persentil 95 ANSUR
abdominal depth	16.0	20.4	26.0	21.2
buttock-knee	52.0	56.7	60.0	60.8
elbow-fingertip	42.0	44.3	48.0	47.5
foot length	24.7	25.4	28.0	27
shoulder-elbow	31.0	35.5	37.0	38.1
sit knee height	51.0	52.2	58.6	56.6

Dari tabel diatas, terlihat perbedaan antara ukuran berdasarkan database ANSUR dan data antropometri yang diperoleh dari pengumpulan data.

Bagian tubuh yang yang tercantum pada tabel 3.1 disesuaikan dengan data antropometri yang diperoleh dengan dasar pemikiran bahwa antropometri manusia bersifat unik sehingga antar populasi dapat dipastikan memiliki ukuran yang berbeda. Hal tersebut dapat dibuktikan dari perbandingan ukuran bagian tubuh yang terdapat pada tabel 3.1. Selain itu, bagian-bagian tubuh yang ukurannya disesuaikan tersebut merupakan bagian tubuh yang berinteraksi langsung dengan instrumen-instrumen yang ada dan dijadikan pertimbangan untuk pembuatan konfigurasi.

Selain menentukan ukuran tubuh, pembuatan model manusia atau manekin juga disertai pembuatan model perlengkapan yang digunakannya. Sesuai dengan pengamatan dan informasi mengenai perlengkapan standar yang digunakan pengemudi kendaraan tempur, model manekin dibuat mengenakan sebuah helm dan rompi anti peluru.

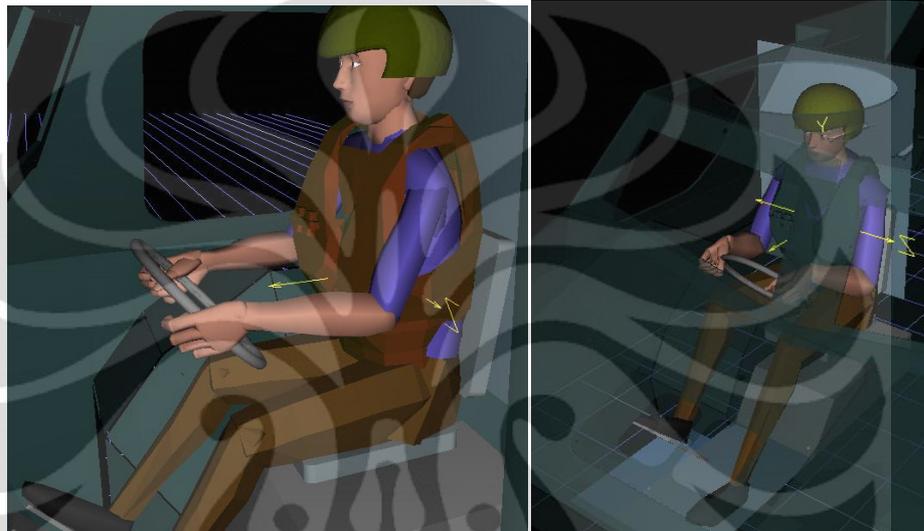
#### 3.4.3 Pembuatan Postur Duduk

Setelah model *virtual human* selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah pembentukan postur dalam keadaan mengemudi. Postur kerja yang dibuat harus disesuaikan dengan interaksi manekin dengan konfigurasi kursi dan instrumen kontrol yang dibuat serta harus sesuai dengan hasil observasi kebiasaan postur duduk pengemudi. Pembuatan postur dilakukan pada manekin yang dibuat berdasarkan data antropometri personel batalyon infantri mekanis 201 dengan persentil 5 dan persentil 95.

Pembuatan postur kerja pengemudi harus dilakukan dengan teliti agar postur duduk yang terbentuk sedemikian hingga mendekati kondisi sebenarnya. Pembuatan postur mengemudi diawali dengan mengkondisikan posisi manekin agar berada dalam kondisi duduk. Selanjutnya, posisi anggota badan dan sudut yang dibentuk oleh setiap siku disesuaikan dengan interaksi yang terjadi antara manekin dengan model benda kerja.

Penyesuaian bentuk postur dan posisi anggota tubuh dikerjakan melalui menu *human control* yang tersedia pada *software* Jack 6.1. Melalui menu ini, dapat dilakukan manipulasi terhadap bagian tubuh manekin. Manipulasi yang

dilakukan dapat berupa pengaturan posisi anggota tubuh dan menyesuaikan persendian tubuh sesuai dengan postur yang diinginkan. Beberapa persendian yang dapat dimanipulasi saat untuk mengatur postur kerja antara lain kepala, mata, leher, bahu, tangan, tulang belakang, dan kaki. Sejumlah anggota tubuh dapat dimanipulasi dengan cara ditranslasi dan dirotasi sementara beberapa anggota tubuh hanya dapat dimanipulasi dengan cara ditranslasi saja atau dirotasi saja.



**Gambar 3.6** Postur manekin di *virtual environment* pada *software* Jack 6.1

Pembuatan postur kerja manekin pada kondisi aktual dibuat berdasarkan hasil pengamatan kebiasaan mengemudi kendaraan tempur dari personel infantri mekanis yang ditugaskan sebagai pengemudi. Ciri kebiasaan postur aktual yang digambarkan adalah posisi sudut pinggang yang mengikuti kemiringan sandaran sementara punggung bagian atas agak membungkuk ke arah depan. Bagian kepala pengemudi tegap dan menghadap ke depan untuk mengamati kondisi jalan yang ada di depan. Bagian tangan menggenggam setir bagian tengah ke atas.

Terdapat sedikit perbedaan pada postur pengemudi dengan ukuran antropometri persentil 5 dan persentil 95. Bagian punggung pengemudi dengan persentil 95 sedikit lebih membungkuk karena ketinggian mereka saat duduk mendekati ketinggian atap kendaraan dari dudukan sehingga mereka harus lebih menunduk. Selain itu, kebiasaan ini juga dipengaruhi oleh ketinggian mata pengendara. Pengendara cenderung tidak menyandar karena hal ini akan mereka bertambah tinggi sehingga bidang pandang mereka tidak memenuhi standar

mengemudi kendaraan tempur, yaitu dapat melihat 15 derajat di atas garis horison pandangan. Selain postur yang menunduk, lutut pengemudi dengan persentil 95 juga lebih ditekuk karena ukuran kaki mereka yang lebih panjang.



**Gambar 3.7** Tampilan Menu *View Cones*

Pembuatan postur membungkuk yang sesuai dengan kondisi aktual dilakukan dengan menggunakan bantuan menu *view cone* pada *software* Jack 6.1. Pada awalnya, manekin dimanipulasi untuk melakukan postur duduk tegak atau menyender. Setelah ditampilkan *view cones* dengan sudut 15 derajat, terlihat bahwa pandangan menekin terhalang (Gambar 3.8). Setelah itu, dilakukan koreksi pada postur punggung untuk mendapatkan sudut pandang minimum 15 derajat di atas garis pandang horizontal.



**Gambar 3.8** Manekin dengan Pandangan yang Terhalang

#### 3.4.4 Pemberian Beban (*Weights*) pada Manekin

Manekin dibuat sedemikian rupa hingga menyerupai kondisi kerja sebenarnya. Sesuai dengan standar perlengkapan pengemudi kendaraan tempur,

manekin dipakaikan helm seberat 1 kilogram dan rompi anti peluru yang berisi pelat baja seberat 10 kilogram. Beban diberikan pada bagian tubuh manekin yang berinteraksi dengan benda yang dikenakan yaitu kepala (hair.top) dan bagian bahu (clavicle.acromion). Beban yang diberikan pada bagian bahu sebesar 5 kg dan terdistribusi merata di kedua bahu manekin.

### 3.5 Analisis Kondisi Aktual Menggunakan *Task Analysis Toolkit*

Dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT), dapat dilakukan analisa pengaruh postur duduk terhadap tubuh. Perangkat alat bantu analisis manusia yang terdapat pada *software* Jack 6.0 ini terdiri dari empat buah *tools*, antara lain:

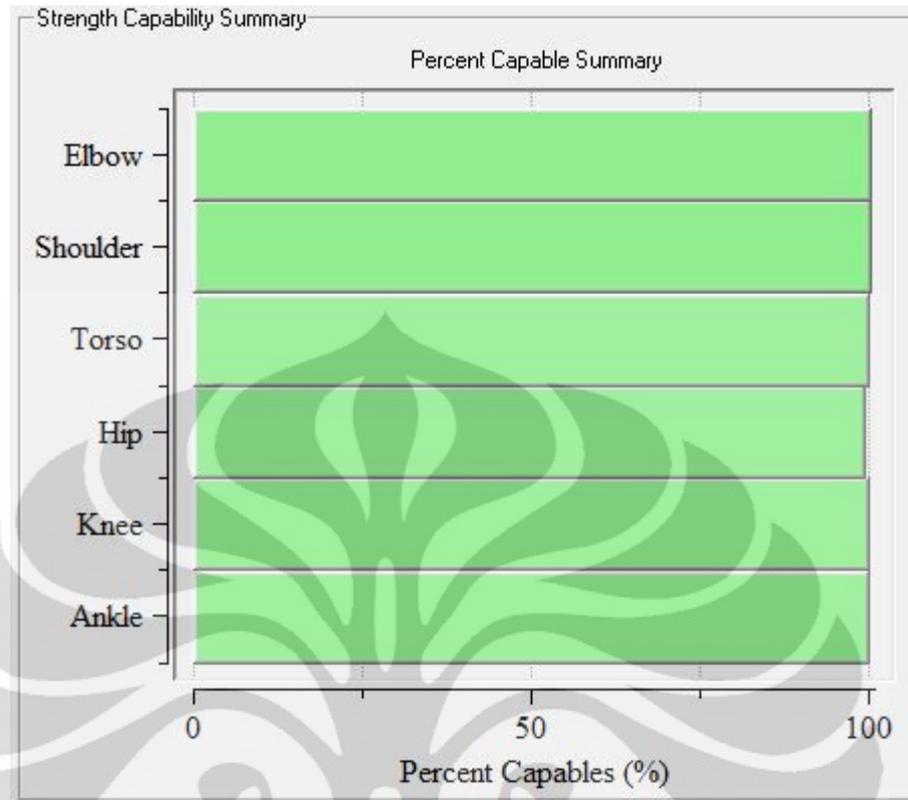
- *Static Strength Prediction*
- *Low Back Analysis*
- *Ovako Working Posture Analysis System*
- *Rapid Upper Limb Assessment*

Model manusia yang telah dibuat dan disimulasikan posturnya pada konfigurasi desain aktual akan dianalisis menggunakan keempat perangkat alat bantu di atas. Hasil analisis keempat *tools* akan dikombinasikan untuk mendapatkan nilai postur tubuh secara keseluruhan. Nilai hasil kombinasi keempat analisis tersebut dinamakan *Posture Evaluation Index* (PEI). Hasil analisis ini nantinya akan dibandingkan antar konfigurasi satu dengan lainnya sehingga dapat dilihat postur pada konfigurasi mana yang memberikan dampak terbesar bagi tubuh.

#### 3.5.1 Pengujian pada persentil 5

##### 3.5.1.1 Static Strength prediction

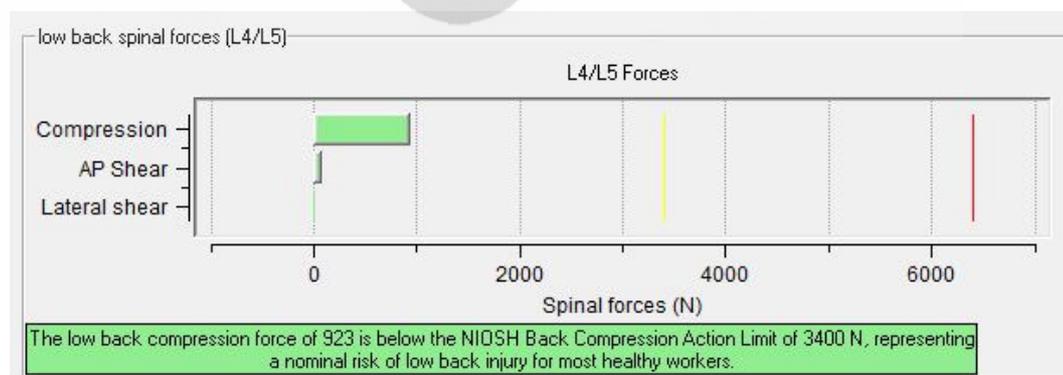
*Static strength prediction* digunakan untuk melakukan validasi apakah postur yang dibuat dapat dilakukan oleh populasi lainnya.



**Gambar 3.9** Hasil analisa SSP

### 3.5.1.2 Lower Back Analysis

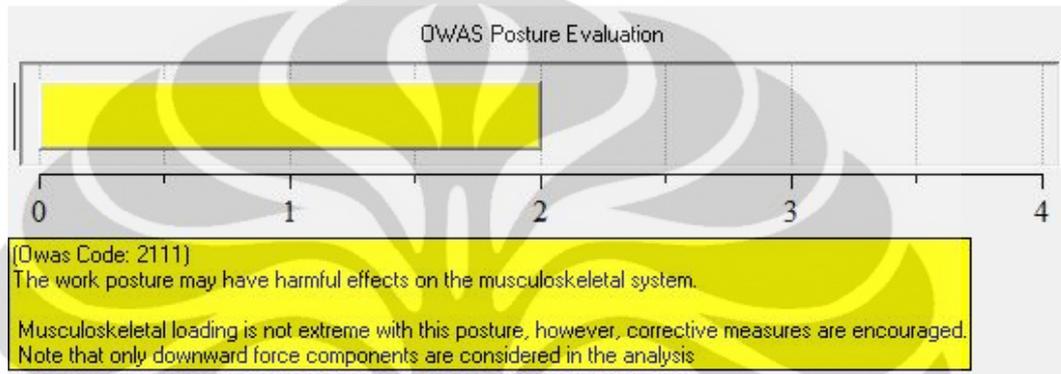
Lower Back Analysis digunakan untuk melihat seberapa besar beban yang dikenakan atau ditanggung oleh punggung bagian bawah (Low Back), yaitu bagian punggung L4 dan L5. Berdasarkan hasil analisis dari konfigurasi aktual pada manekin dengan antropometri persentil 5, besar gaya yang diterima oleh punggung bagian bawah adalah 923 N. Nilai ini masih di bawah batas normal yang diperbolehkan, yaitu 3400 N.



**Gambar 3.10** Hasil analisis LBA Konfigurasi 1 pada persentil 5

### 3.5.1.3 Ovako Working Analysis System

Analisis menggunakan OWAS bertujuan untuk melakukan tinjauan postur standar untuk *trunk* (batang tubuh), *arms* (lengan), *lower body* (tubuh bagian bawah), dan *neck* (leher). Dari hasil analisis modul OWAS dalam Jack TAT untuk konfigurasi aktual pada manekin persentil 5, didapatkan kode OWAS 2111. Kemudian kode OWAS tersebut dikalkulasikan dan menghasilkan skor OWAS sebesar 2 poin.



**Gambar 3.11** Hasil Analisis OWAS pada konfigurasi aktual

### 3.5.1.4 Rapid Upper Limb Assessment

RULA merupakan alat untuk mengevaluasi faktor-faktor risiko postur, kontraksi otot statis, gerakan repetitif, dan gaya yang digunakan untuk suatu pekerjaan tertentu. Setiap faktor memiliki kontribusi masing-masing terhadap suatu nilai yang dihitung. Nilai-nilai tersebut dijumlah dan diterapkan pada tabel untuk menentukan *Grand Score*.

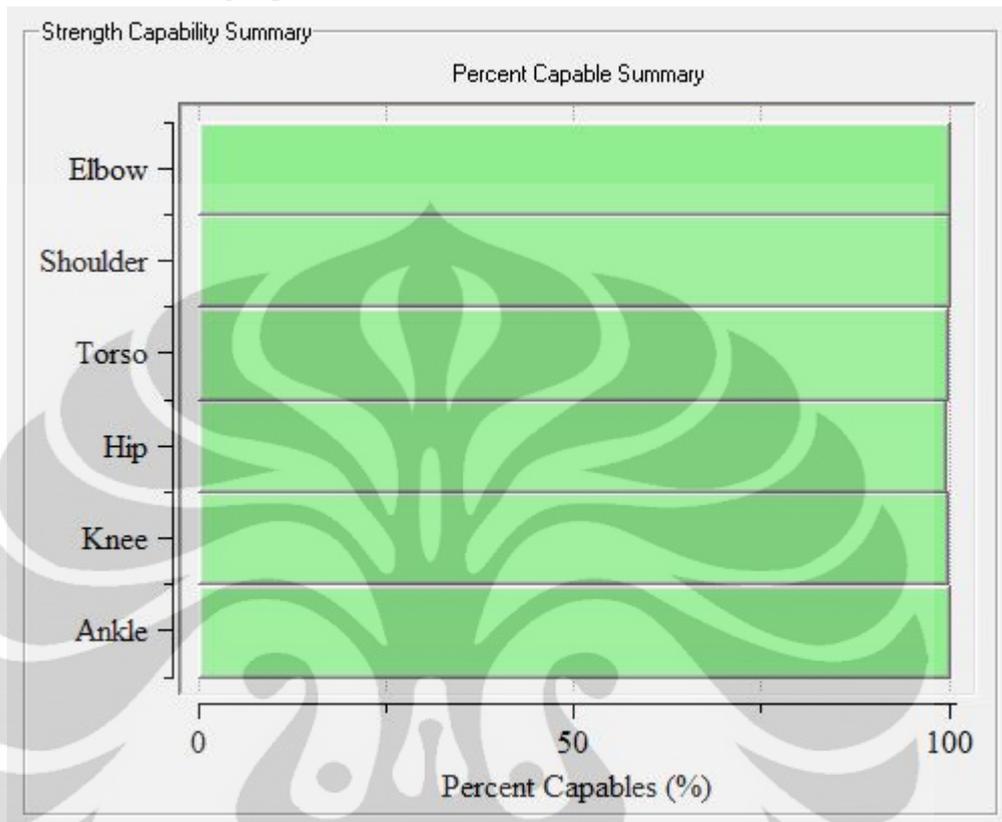
<b>Body Group A Posture Rating</b> Upper arm: 3 Lower arm: 2 Wrist: 2 Wrist Twist: 1  Total: 5		<b>Body Group B Posture Rating</b> Neck: 4 Trunk: 3  Total: 7	
Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Not supported		Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load	
<b>Legs and Feet Rating</b> Seated, Legs and feet well supported. Weight even.			
<b>Grand Score: 7</b> Action: Investigation and changes are required immediately.			

**Gambar 3.12** Hasil Analisis RULA pada konfigurasi aktual

Grand Score menunjukkan sejauh mana pekerja terpapar faktor-faktor risiko di atas dan berdasarkan nilai tersebut, dapat disarankan tindakan yang perlu diambil. Berdasarkan hasil analisis RULA, grand score dari postur duduk konfigurasi aktual adalah sebesar 7 poin. Poin 7 ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami pengemudi adalah postur yang membahayakan kesehatan, dibutuhkan investigasi dan perbaikan secepatnya.

### 3.5.2 Pengujian Pada Persentil 95

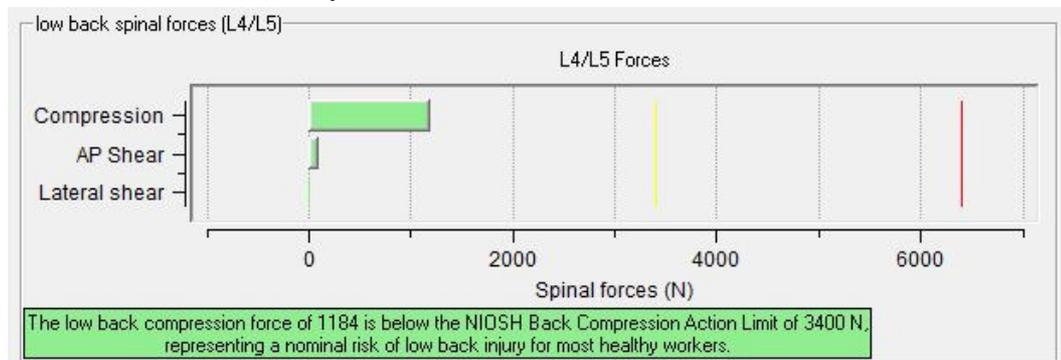
#### 3.5.2.1 Static Strength prediction



**Gambar 3.13** Hasil Analisis SSP pada Persentil 95

Hasil analisa menggunakan *Static Strength Prediction* menunjukkan bahwa hampir seluruh populasi dapat melakukan postur kerja yang dibuat pada model.

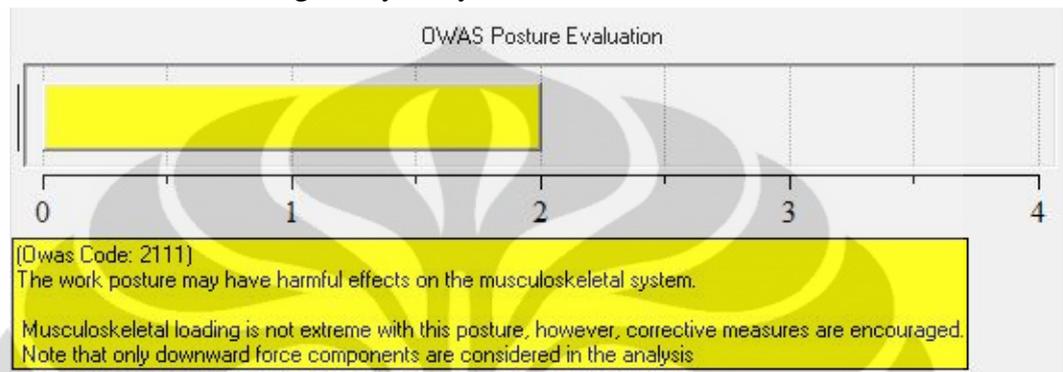
#### 3.5.2.2 Lower Back Analysis



**Gambar 3.14** Analisis LBA pada Persentil 95

Berdasarkan hasil analisis dari konfigurasi aktual pada manekin dengan antropometri persentil 5, besar gaya yang diterima oleh punggung bagian bawah adalah 1184 N. Nilai ini masih di bawah batas normal yang diperbolehkan, yaitu 3400 N.

### 3.5.2.3 Ovako Working Analysis System



**Gambar 3.15** Analisis OWAS pada Persentil 95

Dari hasil analisis modul OWAS dalam Jack TAT untuk konfigurasi aktual pada manekin persentil 95, didapatkan kode OWAS 2111. Kemudian kode OWAS tersebut dikalkulasikan dan menghasilkan skor OWAS sebesar 2 poin.

### 3.5.2.4 Rapid Upper Limb Assessment

<b>Body Group A Posture Rating</b> Upper arm: 3 Lower arm: 3 Wrist: 2 Wrist Twist: 1 Total: 5		<b>Body Group B Posture Rating</b> Neck: 4 Trunk: 3 Total: 7	
Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Not supported		Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load	
<b>Legs and Feet Rating</b> Seated, Legs and feet well supported. Weight even.			
<b>Grand Score: 7</b> Action: Investigation and changes are required immediately.			

**Gambar 3.16** Analisis RULA pada Persentil 95

Berdasarkan hasil analisis RULA, grand score dari postur duduk konfigurasi aktual adalah sebesar 7 poin. Poin 7 ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami pengemudi adalah postur yang membahayakan kesehatan, dibutuhkan investigasi dan perbaikan secepatnya.

#### 3.5.2.5 Perhitungan Nilai Posture Evaluation Index

Setelah mendapatkan hasil dari pengujian dengan *Task Analysis Toolkit*, selanjutnya dilakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). Postur Evaluation Index (PEI) didapatkan dengan mengkombinasikan tiga tools dalam JackTAT, yaitu Low Back Analysis, Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment. Perhitungan PEI dilakukan dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada landasan teori. Berikut perhitungan PEI untuk kondisi postur kerja aktual.

Nilai PEI dari konfigurasi aktual untuk persentil 5 adalah

$$\begin{aligned} \text{PEI} &= 923 \text{ N} / 3400\text{N} + 2/4 + 7/7 * 1.42 \\ &= 2.191 \end{aligned}$$

Nilai PEI dari konfigurasi aktual untuk persentil 95 adalah

$$\begin{aligned} \text{PEI} &= 1184 \text{ N} / 3400\text{N} + 2/4 + 7/7 * 1.42 \\ &= 2.268 \end{aligned}$$

Nilai PEI ini selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai PEI untuk konfigurasi lainnya. Setelah itu akan diambil konfigurasi yang memiliki nilai PEI terkecil sebagai dasar pertimbangan dalam membuat rekomendasi desain kabin pengemudi kendaraan lapis baja pengangkut personil yang ergonomis.

### 3.6 Perancangan Konfigurasi Model

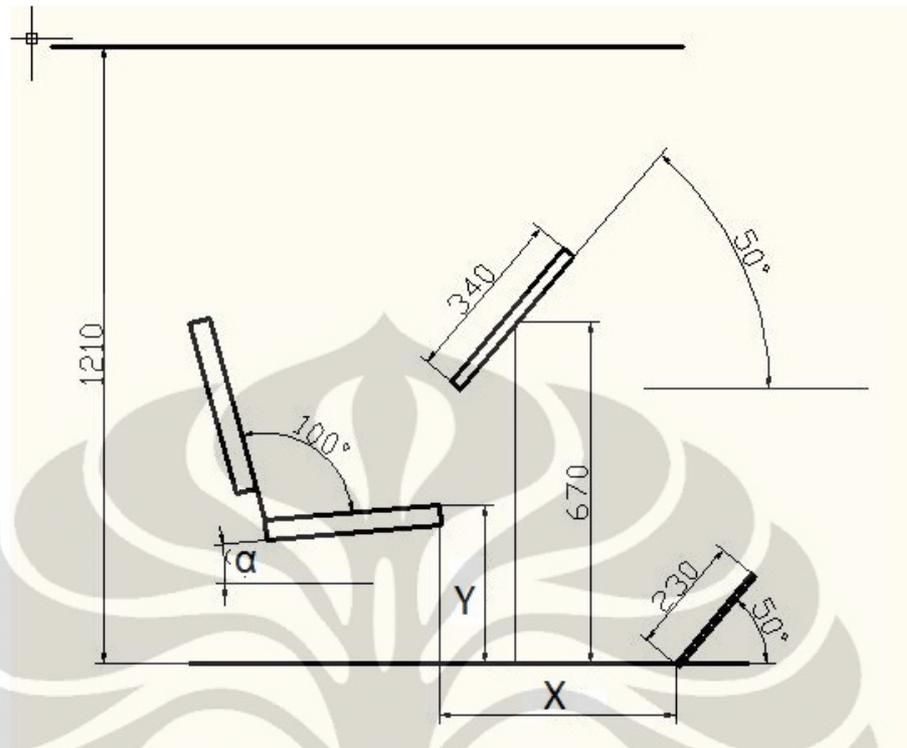
Perancangan konfigurasi model diperlukan untuk menentukan desain kabin pengemudi seperti apa yang lebih ergonomis berdasarkan nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI dari masing-masing konfigurasi nantinya akan dibandingkan satu sama lain, lalu dicari konfigurasi yang memiliki nilai PEI terkecil.

Perancangan konfigurasi dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang telah ditentukan sebelumnya. Terdapat 3 variabel konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu kemiringan kursi, tinggi kursi, dan jarak ujung kursi ke pedal. Kemiringan kursi memiliki 2 varian, tinggi kursi dan jarak ujung kursi ke pedal masing-masing memiliki 3 varian, sehingga terdapat jumlah total konfigurasi sebanyak 18 termasuk konfigurasi aktual.

**Tabel 3.3** Konfigurasi Redesain yang akan dibuat

Nomor	Kemiringan kursi	tinggi kursi (cm)	jarak pedal (cm)
1	0 derajat	36	36
2	0 derajat	36	41
3	0 derajat	36	46
4	0 derajat	31	36
5	0 derajat	31	41
6	0 derajat	31	46
7	0 derajat	26	36
8	0 derajat	26	41
9	0 derajat	26	46
10	5 derajat	36	36
11	5 derajat	36	41
12	5 derajat	36	46
13	5 derajat	31	36
14	5 derajat	31	41
15	5 derajat	31	46
16	5 derajat	26	36
17	5 derajat	26	41
18	5 derajat	26	46

Penentuan rancangan konfigurasi alternatif didasarkan pada spesifikasi kabin pengemudi. Selain itu, data keluhan pengemudi juga turut membantu sebagai pertimbangan untuk menentukan bagian mana yang diubah. Besar kemiringan kursi alternatif didasarkan pada pedoman standar desain kursi pengemudi kendaraan militer yang dikeluarkan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat, yaitu sebesar 15 derajat di atas garis pandang horizontal. Sementara itu, untuk pandangan ke permukaan tanah di depannya tidak mengalami masalah dan antar konfigurasi yang dirancang tidak memberikan pengaruh yang signifikan jika pengemudi selalu dalam posisi bersandar.



**Gambar 3.17** Spesifikasi Konfigurasi Kabin Pengemudi

Pertimbangan untuk membuat konfigurasi kursi dengan ketinggian yang lebih rendah dilakukan berdasarkan keluhan pengemudi bahwa kursi terlalu tinggi. Selain itu, setelah melakukan pengujian pada desain aktual, diketahui bahwa kondisi kursi aktual menyebabkan terbatasnya pandangan pengemudi saat duduk tegak atau menyandar. Diketahui pula bahwa pengemudi dengan antropometri persentil 95 harus menunduk karena tinggi atap kendaraan membuat mereka tidak bisa duduk tegak, apalagi jika mereka menggunakan helm. Penentuan pengurangan tinggi sebesar 5 cm dan 10 cm dilakukan mengacu pada tersedianya ruang di bawah kursi yang memungkinkan dilakukan penurunan sebesar 10 cm. Penentuan penurunan tinggi sebesar 5 cm dan 10 cm ini juga didasarkan panduan standar desain kursi pengemudi kendaraan militer yang dikeluarkan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat. Pada panduan ini, dinyatakan bahwa kursi standar berada pada rentang ketinggian 15 cm sampai 38 cm.

Pertimbangan untuk memasukkan jarak ujung kursi ke pedal pada variabel konfigurasi dilakukan atas dasar pemikiran untuk membuat sudut pergelangan lutut sedemikian hingga tercipta kondisi kaki yang nyaman untuk memastikan pengemudi dapat melakukan postur ini dalam jangka waktu yang lama.

Kursi pengemudi pada model dibuat bisa diatur maju dan mundurnya sesuai dengan yang ada pada kondisi aktual. Hal ini dimaksudkan agar kaki pengemudi dengan persentil 5 dapat menjangkau pedal pada konfigurasi dimana jarak pedal 46 cm dari ujung dudukan kursi dengan cara memajukan posisi duduk tanpa mengubah sudut punggung yang seakan-akan tetap bersandar pada sandaran kursi.



## BAB 4

### ANALISIS

Bab keempat ini membahas analisis ergonomi desain kabin pengemudi kendaraan tempur yang digunakan saat ini dan beberapa konfigurasi desain yang diusulkan dengan mengacu pada hasil dari Task Analysis Toolkits yang terdapat dalam software Jack 6.1. Semua konfigurasi desain yang ada akan dihitung besar nilai Posture Evaluation Index (PEI) dan dibandingkan satu sama lain untuk mendapatkan rekomendasi desain kabin pengemudi kendaraan lapis baja pengangkut personel yang paling ergonomis bagi tentara yang mengemudikannya. Pada bagian akhir bab ini, konfigurasi-konfigurasi yang paling optimal ditetapkan. Berdasarkan analisis tersebut, maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

#### 4.1 Analisis Desain Aktual Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur

Model desain aktual dibuat berdasarkan kondisi dan spesifikasi kabin dari kendaraan tempur yang telah ada. Desain aktual kabin pengemudi kendaraan lapis baja terlihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Manekin Persentil 5 pada Desain Kabin Pengemudi Aktual

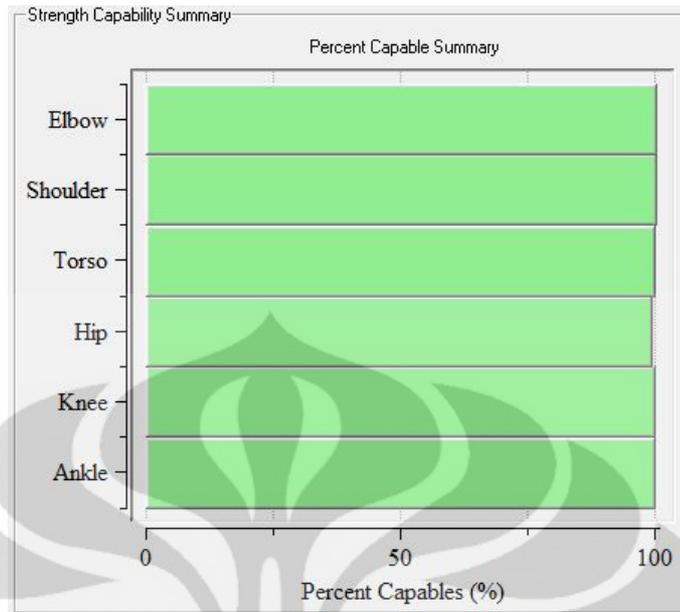


**Gambar 4.2** Manekin Persentil 95 pada Desain Kabin Pengemudi Aktual

#### 4.1.1 Static Strength Prediction (SSP)

Tahap awal yang dilakukan sebelum melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (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). Menurut Prof. Francesco Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D, peneliti dari Fakultas Teknik University of Naples Federico II yang mengembangkan metode PEI, batas minimal yang disarankan dalam pengujian SSP adalah persen kapabilitas sebesar 90 %. Jika tingkat kapabilitas pada SSP ini di atas 90 %, maka perhitungan PEI dapat dilanjutkan.

Berdasarkan hasil analisa *Static Strength Prediction*, terlihat bahwa postur kerja yang didapat dari konfigurasi 1 (aktual) pada persentil 5 maupun 95 memiliki tingkat kapabilitas di atas 90 persen, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.5. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas untuk konfigurasi aktual ini masih dalam batas aman.

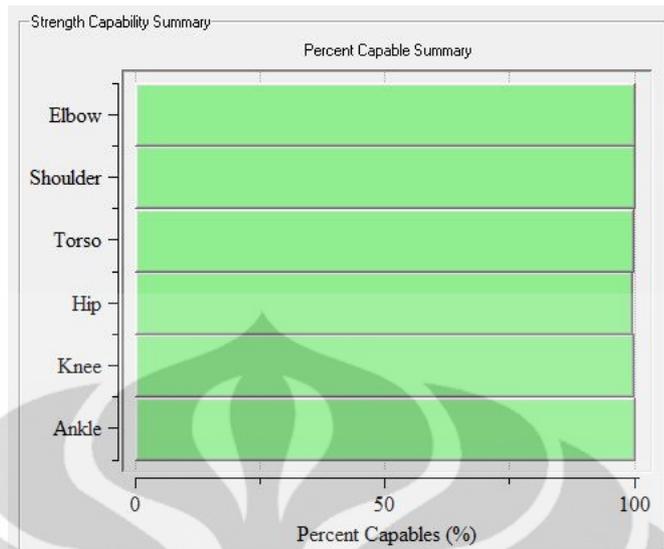


**Gambar 4.3** Grafik SSP Konfigurasi 1 Persentil 5

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 Persentil 95

**Capability Summary Chart**

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-1	FLEXN	68	17	100	-1	FLEXN	73	18	100
	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	69	17	100	-3	ABDUCT	74	18	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-1	--	96	26	100	-1	--	103	28	100
	Humeral Rot	-0	--	42	9	100	-0	--	45	10	100
Trunk	Flex/Ext	-34	EXTEN	420	132	100					
	Lateral Bending	-0	--	378	82	100					
	Rotation	0	--	100	27	100					
	Hip	-0	--	227	91	99	-0	--	229	92	99
	Knee	-0	--	169	59	100	0	--	168	59	100
	Ankle	-0	--	99	33	100	0	--	152	50	100



**Gambar 4.4** Grafik SSP Konfigurasi 1 Persentil 95

**Gambar 4.5** Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 Persentil 95

**Capability Summary Chart**

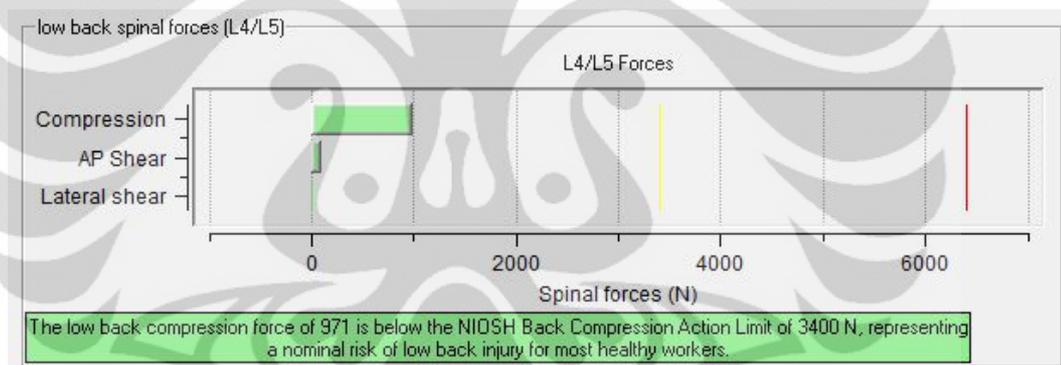
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-2	FLEXN	69	17	100	-2	FLEXN	74	18	100
	Abduc/Adduc	-5	ABDUCT	66	16	100	-5	ABDUCT	71	18	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-1	--	95	26	100	-1	--	102	28	100
	Humeral Rot	-0	--	43	10	100	-0	--	46	10	100
Trunk	Flex/Ext	-47	EXTEN	426	134	100					
	Lateral Bending	-0	--	378	82	100					
	Rotation	0	--	100	27	100					
	Hip	-0	--	229	92	99	-0	--	237	95	99
	Knee	-0	--	167	58	100	0	--	168	59	100
	Ankle	-0	--	113	37	100	-0	--	171	57	100

Dari Tabel 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa hampir keenam bagian tubuh kanan maupun kiri memiliki tingkat kapabilitas 100%, kecuali pada bagian pinggul kiri dan pinggul kanan untuk persentil 5 dan persentil 95 yang memiliki tingkat kapabilitas 99 %. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa 99% populasi personil infantri mekanis memiliki kapabilitas untuk melakukan gerakan sesuai dengan postur mengendarai kendaraan lapis baja pengangkut personil dengan desain kabin pengemudi aktual ini (konfigurasi 1), baik untuk persentil 5 maupun untuk persentil 95.

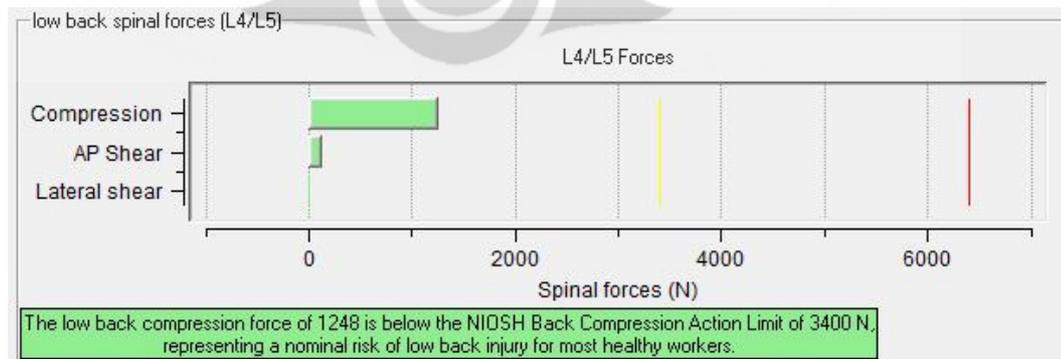
Setelah konfigurasi aktual ini memenuhi persyaratan dari segi kapabilitas berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada analisis SSP ini, maka perhitungan PEI untuk konfigurasi ini bisa dilanjutkan, untuk kemudian dijadikan sebagai pembandingan dengan konfigurasi lainnya.

#### 4.1.2 Hasil Lower Back Analysis (LBA)

*Low Back Analysis* merupakan suatu metode untuk menganalisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan (*compression*) yang terdapat pada bagian tulang belakang manusia, dalam berbagai macam postur kerja dan kondisi beban. Batasan tekanan berdasarkan pada standar NIOSH yaitu 3400 N. Selain menyediakan informasi mengenai tekanan pada vertebral disc L4/L5, hasil analisis metode LBA juga memberikan informasi mengenai momen reaksi (torsi) sagital, lateral, dan aksial yang terjadi pada *vertebral disc* L4/L5.



**Gambar 4.6** Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 5



**Gambar 4.7** Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 95

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 ditampilkan hasil analisis LBA pada persenti 5 dan 95. Dari hasil analisis tersebut diketahui bahwa *low back compression force* pada persentil 5 sebesar 971 N dan pada persentil 95 sebesar 1248 N. Nilai ini didapat posisi badan pengemudi yang menunduk ke depan untuk mendapat bidang pandang yang cukup jelas untuk melihat objek di depan kendaraan yang letaknya relatif lebih tinggi dari posisi mata. Seperti yang didapat dari buku panduan *Department of Defense Design Criteria Standard* (1999), pengemudi harus memiliki sudut pandang ke atas (*upward visibility*) paling tidak 15 derajat di atas garis pandang horizontal. Posisi membungkuk ini membebani pengemudi karena gaya dorong ke depan mengakibatkan tekanan pada punggung dan persebarannya lebih banyak pada bagian *lumbar disk* L4 dan L5 dari ruas tulang belakang. Selain itu, Posisi yang tegak dan agak membungkuk juga membuat posisi garis gaya dari beban rompi anti peluru mengarah ke tulang belakang bagian bawah sehingga ikut terbebani. Nilai *Lower Back Compression Force* yang didapat masih berada di bawah nilai *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N.

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

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

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

Evaluasi ketidaknyamanan postur kerja dinyatakan dalam bentuk kode OWAS. Kode OWAS terdiri dari empat digit angka yang masing-masing angka menggambarkan tingkat kenyamanan punggung (*back*), lengan (*arm*), kaki (*leg*), dan beban angkut (*load handle*). Table 4.3 dibawah ini menjelaskan tentang deskripsi kode OWAS.

**Tabel 4.2** Deskripsi Kode OWAS

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

Kombinasi dari kode OWAS diatas akan menghasilkan suatu nilai total yang menunjukkan tingkat urgensi pengambilan suatu aksi perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera pada pekerja. Adapun kategori nilai OWAS total yang menunjukkan tingkat urgensi perlunya dilakukan perbaikan dapat dilihat pada tabel 4.4.

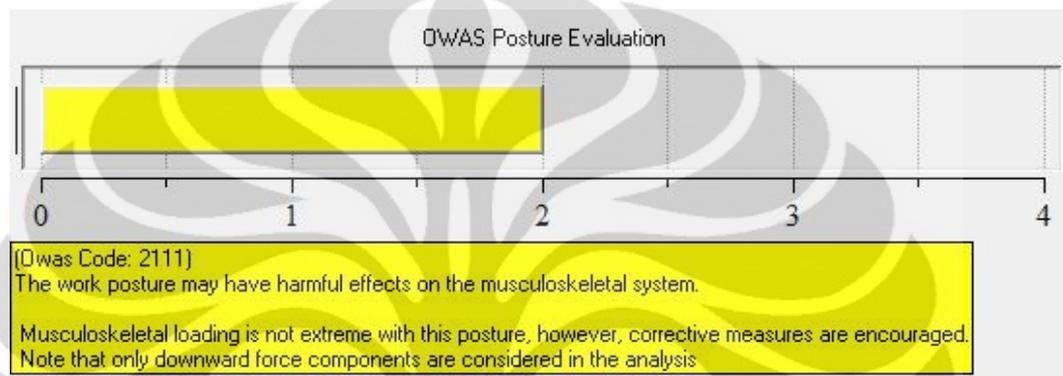
**Tabel 4.3** Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS

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

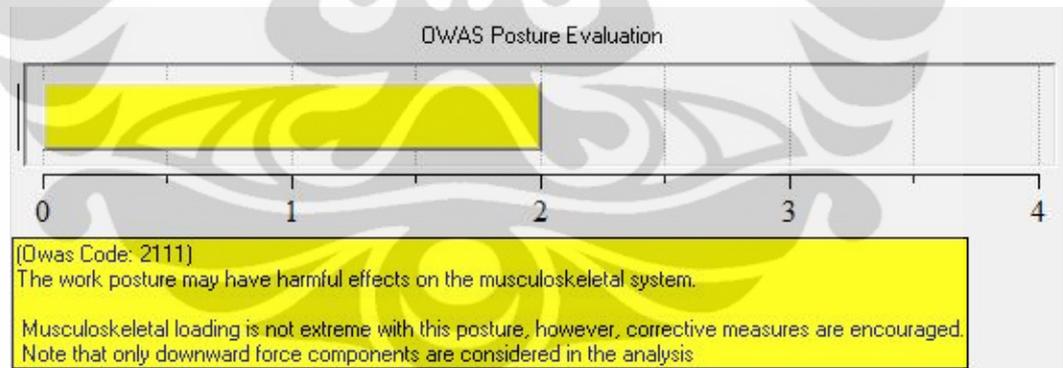
Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

Hasil penggunaan analisis OWAS dari postur kerja yang terbentuk pada konfigurasi 1 menunjukkan kode 2111 pada persentil 5 dan persentil 95. Kode

OWAS ini dikalkulasikan sehingga diketahui bahwa Postur kerja yang didapat jatuh pada kategori 2 yang menunjukkan adanya kemungkinan postur ini memiliki pengaruh buruk terhadap sistem muskuloskeletal. Meskipun beban pada sistem muskuloskeletal yang diperoleh tidak dalam kondisi ekstrem, namun disarankan untuk melakukan tindakan perbaikan.



**Gambar 4.8** Hasil Analisis OWAS pada Konfigurasi dengan Persentil 5



**Gambar 4.9** Hasil Analisis OWAS pada Konfigurasi dengan Persentil 95

Sedangkan bila ditinjau dari segi kode OWAS, dari grafik terlihat bahwa kode OWAS yang diperoleh adalah 2111. Berdasarkan Tabel 4.3, maka kode OWAS tersebut menunjukkan bahwa:

1. Postur bagian punggung masuk ke dalam kategori 2 yang menunjukkan bahwa punggung dalam kondisi ditekuk atau bungkuk.

2. Postur pada bagian lengan bernilai 1, yang menunjukkan bahwa postur kedua lengan berada di bawah bahu. Postur ini merupakan postur yang paling ergonomis karena memiliki risiko cedera yang paling kecil.
3. Postur kaki memiliki nilai 1 menunjukkan bahwa kaki dalam kondisi duduk. Postur ini merupakan postur yang paling ergonomis karena memiliki risiko cedera yang paling kecil.
4. Angka keempat bernilai 1 menunjukkan bahwa beban luar yang diterima masih berada di bawah 10 kilogram. Walaupun total beban rompi anti peluru dan helm yang dikenakan sebesar 11 kilogram, beban ini tidak diterima tubuh seluruhnya karena tubuh dalam posisi duduk sehingga kondisi tubuh ditopang oleh tempat duduk.

Selanjutnya, nilai OWAS ini akan dimasukkan ke dalam perhitungan nilai PEI yang nantinya akan dijadikan sebagai pembanding terhadap konfigurasi desain kabin pengemudi lainnya.

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

Rapid Upper Limb Assessment 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. Setiap faktor memiliki kontribusi masing-masing terhadap suatu nilai yang dihitung RULA menilai sebuah kegiatan dengan mengindikasikan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas.

Sama seperti analisis OWAS, RULA juga memiliki kode yang menunjukkan tingkat kenyamanan postur pada bagian-bagian tubuh tertentu. 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*). Kombinasi nilai dan perhitungan khusus yang dihasilkan pada *Body Group A* dan *Body Group B* akan menghasilkan *Grand Score*, yaitu suatu angka yang menunjukkan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas.

<b>Body Group A Posture Rating</b> Upper arm: 3 Lower arm: 2 Wrist: 2 Wrist Twist: 1  Total: 5  Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Not supported	<b>Body Group B Posture Rating</b> Neck: 4 Trunk: 3  Total: 7  Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load
<b>Legs and Feet Rating</b> Seated, Legs and feet well supported. Weight even.	
<b>Grand Score: 7</b> Action: Investigation and changes are required immediately.	

**Gambar 4.10** Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 Pada Persentil 5

<b>Body Group A Posture Rating</b> Upper arm: 3 Lower arm: 3 Wrist: 2 Wrist Twist: 1  Total: 5  Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Not supported	<b>Body Group B Posture Rating</b> Neck: 4 Trunk: 3  Total: 7  Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute Force/Load: < 2 kg intermittent load
<b>Legs and Feet Rating</b> Seated, Legs and feet well supported. Weight even.	
<b>Grand Score: 7</b> Action: Investigation and changes are required immediately.	

**Gambar 4.11** Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 Pada Persentil 95

Hasil dari analisis RULA pada konfigurasi 1 untuk Persentil 5 menunjukkan bahwa *rating* postur pada *Body Group A* sebesar 5 dan *Body Group B* sebesar 7. Dari rincian skor pada tiap bagian tubuh yang dapat dilihat pada Gambar 4.9, diketahui bahwa bagian lengan atas, lengan bawah, dan batang tubuh (*trunk*) memiliki skor 3 dan leher yang memiliki skor 4 yang berarti bagian tubuh

ini berisiko cedera dan harus ditanggapi lebih lanjut. Kondisi yang sama juga dialami oleh manekin dengan antropometri persentil 95. Skor bagian lengan yang buruk diakibatkan posisi lengan yang terangkat ke depan dan menekuk pada jangka waktu yang relatif lama dan tidak ditopang. Begitu pula dengan batang tubuh (*trunk*) dan leher yang menekuk ke depan akibat menunduk.

Dari hasil *Grand Score* RULA yang didapat, diperoleh kesimpulan bahwa dibutuhkan tindakan dan penelitian untuk melakukan perubahan secepatnya terhadap kondisi postur kerja yang ada.

#### 4.1.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual

Setelah mendapatkan nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PEI. Dari hasil perhitungan, nilai PEI untuk keadaan aktual (konfigurasi 1) pada persentil 5 dan 95 berturut-turut yaitu 2,191 dan 2,268. Nilai PEI ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai PEI pada konfigurasi lain, yang kemudian dicari konfigurasi desain yang memiliki nilai PEI terkecil. Nilai PEI yang makin kecil menunjukkan bahwa desain konfigurasi kabin pengemudi kendaraan tempur makin ergonomis. Tabel 4.5 di bawah ini menunjukkan hasil rekapitulasi nilai SSP, LBA, OWAS dan RULA serta perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 1 kabin pengemudi kendaraan tempur pengangkut personel untuk persentil 5 dan ke-95.

**Tabel 4.4** Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
1	5	923	2	7	2,191
1	95	1184	2	7	2,268

## 4.2 Analisis Rancangan Konfigurasi

Pembuatan konfigurasi desain kabin pengemudi dilakukan dengan melakukan perubahan pada kursi dan pedal akselerator dan rem. Perubahan yang dilakukan pada kursi adalah dengan mengubah sudut kemiringan kursi secara keseluruhan (bantalan duduk dan sandaran) dan mengubah posisi ketinggian kursi. Kemiringan kursi dilakukan dengan membuat sudut antara bantalan duduk dan bidang horizontal sebesar 5 derajat sedangkan ketinggian kursi diubah dengan diturunkan 5 cm dan 10 cm dari posisi awal. Perubahan yang dilakukan pada

akselerator dan rem adalah dengan menjauhkan jaraknya dari tempat duduk. Setiap konfigurasi yang dibuat akan disimulasikan dalam dua ukuran tubuh personel TNI, yaitu persentil 5 dan persentil 95. Berikut ini adalah analisis untuk setiap konfigurasi desain ulang kabin pengemudi kendaraan tempur pengangkut personel (dimulai dari konfigurasi 2 sampai konfigurasi 18)

#### 4.2.1 Analisis Rancangan Konfigurasi 2

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 2 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 5 cm menjadi 41 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.12 dan 4.13 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.12** Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.13** Rancangan Konfigurasi 2 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 2 ini memiliki nilai RULA yang sama dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 2 adalah 971 N untuk persentil 5 dan 1184 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 2 ini masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 2. Pada konfigurasi 2 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.5 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 2 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,206 dan 2,287. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 2 relatif tidak lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih besar.

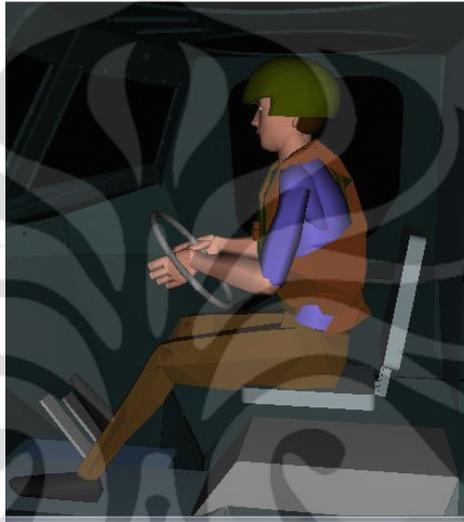
**Tabel 4.5** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
2	5	971	2	7	2,206
2	95	1248	2	7	2,287

#### 4.2.2 Analisis Rancangan Konfigurasi 3

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 3 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 10 cm menjadi 46 cm

dari ujung kursi. Dengan demikian, kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.14 dan 4.15 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.14** Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 5



**Gambar 4.15** Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 3 ini memiliki nilai RULA yang sama dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 3 adalah 1116 N untuk persentil 5 dan 1262 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 3 ini masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 2. Pada konfigurasi 3 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun

masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.6 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 3 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,248 dan 2,291. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 3 tidak lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih besar.

**Tabel 4.6** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3

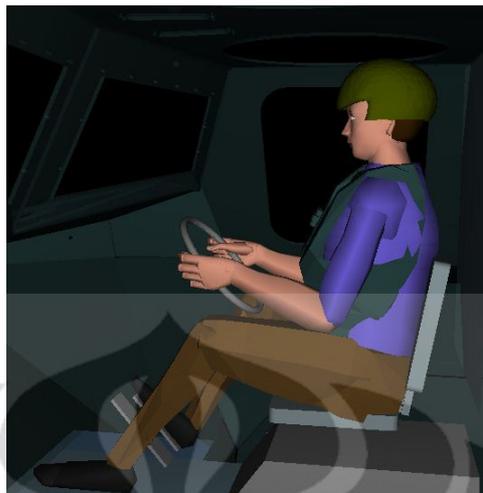
Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
3	5	1116	2	7	2,248
3	95	1262	2	7	2,291

#### 4.2.3 Analisis Rancangan Konfigurasi 4

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 4 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang posisi kursinya diturunkan 5 cm. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyandar. Pada Gambar 4.16 dan 4.17 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.16** Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 5



**Gambar 4.17** Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 4 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 4 adalah 497 N untuk persentil 5 dan 667 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 4 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 4 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.7 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 4 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,208 dan 1,055. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 4 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

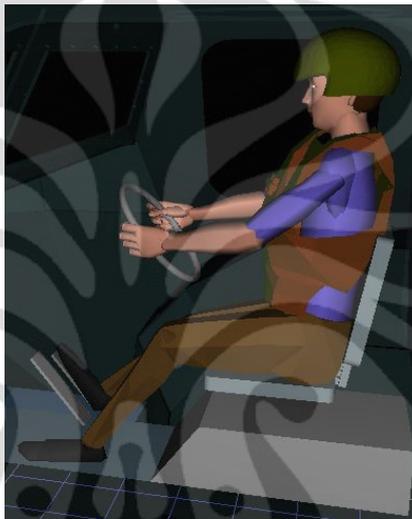
**Tabel 4.7** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
4	5	497	1	4	1,208
4	95	667	1	3	1,055

#### 4.2.4 Analisis Rancangan Konfigurasi 5

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 5 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang posisi kursinya diturunkan 5 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 5 cm menjadi 41 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi

tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.18 dan 4.19 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



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



**Gambar 4.19** Rancangan Konfigurasi 5 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 5 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 5 adalah 489 N untuk persentil 5 dan 611 N untuk persentil 95.

Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 5 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 5 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.8 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 5 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,002 dan 1,038. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 5 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.8** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
5	5	489	1	3	1,002
5	95	611	1	3	1,038

#### 4.2.5 Analisis Rancangan Konfigurasi 6

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 6 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang posisi kursinya diturunkan 5 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 10 cm menjadi 46 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.20 dan 4.21 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.20** Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 5



**Gambar 4.21** Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 6 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 6 adalah 472 N untuk persentil 5 dan 616 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 6 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 6 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

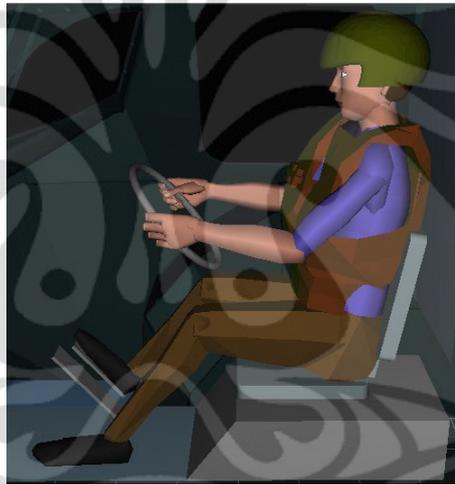
Seperti terlihat pada tabel 4.9 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 6 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 0,097 dan 1,040. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 6 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.9** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
6	5	472	1	3	0,997
6	95	616	1	3	1,040

#### 4.2.6 Analisis Rancangan Konfigurasi 7

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 7 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang posisi kursinya diturunkan 10 cm. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyandar. Pada Gambar 4.22 dan 4.23 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.

**Gambar 4.22** Rancangan Konfigurasi 7 pada Persentil 5**Gambar 4.23** Rancangan Konfigurasi 7 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 7 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 7 adalah 491 N untuk persentil 5 dan 638 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 7 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 7 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.10 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 7 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,206 dan 1,046. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 7 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.10** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 7

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
7	5	491	1	4	1,206
7	95	638	1	3	1,046

#### 4.2.7 Analisis Rancangan Konfigurasi 8

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 8 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang posisi kursinya diturunkan 10 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 5 cm menjadi 41 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.24 dan 4.25 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.24** Rancangan Konfigurasi 8 pada Persentil 5



**Gambar 4.25** Rancangan Konfigurasi 8 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 8 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 8 adalah 499 N untuk persentil 5 dan 671 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 8 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 8 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.11 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 8 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,208 dan 1,056. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 8 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.11** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 8

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
8	5	499	1	4	1,208
8	95	671	1	3	1,056

#### 4.2.8 Analisis Rancangan Konfigurasi 9

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 9 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang posisi kursinya diturunkan 10 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 10 cm menjadi 46 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.26 dan 4.27 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.

**Gambar 4.26** Rancangan Konfigurasi 9 pada Persentil 5



**Gambar 4.27** Rancangan Konfigurasi 9 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 9 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 9 adalah 468 N untuk persentil 5 dan 641 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 9 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 9 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.12 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 9 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 0,996 dan 1,047. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 9 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.12** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 9

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
9	5	468	1	3	0,996
9	95	641	1	3	1,047

#### 4.2.9 Analisis Rancangan Konfigurasi 10

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 10 merupakan desain kabin pengemudi aktual yang kursinya dibuat miring 5 derajat terhadap bidang horizontal. Pada Gambar 4.28 dan 4.29 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.28** Rancangan Konfigurasi 10 pada Persentil 5



**Gambar 4.29** Rancangan Konfigurasi 10 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 10 ini memiliki nilai RULA yang sama dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 10 adalah 823 N untuk persentil 5 dan 1166 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 10 ini masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 2. Pada konfigurasi 2 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.13 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 10 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,162 dan 2,263. Hal ini

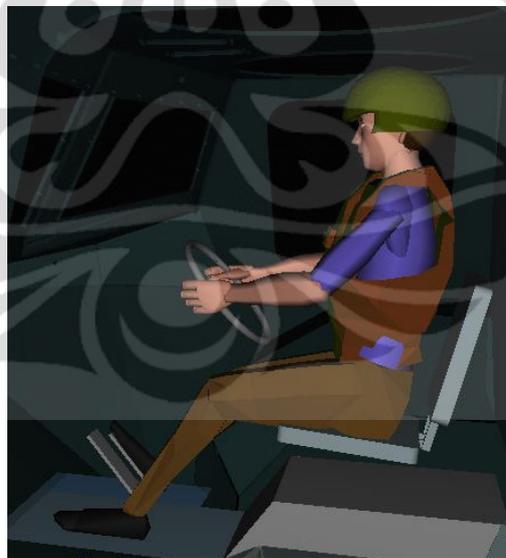
menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 10 relatif tidak lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1).

**Tabel 4.13** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 10

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
10	5	823	2	7	2,162
10	95	1166	2	7	2,263

#### 4.2.10 Analisis Rancangan Konfigurasi 11

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 11 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 5 cm menjadi 41 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.30 dan 4.31 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.30** Rancangan Konfigurasi 11 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.31** Rancangan Konfigurasi 11 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 11 ini memiliki nilai RULA yang sama dengan konfigurasi 1 pada persentil 95 sementara pada persentil 5 memiliki skor RULA yang lebih baik. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 11 adalah 457 N untuk persentil 5 dan 1123 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 11 ini pada persentil 95 masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 2 sedangkan pada persentil 5 memiliki nilai OWAS yang lebih baik. Pada konfigurasi 11 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.14 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 11 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,399 dan 2,250. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 11 relatif tidak lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1) bagi persentil 95.

**Tabel 4.14** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 11

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
11	5	457	1	5	1,399
11	95	1123	2	7	2,250

#### 4.2.11 Analisis Rancangan Konfigurasi 12

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 12 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 10 cm menjadi 46 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.32 dan 4.33 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.32** Rancangan Konfigurasi 12 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.33** Rancangan Konfigurasi 12 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 12 ini memiliki nilai RULA yang sama dengan konfigurasi 1 pada persentil 95 sementara pada persentil 5 memiliki skor RULA yang lebih baik. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 12 adalah 464 N untuk persentil 5 dan 1123 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 12 ini pada persentil 95 masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 2 sedangkan pada persentil 5 memiliki nilai OWAS yang lebih baik. Pada konfigurasi 12 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.15 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 12 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,198 dan 2,250. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 11 relatif tidak lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1) bagi persentil 95.

**Tabel 4.15** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 12

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
12	5	464	1	4	1,198
12	95	1123	2	7	2,250

#### 4.2.12 Analisis Rancangan Konfigurasi 13

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 12 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang posisi kursinya diturunkan 5 cm Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyandar. Pada Gambar 4.34 dan 4.35 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.34** Rancangan Konfigurasi 13 pada Persentil 5



**Gambar 4.35** Rancangan Konfigurasi 13 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 13 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 13 adalah 428 N untuk persentil 5 dan 539 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 13 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 13 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.16 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 13 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,390 dan 1,017. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 13 relatif

lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.16** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 13

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
13	5	428	1	5	1,390
13	95	539	1	3	1,017

#### 4.2.13 Analisis Rancangan Konfigurasi 14

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 14 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang posisi kursinya diturunkan 5 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 5 cm menjadi 41 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.36 dan 4.37 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.36** Rancangan Konfigurasi 14 pada Persentil 5



**Gambar 4.37** Rancangan Konfigurasi 14 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 14 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 14 adalah 449 N untuk persentil 5 dan 539 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 14 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 5 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.17 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 14 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,193 dan 1,017. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 14 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.17** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 14

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
14	5	449	1	4	1,193
14	95	539	1	3	1,017

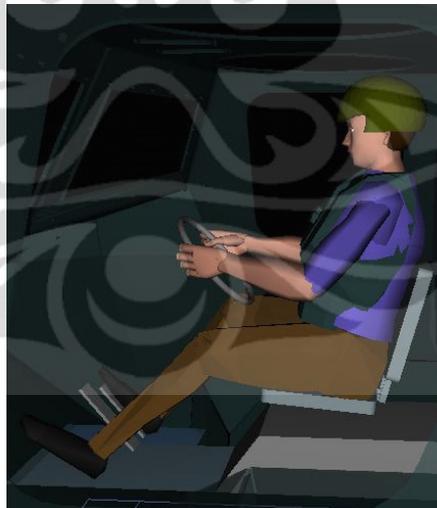
#### 4.2.14 Analisis Rancangan Konfigurasi 15

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 15 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang posisi kursinya diturunkan 5 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 10 cm menjadi 46 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi

tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.38 dan 4.39 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.38** Rancangan Konfigurasi 15 pada Persentil 5



**Gambar 4.39** Rancangan Konfigurasi 15 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 15 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 15 adalah 472 N untuk persentil 5 dan 539 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 15 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1.

Pada konfigurasi 15 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.18 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 15 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 0,997 dan 1,017. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 15 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.18** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 15

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
15	5	472	1	3	0,997
15	95	539	1	3	1,017

#### 4.2.15 Analisis Rancangan Konfigurasi 16

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 16 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang posisi kursinya diturunkan 10 cm. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyandar. Pada Gambar 4.40 dan 4.41 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.40** Rancangan Konfigurasi 16 pada Persentil 5



**Gambar 4.41** Rancangan Konfigurasi 16 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 16 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 16 adalah 443 N untuk persentil 5 dan 537 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 16 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 16 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.19 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 16 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,192 dan 1,219. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 16 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.19** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 16

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
16	5	443	1	4	1,192
16	95	537	1	4	1,219

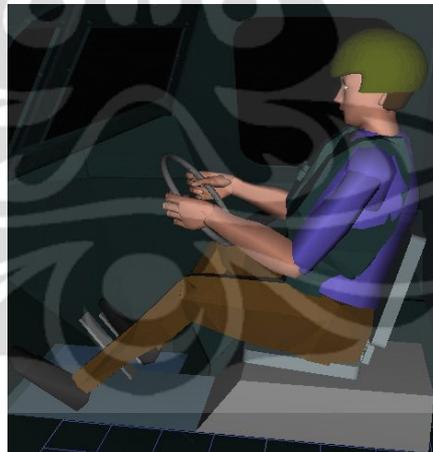
#### 4.2.16 Analisis Rancangan Konfigurasi 17

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 17 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang posisi kursinya diturunkan 10 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 5 cm menjadi 41 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang

untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.42 dan 4.43 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.42** Rancangan Konfigurasi 17 pada Persentil 5



**Gambar 4.43** Rancangan Konfigurasi 17 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 17 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 17 adalah 443 N untuk persentil 5 dan 537 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 17 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 17 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.21 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 17 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,192 dan 1,219. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 17 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.20** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 17

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
17	5	443	1	4	1,192
17	95	537	1	4	1,219

#### 4.2.17 Analisis Rancangan Konfigurasi 18

Kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 18 merupakan desain kabin pengemudi aktual dengan kemiringan kursi 5 derajat terhadap bidang horizontal yang posisi kursinya diturunkan 10 cm, jarak pedalnya dari kursi dijauhkan 10 cm menjadi 46 cm dari ujung kursi. Dengan demikian, pengemudi tidak perlu menunduk untuk memperoleh penglihatan yang jelas dan bahkan ruang untuk kepala cukup untuk menyangar. Kaki pengemudi dengan persentil 95 dapat sedikit lebih diluruskan untuk memperbesar sudut belakang lutut. Pengemudi dengan persentil 5 dapat memajukan kursinya sedikit ke depan agar kakinya dapat mencapai pedal dengan nyaman. Pada Gambar 4.44 dan 4.45 dapat dilihat posisi kerja pengemudi yang disesuaikan dengan perubahan konfigurasi.



**Gambar 4.44** Rancangan Konfigurasi 18 pada Persentil 5



**Gambar 4.45** Rancangan Konfigurasi 18 pada Persentil 95

Desain kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 18 ini memiliki nilai RULA yang lebih rendah dari konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 18 adalah 456 N untuk persentil 5 dan 537 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS konfigurasi 17 sudah lebih baik dari konfigurasi 1 yaitu 1. Pada konfigurasi 18 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.21 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 18 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,196 dan 1,219. Hal ini menunjukkan bahwa kabin pengemudi kendaraan tempur konfigurasi 18 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Hal ini disebabkan beban pada punggung bawah yang lebih kecil dan postur tubuh bagian atas dan bawah yang lebih baik.

**Tabel 4.21** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 18

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
18	5	456	1	4	1,196
18	95	537	1	4	1,219

### 4.3 Pengujian Konfigurasi Usulan Pada Persentil 95 Data Antropometri Indonesia

Pada bagian ini dibahas mengenai pengujian konfigurasi yang dilakukan terhadap manekin yang dibuat dengan menggunakan data antropometri persentil 95 yang didapat dari jurnal *Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Population* yang disusun oleh Tan Kay Chuan, Markus Hartono dan Naresh

Kumar dari Department of Industrial and Systems Engineering National University of Singapore. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah konfigurasi usulan dapat mengakomodasi orang Indonesia dengan data antropometri yang ekstrim atau paling besar. Hasil dari pengujian ini dapat digunakan untuk menghasilkan usulan tambahan dalam desain atau prosedur seleksi pengemudi.

Rekonstruksi model manusia dilakukan dengan menggunakan data antropometri persentil 95 saja. Hal ini dilakukan karena data tinggi badan persentil 5 yang didapat dari jurnal sebesar 162 cm berada di bawah persyaratan calon anggota TNI. Adapun data yang digunakan untuk membuat model manusia Indonesia persentil 95 antara lain tinggi badan sebesar 183 cm dan berat badan sebesar 89 kg.

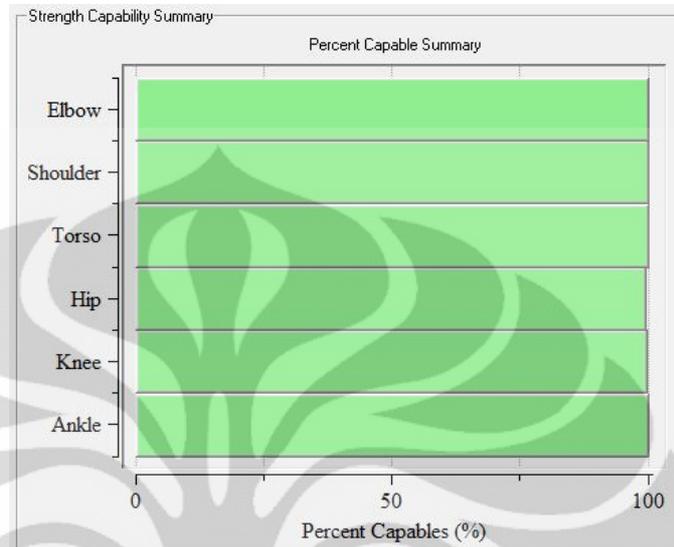
Setelah dilakukan pengujian, ternyata konfigurasi aktual tidak dapat mengakomodasi manusia dengan data antropometri orang Indonesia persentil 95 karena tinggi duduk melebihi tinggi atap kabin. Sementara itu, satu-satunya konfigurasi usulan yang dapat mengakomodasi adalah konfigurasi 18. Konfigurasi ini memiliki spesifikasi antara lain: kemiringan kursi 5 derajat, tinggi kursi dari permukaan lantai kabin sebesar 26 cm, dan jarak dari ujung bantalan kursi ke pedal sebesar 46 cm.



**Gambar 4.46** Postur Pengemudi dengan Antropometri Indonesia Persentil 95

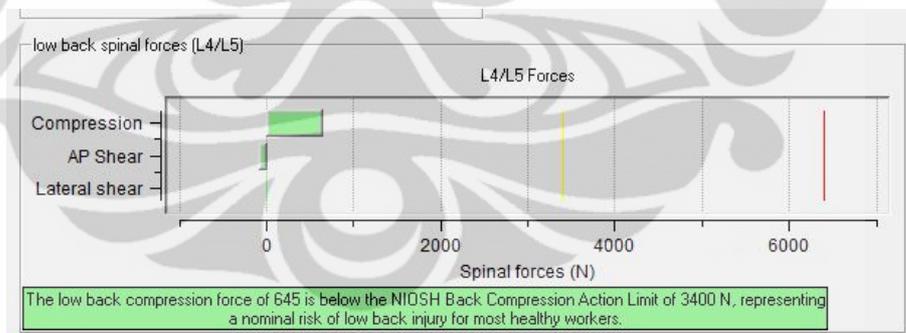
Simulasi postur duduk dengan cara yang sama dengan pengujian-pengujian sebelumnya. Postur yang didapat dapat dilihat pada Gambar 4.46. Setelah itu

dilakukan analisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* berupa *Static Strength Prediction (SSP)*, *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Analysis System (OWAS)*, dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*.



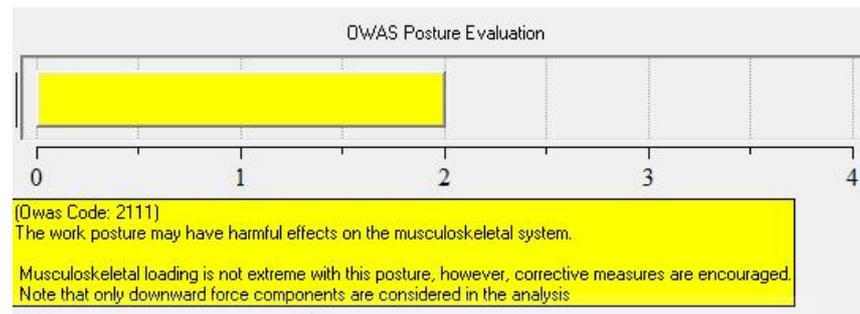
**Gambar 4.47** Hasil Analisis SSP pada Antropometri Indonesia Persentil 95

Berdasarkan hasil pengujian *Static Strength Prediction*, terlihat bahwa postur kerja yang terbentuk memiliki persentase kapabilitas di atas 90 persen populasi.



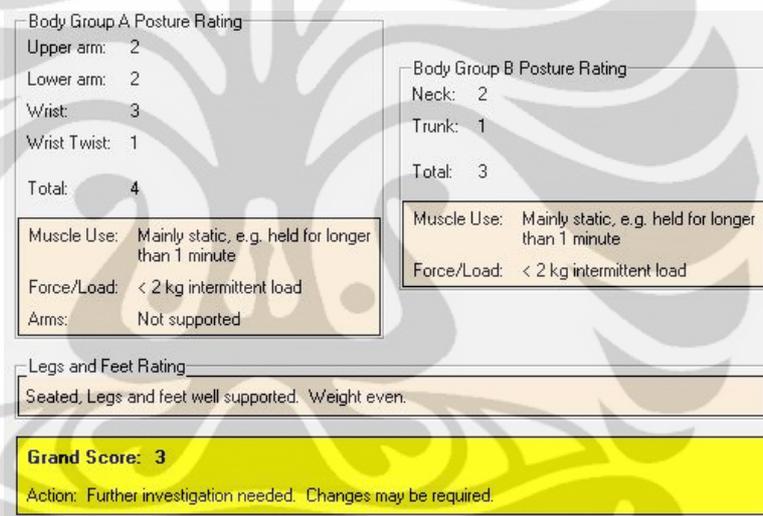
**Gambar 4.48** Hasil Analisis LBA pada Antropometri Indonesia Persentil 95

Hasil Pengujian LBA menunjukkan bahwa gaya yang membebani punggung bagian bawah adalah sebesar 645 N. Nilai ini masih dibawah *Back Compression Action Level* NIOSH yaitu sebesar 3400 N.



**Gambar 4.49** Hasil Analisis OWAS pada Antropometri Indonesia Persentil 95

Berdasarkan hasil analisis OWAS, diperoleh kode 2111 dengan skor 2 yang berarti postur kerja masih memiliki risiko terjadinya gangguan muskuloskeletal walaupun tidak ekstrim.



**Gambar 4.50** Hasil Analisis RULA pada Antropometri Indonesia Persentil 95

Hasil analisis RULA menunjukkan rating total *body group A* sebesar 4 dan *body group B* sebesar 3 sehingga dihasilkan *Grand Score* sebesar 3.

Hasil analisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* di atas kemudian diintegrasikan menggunakan perhitungan *Posture Evaluation Index*, sehingga didapat hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.22

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
18	95	645	2	3	1,298

**Tabel 4.22** Rekapitulasi Perhitungan PEI

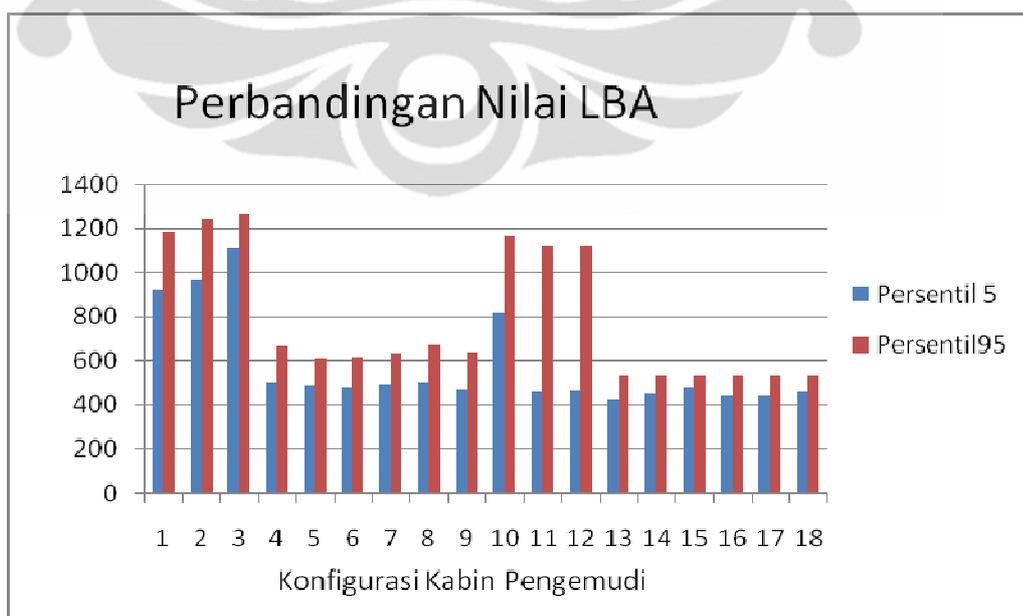
#### 4.4 Analisis Perbandingan

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

##### 4.4.1 Analisa Perbadingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

Setelah melakukan perhitungan nilai PEI dari desain aktual kabin pengemudi kendaraan tempur tipe APC dan 17 konfigurasi usulan, dilakukan perbandingan terhadap hasil analisis konfigurasi 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 bagi personil kesatuan infantri mekanis Tentara Nasional Indonesia.

Dari perbandingan nilai LBA dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.46, terlihat bahwa nilai LBA yang didapat relatif lebih tinggi pada konfigurasi 1 sampai 3 dan 10 sampai 12. Hal ini menunjukkan bahwa postur yang didapat dari konfigurasi dengan ketinggian kursi aktual memberikan beban yang lebih tinggi karena pada kursi dengan ketinggian aktual, pengemudi harus membungkuk untuk mendapatkan pandangan yang cukup.

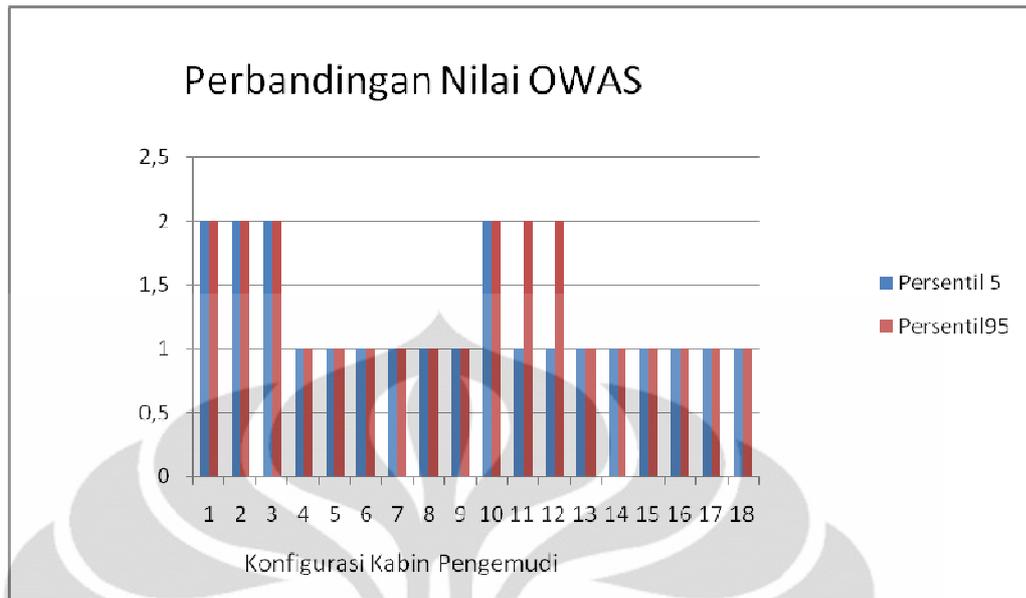


**Gambar 4.51** Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi

Nilai LBA yang paling kecil untuk persentil 5 terdapat pada konfigurasi 13 yaitu sebesar 428 N., sedangkan untuk persentil 95 didapat dari konfigurasi 16, 17 dan 18 yang memiliki nilai LBA yang sama, yaitu 537 N. Dari grafik juga terlihat bahwa besarnya nilai LBA pada saat melakukan postur kerja di dalam kabin pengemudi dipengaruhi oleh antropometri pengemudi. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.45, nilai LBA pada konfigurasi 11 dan 12 memiliki perbedaan yang jauh. Hal ini disebabkan oleh perbedaan postur yang dibentuk pengemudi persentil 5 dan persentil 95 pada rancangan konfigurasi tersebut (Gambar 4.30 dan 4.31). Pada konfigurasi tersebut, pengemudi persentil 5 dapat menyandar, sementara pengemudi dengan persentil 95 sikapnya membungkuk. Pada kondisi konfigurasi tersebut, keterbatasan ruang untuk kepala dan sudut pandangan pada kabin pengemudi memberikan pengaruh pada postur kerja yang terbentuk sehingga pada manekin dengan ukuran antropometri yang berbeda dapat terbentuk postur yang berbeda pada konfigurasi yang sama.

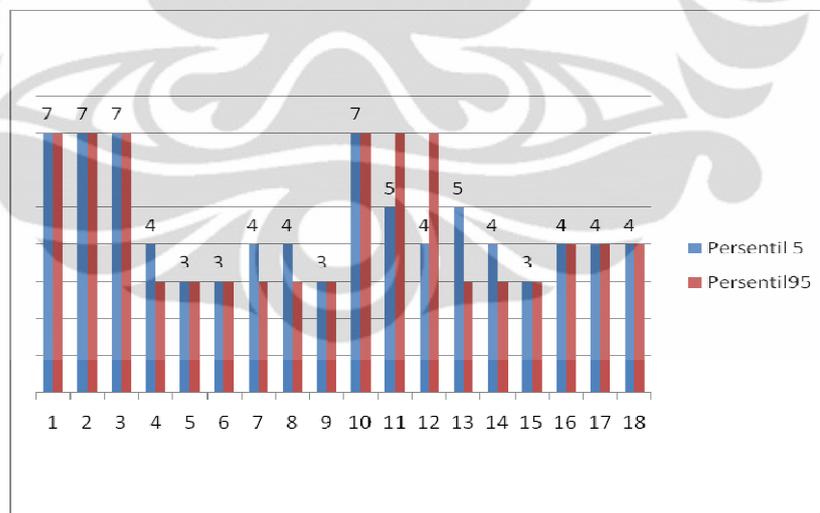
Jika nilai hasil analisis LBA semua konfigurasi kursi datar dibandingkan dengan hasil analisis LBA semua konfigurasi kursi miring 5 derajat terhadap bidang horizontal, terlihat bahwa pada persentil 95, *low back compression* dari konfigurasi kursi miring lebih kecil. Hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa kondisi punggung yang lebih menyandar hingga sudut tertentu dapat mengurangi gaya beban pada punggung bagian bawah. Salah satu penjelasan terhadap hal ini adalah ketika punggung menyandar lebih miring 5 derajat, garis gaya beban dari badan bagian atas yang mengarah tegak lurus ke bawah yang menjadi menjauh dari titik letak tulang punggung bagian bawah.

Sementara untuk nilai OWAS, dapat dilihat dari Gambar 4.46 bahwa besarnya OWAS yang didapat dari tiap konfigurasi memiliki pola yang mirip dengan perbandingan nilai LBA pada tiap konfigurasi. Konfigurasi dengan tinggi aktual memiliki nilai OWAS yang tinggi. Hal ini dipengaruhi kecenderungan pengemudi untuk membungkukkan badannya sehingga menaikkan skor OWAS pada bagian punggung.



**Gambar 4.52** Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi

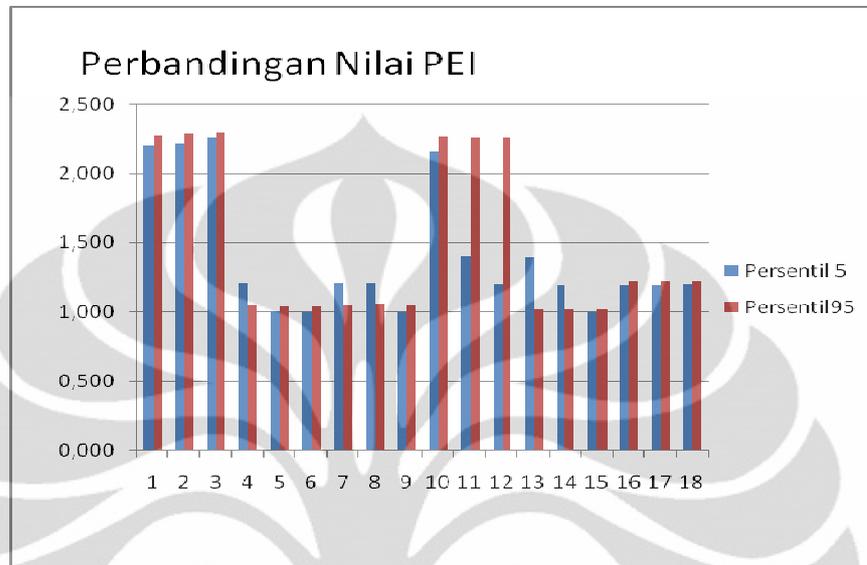
Sama seperti nilai LBA, nilai OWAS juga berbeda untuk masing-masing persentil pada konfigurasi 11 dan 12. Hal ini disebabkan kondisi postur punggung yang berbeda pada tiap persentil di konfigurasi tersebut.



**Gambar 4.53** Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi

Pola yang mirip juga terlihat pada grafik perbandingan nilai RULA seluruh konfigurasi yang ditampilkan pada Gambar 4.48. Nilai RULA cenderung tinggi pada konfigurasi dengan tinggi kursi aktual dimana pengemudi harus agak membungkuk untuk mendapatkan sudut pandangan minimal 15 derajat di atas

garis pandang horizontal. Selain itu, besar nilai RULA pada penelitian ini juga dipengaruhi kondisi tangan dalam memegang setir, seperti yang terlihat pada konfigurasi 13 (bandingkan Gambar 4.34 dan 4.35).



**Gambar 4.54** Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

Dengan membandingkan postur kerja dari tiap konfigurasi dengan hasil analisis-analisis di atas, dapat diketahui bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai PEI. Dari perbandingan nilai PEI, terlihat bahwa nilai yang relatif tinggi selalu berada pada konfigurasi kursi dengan ketinggian aktual. Konfigurasi usulan untuk menurunkan ketinggian kursi terbukti dapat memberikan perbaikan yang signifikan pada nilai PEI karena dapat mengubah postur kerja pengemudi ke kondisi yang lebih aman.

Pemilihan konfigurasi yang paling ergonomis dilakukan dengan mencari konfigurasi dengan nilai PEI terendah. Nilai PEI yang terendah untuk persentil 5 berada pada konfigurasi 9, yaitu sebesar 0,996. Nilai PEI yang terendah untuk persentil 95 berada pada konfigurasi 13, 14, dan 15, yaitu sebesar 1,017. Dari konfigurasi 13, 14, dan 15 tersebut, nilai PEI untuk persentil 5 yang terendah ada pada konfigurasi 15, yaitu 0,997. Selanjutnya dilakukan perbandingan antara konfigurasi 11 dan konfigurasi 15. Berikut ini perbandingan rekapitulasi Perhitungan PEI kedua konfigurasi tersebut.

**Tabel 4.22** Perbandingan Rekapitulasi PEI Konfigurasi 9 dan Konfigurasi 15

Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
9	5	468	1	3	0.996
9	95	641	1	3	1.047
15	5	472	1	3	0.997
15	95	539	1	3	1.017

Nilai PEI terbaik untuk persentil 5 yang terdapat pada konfigurasi 9 hanya lebih rendah 0,001 dari nilai PEI untuk persentil 5 pada konfigurasi 15. Di sisi lain, nilai PEI terbaik untuk persentil 95 yang terdapat pada konfigurasi 15 memiliki selisih 0,030 dengan nilai PEI untuk persentil 95 pada konfigurasi 9. Dengan demikian disimpulkan bahwa konfigurasi 15 - dengan spesifikasi kemiringan kursi 5 derajat dari bidang horizontal, tinggi kursi diturunkan 5 cm sehingga menjadi 31 cm dari permukaan lantai kabin pengemudi, jarak pedal ke ujung kursi ditambah 10 cm sehingga menjadi 46 cm – merupakan konfigurasi yang paling ergonomis bagi pengemudinya.

Sementara itu, dari hasil pengujian pada persentil 95 data antropometri Indonesia yang didapat dari jurnal, diperoleh bahwa konfigurasi yang bisa mengakomodasi hanya konfigurasi 18. Konfigurasi 18 memiliki spesifikasi yang sama dengan konfigurasi 15 kecuali posisi tinggi kursi yang lebih rendah 5 cm. Hasil pengujian tersebut menjadi masukan/bahan pertimbangan untuk perancangan kabin pengemudi yang *adjustable* atau bisa diatur posisi ketinggian kursinya antara 26 cm sampai 31 cm dari permukaan lantai kabin pengemudi. Hal ini dipertimbangkan karena nilai PEI yang didapat dari pengujian dengan antropometri TNI memiliki selisih yang cukup besar pada konfigurasi 15 dan konfigurasi 18.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan. Pada Bab 5 Ini akan dipaparkan kesimpulan dari keseluruhan penelitian disertai saran.

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian “Perancangan Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Tipe *Armored Personnel Carrier* yang Ergonomis dengan Menggunakan *Virtual Environment*” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain actual kabin pengemudi kendaraan tempur saat ini memiliki nilai LBA sebesar 923 N untuk persentil 5 dan 1184 N untuk persentil 95. Nilai LBA yang masih dibawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH (3400 N) menunjukkan bahwa desain tersebut masih cukup aman dan memberikan resiko cedera pada tulang belakang yang relatif kecil. Sementara itu, nilai OWAS yang diperoleh bernilai 2, menunjukkan bahwa postur kerja yang didapat memiliki risiko terjadinya gangguan musculoskeletal dan sebaiknya dilakukan tindakan perbaikan. Nilai RULA yang diperoleh adalah 7 untuk persentil 5 dan persentil 95, yang berarti perlu dilakukan penyelidikan dan tindakan secepatnya untuk memperbaiki kondisi postur kerja. Nilai PEI yang didapat adalah 2,191 untuk persentil 5 dan 2,268 untuk persentil 95. Nilai PEI ini bukan nilai terbaik dibandingkan nilai PEI konfigurasi lain, sehingga dapat dilakukan perbaikan.
2. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai PEI pada postur yang didapat dari tiap konfigurasi, diantaranya ketinggian posisi kursi, kemiringan kursi terhadap bidang horizontal, dan jarak pedal akselerator dan rem ke ujung dudukan kursi.
3. Konfigurasi 15 merupakan konfigurasi kabin pengemudi kendaraan tempur pengangkut personel yang paling ergonomis dari semua konfigurasi usulan yang diuji pada antropometri personel TNI. Spesifikasi konfigurasi ini adalah kemiringan kursi 5 derajat dari bidang horizontal, tinggi kursi diturunkan 5 cm sehingga menjadi 31 cm dari permukaan lantai kabin pengemudi, dan jarak

pedal ke ujung kursi ditambah 10 cm sehingga menjadi 46 cm. Nilai PEI yang dihasilkan dari konfigurasi 15 adalah 0,997 untuk persentil 5 dan 1,017 untuk persentil 95

4. Konfigurasi 18 merupakan satu-satunya konfigurasi yang mampu mengakomodasi orang dengan data antropometri persentil 95 Indonesia. Nilai PEI yang didapat adalah sebesar 1.298. Oleh karena itu, disarankan agar dalam perancangan kabin, kursi dibuat dapat diatur posisi ketinggiannya sebesar antara 26 cm dan 31 cm dari permukaan lantai kabin pengemudi agar bisa menunjang seluruh personil TNI.

## 5.2 Saran

Dalam merancang kendaraan tempur sebaiknya tidak hanya mempertimbangkan dari segi spesifikasi militer saja tetapi juga didasarkan atas kajian ergonomi. Pertimbangan dari segi ergonomi khususnya dalam perancangan kabin pengemudi kendaraan tempur merupakan hal yang penting karena pengemudi memiliki peranan yang besar dalam pengoperasian kendaraan tempur dan dituntut untuk mengerahkan kinerja terbaiknya. Perancangan kabin pengemudi kendaraan tempur dilakukan dengan memperhitungkan kebutuhan atau spesifikasi militer, antropometri pengguna, serta kebiasaan postur pengemudi dan pengaruhnya terhadap beban pada sistem musculoskeletal serta penginderaan.

## DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis, h.1.
- Chuan, Tan Kay., Hartono, Markus., Kumar, Naresh. (2010). Anthropometry of the Singaporean and Indonesian populations. *International Journal of Industrial Ergonomics-2010*.
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. In: *Proceed of The 7th International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process" – ATA 2001, Florence*.
- 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*.
- Park, Se Jin., Lee, Jeong-Woo., Kwon, Kyu-Sik., Kim, Chae-Bogk., Kim, Han-Kyung. (1999). Preferred Driving Posture and Driver's Physical Dimension. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 43<sup>rd</sup> Annual Meeting-1999*.
- 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/>

United States Department of Defense (1999). *MIL-STD 1472F: Department of Defense Human Engineering Design Criteria Standard*.

The International Ergonomics Association. (2000). *The Discipline of Ergonomics*.  
<http://www.iea.cc>



## LAMPIRAN

### Lampiran 1

#### Data Antropometri Tentara Yonif

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

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

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