



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN DESAIN KABIN PENGEMUDI
KENDARAAN PANSER KANON 90mm YANG ERGONOMIS
DALAM MODEL *VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

REZA MUHAMMAD ALFAIZ

0806321461

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM TEKNIK INDUSTRI

DEPOK

JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Reza Muhammad Alfaiz

NPM : 0806321461

Tanda tangan : 

Tanggal : 11 Juni 2012

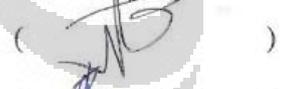
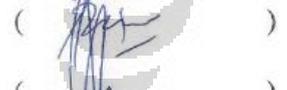
LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Reza Muhammad Alfaiz
NPM : 0806321461
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Perancangan Desain Kabin Pengemudi
Kendaraan Tempur Kanon 90mm yang Ergonomis
dalam Model *Virtual Environment*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE ()
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE ()
Penguji : Arian Dhini, ST. MT ()
Penguji : Dendi Prajadiana Ishak, MSIE ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Juni 2012

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

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

Nama : Reza Muhammad Alfaiz

NPM : 0806321461

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 Desain Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Kanon 90mm
yang Ergonomis dalam *Virtual Environment***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Juni 2012

Yang Menyatakan



(Reza Muhammad Alfaiz)

KATA PENGANTAR

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

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

1. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE., selaku dosen pembimbing skripsi. Terima kasih atas segala yang telah bapak berikan, baik itu berupa motivasi, arahan, saran, do'a, bimbingan akademis, dan bimbingan hidup kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan bapak dengan kebaikan yang lebih banyak.
2. Bapak Armand Omar Moeis ST, MSc. dan Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE., selaku dosen pembimbing ergonomi yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini.
3. Dr. Akhmad Hidayatno ST, MBT., selaku pembimbing akademis yang telah memberikan masukan selama penulis menjalani proses akademik di Teknik Industri Universitas Indonesia
4. Bapak Windu pembimbing penulis ketika melakukan pengumpulan data desain kendaraan tempur panser kanon di PT. Pindad Persero.
5. Keluarga tercinta ayah, bunda, dan bang Afini, serta kakak-kakak sepupu yang tercinta, atas seluruh perhatian, semangat dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang ini.
6. Ibu Dwinta Utari ST, MT, MBA. dan Bapak Romadhani ST, MT., yang turut membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Gagas Hariseto, Bram Bratanata, Rangga Virgaputra, Ernest Wahyudi, dan Pramudya R Dharma, sebagai sahabat dan juga teman tim skripsi ergonomi pada kendaraan tempur yang bersama-sama dalam suka dan duka menjalani penelitian ini.

8. Sahabat-sahabat saya Tezar Prima, Jody Pranata, Nurintan NPS, Dwiki D Gumilar, Sonya Clarissa, Vanessa Janette, Asseta IK, Laisha TR, Rakhmat Satriawan dan Tyonardo Cahayadi yang telah memberikan kehidupan yang begitu berharga pada penulis.
9. Heri MJ, Septian Yulianda, Andrea Caudillo, Ade Kurniawan, Rijal Ali, Didi Prayitno, Nova Listyanto, dan Reiner Agastya sebagai teman satu kostan yang selalu ada menemani malam-malam penulis.
10. Edelina Melisa, Luthfi Aditia, Renalda Krissalam yang senantiasa ada saat mengerjakan skripsi ini.
11. Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri terutama Mas Achiel, Mas Topan, Mas Latief, Pak Mursyid, Mas Iwan, Mas Fajar atas kesediaannya membantu penulis di Ergonomic Center hingga malam dan bahkan di akhir pekan.
12. Rekan-rekan Teknik Industri angkatan 2008 yang menjadikan proses akademik penulis selama 4 tahun ini tidak membosankan.
13. Pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu di sini.

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

Depok 14 Juni 2012

Penulis

ABSTRAK

Nama : Reza Muhammad Alfaiz

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Perancangan Desain Kabin Pengemudi Kendaraan Panser Kanon 90mm yang Ergonomis dalam Model *Virtual Environment*

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis pada desain kabin pengemudi panser kanon tipe 90 mm dalam *Virtual Environment*. Tujuannya adalah untuk menghasilkan rekomendasi desain kabin pengemudi Panser Kanon 90mm yang telah ergonomis, sesuai dengan hasil uji nilai PEI. Dihasilkan 6 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Analisa postur 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 ini yaitu usulan konfigurasi dengan sudut tuas kemudi 60°, tinggi kursi 20 cm dan sudut kursi 110°.

Kata Kunci:

Ergonomi, *Virtual Environment*, Panser Kanon, Jack 6.1, *Posture Evaluation Index*

ABSTRACT

Name : Reza Muhammad Alfaiz

Study Program : Industrial Engineering

Judul Skripsi : Ergonomic Design of Driver's Compartment on Combat Vehicle Cannon 90mm Using Virtual Environment

This research studies the ergonomic aspect from driver's compartment of panser cannon in Virtual Environment. The purpose of this project was to make ergonomic recommendation designs for armored cab of Canon 90mm according to the PEI test result. Jack 6.2.1 was used to analyze posture. Posture Evaluation Index was an approach that integrated the results of these three methods: Low Back Analysis, Ovako Working Analysis System, and Rapud Upper Limb Analysis. The results are configuration with 60° on steering wheel angle, 20 cm on chair height, and 110° on chair angle.

Key words:

Ergonomics, Virtual Environment, Panser Cannon, Jack 6.1, Posture Evaluation Index,

Daftar Isi

1.	PENDAHULUAN.....	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
1.3	Rumusan Permasalahan	5
1.4	Tujuan Penelitian	6
1.5	Batasan Masalah.....	6
1.6	Metodologi Penelitian	7
2.	LANDASAN TEORI.....	10
2.1	Ergonomi.....	10
2.2	Antropometri.....	13
2.2.1	Definisi Antropometri	13
2.2.2	Variabilitas Manusia	14
2.2.3	Data Antropometri	16
2.2.4	Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan.....	18
2.3	Postur Duduk.....	18
2.3.1	Permasalahan Pada Tulang Punggung	19
2.3.2	Penglihatan, Postur Leher dan Kepala	21
2.4	Virtual Environment.....	23
2.5	Software Siemens Jack 6.1.....	27
2.5.1	Pendahuluan Mengenai Jack	27
2.5.2	Jack Task Analysis Toolkit.....	29
2.6	Static Strength Prediction (SSP)	30
2.7	Low Back Analysis (LBA).....	33
2.8	Ovako Working Posture Analysis (OWAS)	34
2.9	Rapid Upper Limb Assessment (RULA).....	38

2.10	Metode Posture Evaluation Index (PEI)	39
2.10.1	Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja	40
2.10.2	Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas	41
2.10.3	Fase Ketiga: Static Strength Prediction.....	41
2.10.4	Fase Keempat: Low Back Analysis	42
2.10.5	Fase Kelima: Ovako Working Posture Analysis.....	42
2.10.6	Fase Keenam: Rapid Upper Limb Assessment.....	42
2.10.7	Fase Ketujuh: Evaluasi PEI.....	43
2.11	Kendaraan Tempur Lapis Baja.....	44
2.11.1	Panser APC	44
2.11.2	Panser Komando	45
2.11.3	Panser Ambulan	45
2.11.4	Panser Recovery.....	46
2.11.5	Panser Logistik.....	46
2.11.6	Panser Mortar	47
2.11.7	Kendaraan Intai	47
2.11.8	Panser Kanon	48
3.	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	50
3.1	Pengumpulan Data	50
3.1.1	Data Spesifikasi Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Panser Kanon	50
3.1.2	Data Antropometri	54
3.2	Pengolahan Data.....	55
3.2.1	Pembuatan Virtual Environment.....	56
3.2.2	Pembuatan Virtual Human Modeling	57
3.2.3	Pembuatan Postur Pengemudi.....	60

3.2.4	Menganalisis Kinerja <i>Virtual Human Model</i>	63
3.2.5	Perhitungan Nilai Posture Evaluation Index (PEI)	68
3.3	Perancangan Konfigurasi Model.....	69
3.3.1	Perancangan Konfigurasi Tinggi Kursi.....	69
3.3.2	Perancangan Konfigurasi sudut kursi.....	69
3.3.3	Perancangan Konfigurasi Sudut Tuas Kemudi	69
4.	ANALISIS.....	71
4.1	Analisis Desain Rencana Awal Kabin Pengemudi Panser Kanon ...	71
4.2	Analisis Usulan Konfigurasi	79
4.2.1	Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 1	80
4.2.2	Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 2	82
4.2.3	Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 3	84
4.2.4	Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 4	86
4.2.5	Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 5	88
4.2.6	Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 6	90
4.3	Analisis Perbandingan.....	92
5.	KESIMPULAN DAN SARA KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
5.1	Kesimpulan	97
5.2	Saran.....	98
6.	DAFTAR REFERENSI	99

Daftar Gambar

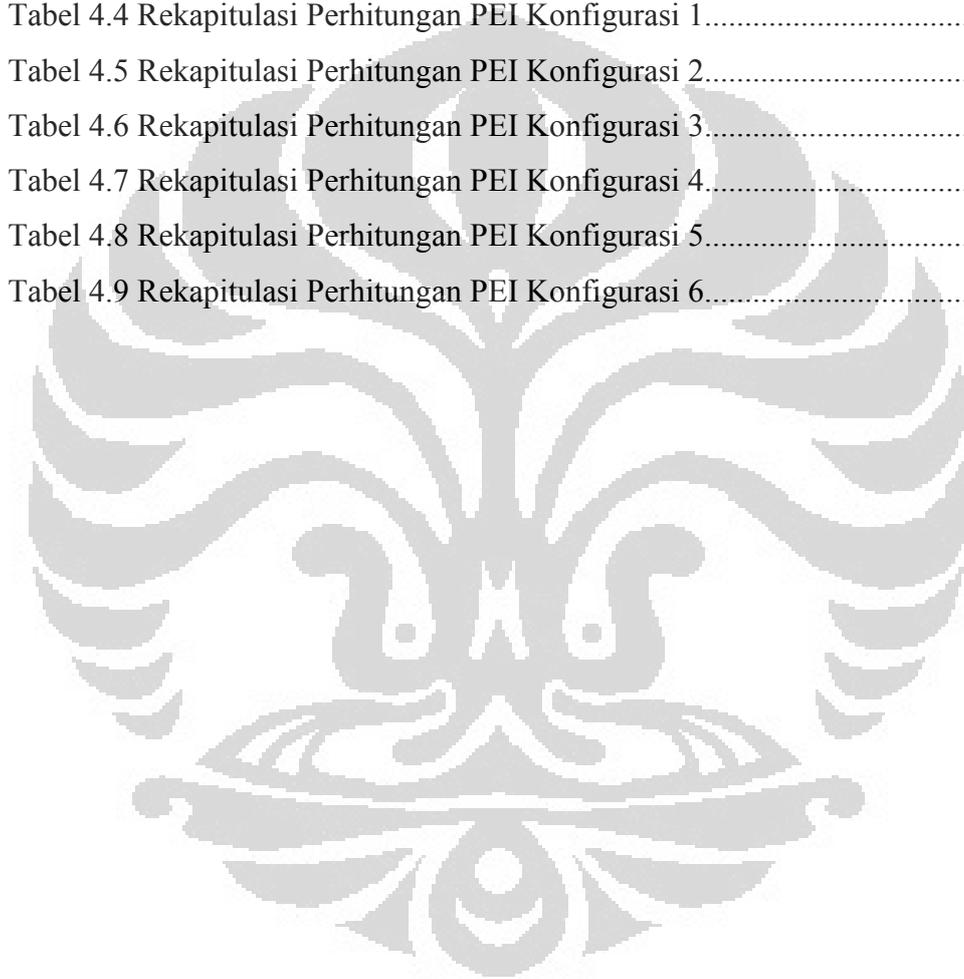
Gambar 1.1 Keluhan pada bagian tubuh pengemudi kendaraan tempur.....	3
Gambar 1.3 Diagram Metodologi Penelitian.....	9
Gambar 2.1 Model Konseptual WMSD	11
Gambar 2.2 Perbedaan Tinggi Tubuh Manusia Dalam Posisi Berdiri Tegak Untuk Berbagai Suku Bangsa	15
Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural.....	17
Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional	18
Gambar 2.5 Efek Posisi Duduk Terhadap Pelvis	20
Gambar 2.6 Bagian Lumbar Vertebrata (kiri) Deformasi Pada Diskus Invertebralis (kanan).....	21
Gambar 2.7 Pandangan Mata (kiri) Tekanan Otot Leher (kanan).....	22
Gambar 2.8 Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i>	24
Gambar 2.9 Lingkungan pada Jack	27
Gambar 2.10 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack	28
Gambar 2.11 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian	32
Gambar 2.12 Model Kode OWAS	35
Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS.....	36
Gambar 2.14 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS	36
Gambar 2.15 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS	37
Gambar 2.16 Contoh Lembar Kerja RULA	39
Gambar 2.17 Diagram Alir Metode PEI	40
Gambar 2.18 Panser Tipe APC (<i>Armoured Personnel Carrier</i>).....	44
Gambar 2.19 Panser Tipe Komando	45
Gambar 2.20 Panser Tipe Ambulan	45
Gambar 2.21 Panser Tipe <i>Recovery</i>	46
Gambar 2.22 Panser Tipe Logistik.....	47
Gambar 2.23 Panser Tipe <i>Mortar</i>	47
Gambar 2.24 Kendaraan Lapis Baja Intai	48
Gambar 2.25 Kendaraan Tempur Panser Kanon.....	48

Gambar 3.1 Model Virtual Ruang Kabin	51
Gambar 3.2 Model Virtual Kursi Kabin.....	52
Gambar 3.3 Model Virtual Kursi Kabin.....	53
Gambar 3.4 Model Virtual Kursi Kabin.....	53
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data	56
Gambar 3.6 Model Kabin Pengemudi Panser Kanon.....	57
Gambar 3.7 <i>Command</i> untuk pembuatan Model Manusia Virtual	57
Gambar 3.8 Tampilan <i>Built Human</i>	58
Gambar 3.9 Tampilan <i>Advance Scaling Build Human</i>	59
Gambar 3.10 Tampilan Modul Loads and Weights	60
Gambar 3.11 Tampilan Modul Human Control	61
Gambar 3.12 Tampilan Modul Adjust Joint.....	61
Gambar 3.13 Tampilan Model Duduk Pada Kabin Pengemudi	62
Gambar 3.14 Hasil SSP kondisi awal pada Persentil 5	64
Gambar 3.15 Hasil SSP Kondisi awal pada Persentil 95	64
Gambar 3.16 Hasil LBA Kondisi awal pada Persentil 5	65
Gambar 3.17 Hasil LBA Kondisi awal pada Persentil 95	65
Gambar 3.18 Hasil OWAS Kondisi awal pada Persentil 95	66
Gambar 3.19 Hasil OWAS Kondisi awal pada Persentil 95	66
Gambar 3.20 Hasil RULA Kondisi awal pada Persentil 5	67
Gambar 3.21 Hasil RULA Kondisi awal pada Persentil 95	67
Gambar 4.1 Postur Persentil 5 pada Desain Aktual Kabin Pengemudi Panser Kanon	71
Gambar 4.2 Postur Persentil 95 pada Desain Aktual Kabin Pengemudi Panser Kanon	72
Gambar 4.3 Hasil Analisa SSP pada kondisi aktual persentil 5	73
Gambar 4.4 Hasil Analisa SSP pada kondisi aktual persentil 95	73
Gambar 4.5 Hasil Analisa LBA pada kondisi aktual persentil 5.....	75
Gambar 4.6 Hasil Analisa LBA pada kondisi aktual persentil 95.....	75
Gambar 4.7 Hasil Analisa OWAS pada kondisi aktual persentil 5	76
Gambar 4.8 Hasil Analisa OWAS pada kondisi aktual persentil 95.....	76
Gambar 4.9 Grafik RULA Konfigurasi aktual pada Persentil 5	77

Gambar 4.10 Grafik RULA Konfigurasi aktual pada Persentil 95	77
Gambar 4.11 Usulan Rancangan Konfigurasi 1 pada Persentil 5	80
Gambar 4.12 Usulan Rancangan Konfigurasi 1 pada Persentil 95	81
Gambar 4.13 Usulan Rancangan Konfigurasi 2 pada Persentil 5	83
Gambar 4.14 Usulan Rancangan Konfigurasi 2 pada Persentil 95	83
Gambar 4.15 Usulan Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 5	85
Gambar 4.16 Usulan Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 95	85
Gambar 4.17 Usulan Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 5	87
Gambar 4.18 Usulan Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 95	87
Gambar 4.19 Usulan Rancangan Konfigurasi 5 pada Persentil 5	89
Gambar 4.20 Usulan Rancangan Konfigurasi 5 pada Persentil 95	89
Gambar 4.21 Usulan Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 5	91
Gambar 4.22 Usulan Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 95	91
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi	93
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi	94
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi	94
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi	95

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Detail Usulan Berdasarkan Skor OWAS	38
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri.....	55
Tabel 3.2 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat	70
Tabel 4.1 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual pada Persentil 5	74
Tabel 4.2 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual pada Persentil 5	74
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi Aktual.....	79
Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 1.....	82
Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2.....	84
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3.....	86
Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4.....	88
Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5.....	90
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6.....	92



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri militer merupakan bidang industri penting untuk pertahanan suatu negara yang menjadi salah tolak ukur kekuatan dari negara tersebut. Oleh karena itu, industri ini diharapkan akan terus melakukan pengembangan-pengembangan terhadap produksinya. Indonesia memiliki tiga jenis industri militer yakni, jenis pertahanan darat PT. Pindad, jenis pertahanan laut PT. Penataran Laut (PAL), dan jenis pertahanan udara PT. Dirgantara Indonesia (DI).

PT. Pindad sebagai satu-satunya produsen alat dan kendaraan militer (darat) di Indonesia ditetapkan menjadi BUMN Industri Strategis (BUMNIS) pada tahun 1989, sebagai wahana transformasi industri melalui tahapan alih teknologi sebagai pusat keunggulan sistem Senjata & Tempa. Dalam upaya untuk mengimbangi peluang dan tantangan serta pengembangan teknologi yang terus meningkat secara global, maka PT. Pindad melakukan *continuous improvement* terhadap produksi-produksinya.

Teknik industri merupakan disiplin ilmu teknik yang terfokus pada perancangan, peningkatan dan instalasi dari sistem terintegrasi atas manusia, peralatan, material, energi. Segala bentuk sistem yang bersifat meningkatkan nilai tambah berupa barang ataupun jasa merupakan obyek yang dikelola oleh teknik industri, salah satunya yaitu bidang ergonomi. Dengan adanya peran ergonomi dalam meningkatkan hal tersebut, sistem yang dikelola akan menjadi semakin optimal. Hal ini dikarenakan ilmu ergonomi merupakan suatu ilmu yang mempelajari tingkah laku manusia dalam kaitan pekerjaannya.

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

Ergonomi memiliki ruang lingkup yang sangat luas, salah satu ruang lingkup ergonomi yaitu desain. Dengan adanya desain, barang ataupun jasa yang dikelola menjadi meningkat nilai tambahnya. Desain yang ergonomi mempermudah pekerja sehingga membuat pekerjaan semakin cepat diselesaikan.

Aplikasi ergonomi dapat dilakukan dalam berbagai macam bidang pekerjaan. Salah satunya adalah bidang militer. Dalam bidang militer, kendaraan tempur merupakan salah satu kunci kekuatan tempur darat untuk misi penyerangan, penyergapan, pengintaian maupun penyusupan. Hal ini dikarenakan kendaraan tempur tersebut berfungsi untuk mengangkut persenjataan dan personel infantri pada saat melakukan misi.

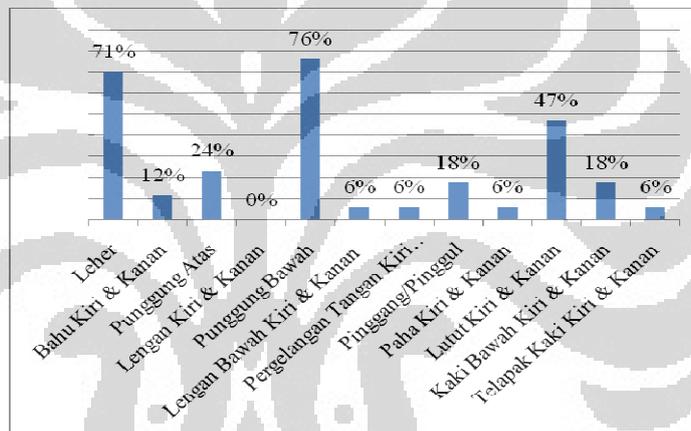
Ketahanan dalam desain suatu kendaraan tempur merupakan suatu hal yang penting. Akan tetapi, keselamatan dan kenyamanan tentara yang menggunakan kendaraan tempur tersebut juga merupakan faktor utama dalam keberhasilan pertahanan dan kekuatan militer.

Salah satu kendaraan tempur terbaru yang akan diproduksi oleh PT. Pindad saat ini adalah Panser Kanon 90mm beroda 6. Panser ini masih dalam tahap penelitian dan pengembangan. Berbeda dengan panser Kanon yang telah diproduksi sebelumnya yang hanya berkaliber 30mm dengan posisi mesin di tengah panser dan pengemudi berada di depannya, Panser Kanon 90mm ini memiliki layout posisi mesin terletak di sebelah kabin pengemudi.

Analisis aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap Panser Kanon 90mm meliputi desain kabin pengemudi yang terdiri atas bagian-bagian yang saling berinteraksi satu sama lain. Posisi kabin pengemudi ini terletak di sebelah mesin Panser Kanon 90mm. Adapun hal yang harus dipertimbangkan di dalam kabin pengemudi yaitu posisi kursi, posisi tuas, posisi pedal gas & rem. Nilai ergonomis dari desain kabin pengemudi Panser Kanon 90mm ini dapat diketahui dengan menganalisa dan mengevaluasi postur dan gerakan personel tentara saat posisi mengendarai panser tersebut. Postur dan gerakan personel ketika dalam posisi mengendarai memiliki kaitan dengan kenyamanan serta dapat memberikan

efek terhadap muskuloskeletal personel tentara yang menjadi pengemudi kendaraan tempur tersebut.

Dari hasil penelitian terdahulu yang berjudul “Perancangan Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Tipe *Armored Personnel Carrier* yang Ergonomis Menggunakan Model *Virtual Environment*” telah dilakukan wawancara dan penyebaran kuesioner pada personel TNI pengemudi kendaraan tempur, diperoleh informasi bahwa keluhan banyaknya keluhan terhadap kursi di kabin pengemudi kendaraan tempur Hal ini terjadi akibat komponen kabin pengemudi yang kurang ergonomis. seperti dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 1.1 Keluhan pada bagian tubuh pengemudi kendaraan tempur

Berdasarkan wawancara dengan desainer yang ada di PT. Pindad, dalam proses pembuatan desain kabin pengemudi pada kendaraan tempur, penempatan manusia pada desain merupakan hal terakhir yang diperhatikan setelah semua bagian utama (mesin, rangka mesin, dll) didesain. Maka dari itu diperlukan desain kabin pengemudi yang ergonomis untuk jenis kendaraan tempur baru yaitu Panser Kanon 90mm agar dapat menghindari keluhan pengemudi seperti yang terjadi pada kendaraan-kendaraan tempur sebelumnya.

Analisis ergonomi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software digital human modeling and simulation* yang bernama Jack versi 6.2.1 yang dihubungkan dengan peralatan *Vicon Motion Capture System* sebagai alat

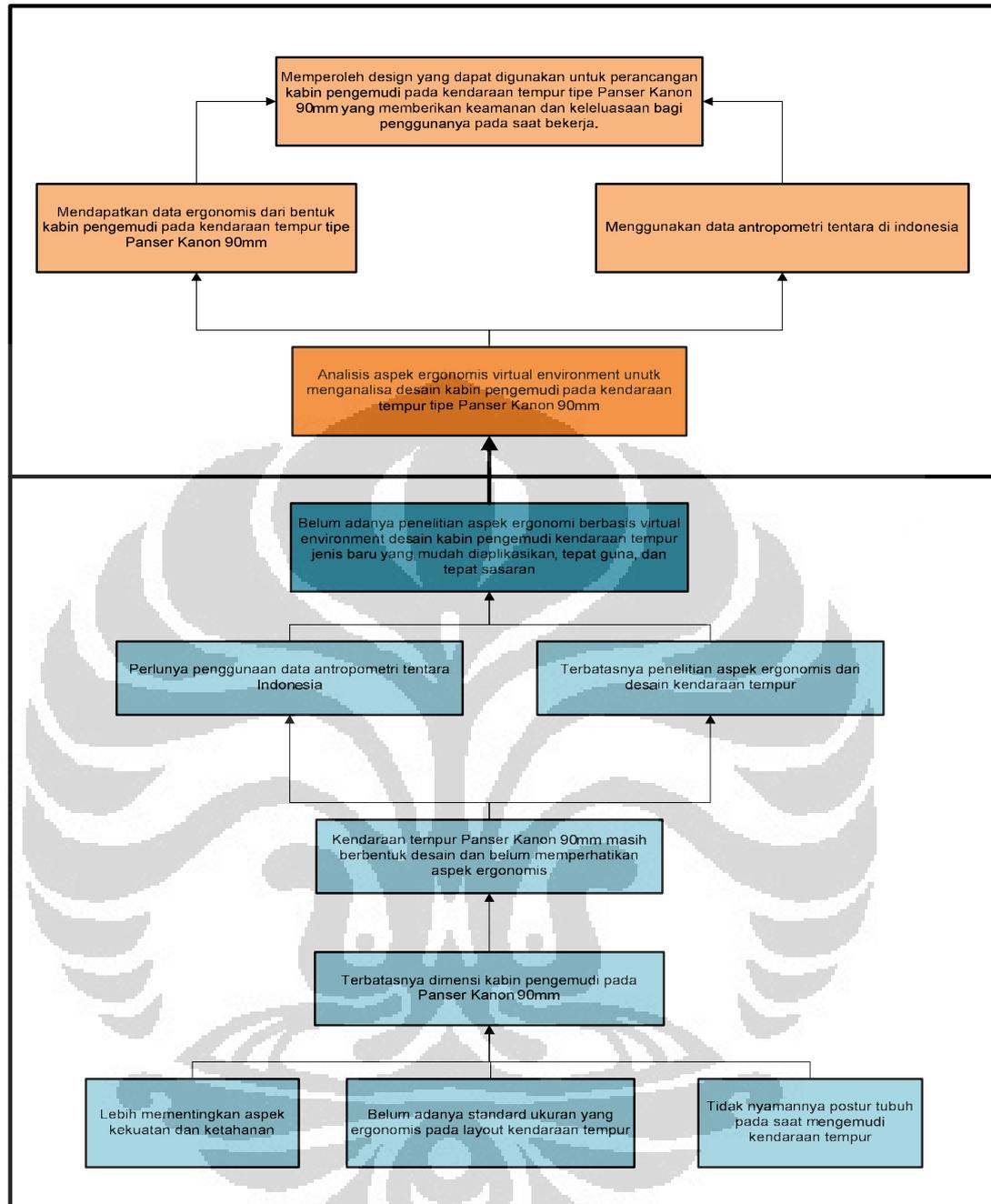
perekaman gerakan. *Software* Jack 6.2.1 ini dirancang khusus untuk memodelkan dan mensimulasikan interaksi manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai yang dilengkapi dengan *Task Analysis Toolkit* dan *Occupant Packaging Toolkit*. Keduanya dapat menganalisis aspek ergonomi model yang telah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

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

Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat dihasilkan suatu desain kabin pengemudi kendaraan Panser Kanon 90mm yang masih dalam tahap pembuatan *prototype* saat ini, yang ergonomis dan nyaman sehingga dapat meningkatkan kinerja personil tentara.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Untuk dapat melihat permasalahan dalam penelitian ini secara utuh, termasuk bagaimana setiap sub-permasalahan saling berinteraksi dan berhubungan satu sama lain, maka dibuatlah diagram keterkaitan masalah sebagai berikut:



Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah bagaimana merancang desain kabin Panzer Kanon 90mm yang ergonomis. Oleh karenanya perlu dilakukan analisis terhadap desain kabin pengemudi Panzer terbaru ini terutama dalam aspek ergonomis, yang mudah diaplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan rekomendasi desain kabin pengemudi Panser Kanon 90mm yang telah ergonomis, sesuai dengan hasil uji nilai PEI, sehingga dapat meningkatkan kenyamanan, keamanan dan keleluasaan pengemudi pada saat bekerja melalui simulasi model manusia berbasis *virtual environment*.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Objek penelitian adalah kendaraan tempur Panser Kanon 90mm yang diproduksi oleh PT. Pindad (Persero) di Indonesia.
2. Data antropometri yang digunakan merupakan hasil pengukuran antropometri yang dilakukan terhadap personil TNI pengguna kendaraan tempur.
3. Instrumen pada kabin yang dikonfigurasi tidak mencantumkan pedal gas dan rem, hanya kursi pengemudi dan tuas kemudi.
4. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa desain kabin pengemudi kendaraan tempur Panser Kanon 90mm yang merupakan analisis dengan menggunakan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment* berdasarkan data-data observasi langsung di lapangan dan di laboratorium.
5. Permodelan menggunakan *software* Jack 6.2.1.
6. Desain kabin pengemudi yang direkomendasikan tidak mencantumkan:
 - a. Jenis bahan/material yang digunakan dalam pembuatan
 - b. Mekanisme pembuatan kabin pengemudi
 - c. Biaya pembuatan kabin pengemudi
7. Pengambilan data gerakan menggunakan perangkat *Vicon Motion Capture System* yang baru dikembangkan di Laboratorium Faktor Manusia Departemen Teknik Industri UI. Dengan perangkat ini, semua gerakan tubuh subjek dapat direkam sehingga data pergerakan yang direkam mendekati kondisi yang sebenarnya.

1.6 Metodologi Penelitian

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

1. Pendahuluan

Adapun topik penelitian ini adalah menganalisis aspek ergonomis dari desain kabin pengemudi kendaraan tempur 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 adalah:

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

3. Persiapan Pengumpulan Data

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

4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengukuran spesifikasi standar kendaraan tempur beserta desain kabin pengemudi Panser Kanon 90mm, kemudian mengumpulkan data antropometri tentara Indonesia sebagai pengguna kendaraan tempur tersebut.

5. Pengolahan Data dan Analisis

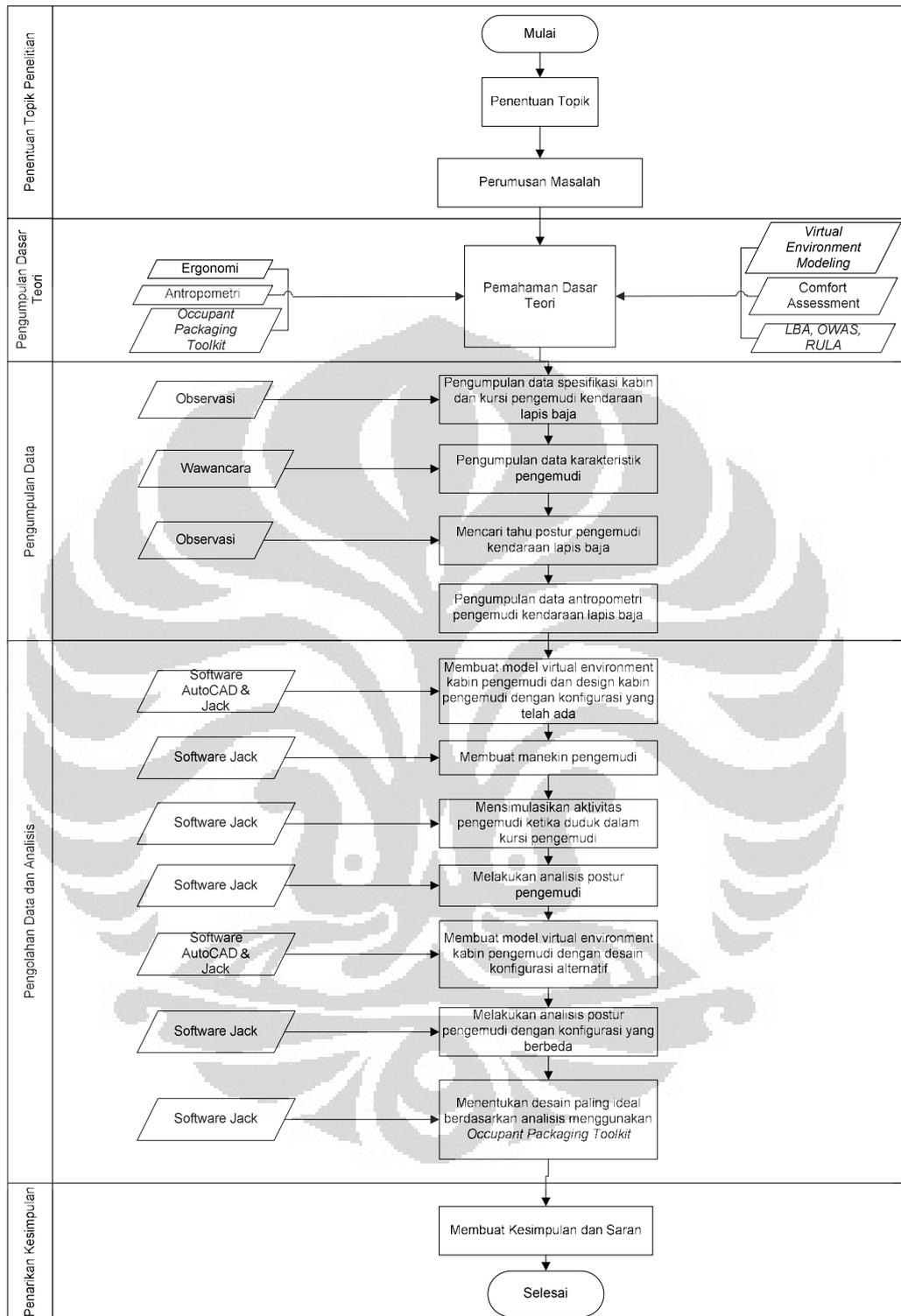
- Membuat model kendaraan tempur dengan menggunakan *software* NX 6 dan Jack 6.2.1
- Membuat manekin mahasiswa UI (*virtual human*) sebagai pengendara sepeda motor sesuai data antropometri yang diperoleh dari perangkat Antroscan.
- Memposisikan manekin ke dalam *environment* sesuai dengan postur dan kondisi sebenarnya

- Mensimulasikan aktivitas manusia saat posisi menembak melalui lubang intip pada kendaraan tempur dengan menggunakan peranti Jack 6.2.1
- Melakukan analisis ergonomi terhadap desain kabin pengemudi pada Panser Kanon 90mm dengan bantuan peranti Jack 6.2.1
- Melakukan perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)
- Menganalisis hasil perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)

6. Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat, akan ditarik kesimpulan berupa konfigurasi desain kabin pengemudi pada Panser Kanon 90mm yang ergonomis. Desain yang ergonomis ini dapat meningkatkan kenyamanan dan keleluasaan pengemudi pada saat mengendarai Panser Kanon 90mm dalam keadaan normal ataupun pada saat berperang. Sehingga dapat meningkatkan kinerja personil tentara yang mengemudi Panser tersebut secara keseluruhan.

Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.3 Diagram Metodologi Penelitian

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Ergonomi

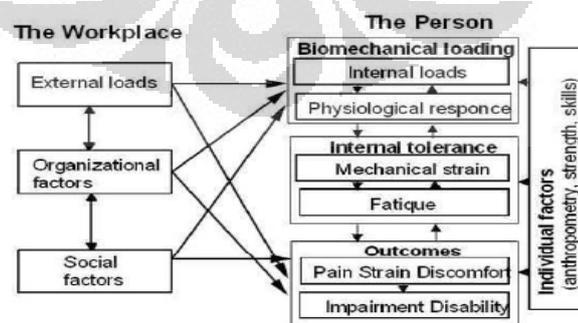
Ergonomi dapat didefinisikan sebagai disiplin ilmu yang menaruh perhatian kepada interaksi antara manusia dengan elemen – elemen lainnya dalam suatu sistem dan profesi yang menggunakan teori, prinsip – prinsip, data dan metode untuk mendesain sebuah perancangan yang bertujuan untuk mengoptimalkan kesejahteraan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

Dari beberapa penjelasan diatas dapat dilihat bahwa ergonomi adalah suatu ilmu yang membahas semua hal yang berkaitan dengan manusia dan interaksinya dengan pekerjaan serta lingkungannya yang bertujuan meningkatkan kenyamanan, kesehatan dan keselamatan manusia.

Work-Related Muskuloskeletal Disorder (WMSD)

Work – Related Muskuloskeletal Disorder (WMSD), yang juga memiliki nama lain *Repetitive Motion Injury (RMI)* atau *Cumulative Trauma Disorder (CTD)*, semakin dikenal di dalam dunia ergonomi selama 20 tahun terakhir. RMI pertama kali diperkenalkan pada tahun 1717 oleh Ramazzini di Italia. Ramazzini mendeskripsikan RMI yang dialami oleh juru tulis yang bekerja merupakan hasil dari gerakan tangan yang berulang – ulang, dengan postur tubuh yang terbatas dan tekanan mental yang berlebihan (Franco dan Fusetti, 2004). RMI, WMSD, CTD merupakan tipe cedera yang disebabkan oleh gerakan yang berulang – ulang, dan menimbulkan efek kumulatif yang menyebabkan RMI dapat bertambah setelah beberapa periode waktu berjalan (Putz-Anderson, 2005). Menurut Helander (2003), penyebab WMSD terdiri dari tiga bagian besar, yaitu metode kerja yang tidak sesuai, waktu istirahat yang tidak cukup serta kondisi yang sedang terjadi saat ini memang sudah berada dalam kondisi mengalami cedera atau gangguan. Utamanya, penyebab terjadinya WMSD merupakan kombinasi dari metode kerja yang tidak sesuai sehingga menyebabkan postur kerja yang buruk dan berakibat pada penggunaan kekuatan otot secara berlebihan dan dilakukan secara repetitif tanpa adanya waktu istirahat yang cukup untuk memulihkan kondisi fisik.



Gambar 2.1 Model Konseptual WMSD

(sumber: The Panel on musculoskeletal disorders and workplace, 2001)

Lebih jauh lagi, faktor – faktor penyebab terjadinya WMSD dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu faktor primer, sekunder dan kombinasi. Faktor primer penyebab terjadinya WMSD adalah sebagai berikut:

1. Peregangan otot yang berlebihan
2. Aktivitas berulang
3. Sikap kerja tidak alamiah.

Kemudian, faktor - Faktor sekunder penyebab terjadinya WMSD adalah:

1. Tekanan, terjadinya tekanan langsung pada jaringan otot yang lunak.
2. Mikrolimat, paparan udara panas dan dingin yang tidak sesuai.
3. Getaran, dengan frekwensi tinggi menyebabkan kontraksi otot bertambah, yang menyebabkan peredaran darah tidak lancar dan penimbunan asam laktat dan akhirnya timbul rasa nyeri otot (Suma'mur, 1982)

Terakhir, faktor kombinasi penyebab terjadinya WMSD adalah sebagai berikut:

1. Umur, pada umumnya keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 25 – 60 tahun (Choffin, 1979)
2. Jenis kelamin, secara fisiologis kemampuan otot wanita lebih rendah daripada pria.
3. Kebiasaan merokok, semakin lama dan semakin tinggi frekwensi merokok, semakin tinggi pula tingkat keluhan otot yang dirasakan.
4. Kesegaran jasmani.
5. Kekuatan fisik
6. Ukuran tubuh (antropometri)

WMSD akan selalu muncul jika tidak dilakukan tindakan pencegahan yang baik. Untuk mengurangi peluang terjadinya WSMD, tindakan pencegahan yang dapat dilakukan diantaranya adalah memastikan kenyamanan benar – benar terasa pada stasiun kerja. Selain itu, diperlukan istirahat dan peregangan otot yang dilakukan secara berkala di sela – sela pekerjaan.

2.2 Antropometri

2.2.1 Definisi Antropometri

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

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

Biasanya metode ini tidak dapat menghasilkan data yang akurat, akan tetapi metode ini akan menjadi cukup akurat untuk beberapa pelaksanaan praktek tertentu. Aplikasi utama dari penerapan data antropometri adalah :

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

2.2.2 Variabilitas Manusia

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

a. Usia

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

b. Jenis kelamin

Secara distribusi statistik ada perbedaan yang signifikan antara dimensi tubuh pria dan wanita. Untuk kebanyakan dimensi pria dan wanita ada perbedaan yang signifikan diantara rata-rata dan nilai perbedaan ini tidak dapat diabaikan

begitu saja. Pria dianggap lebih panjang dimensi segmen badannya dari pada wanita kecuali didaerah pinggul dan paha. Lipatan kulit wanita juga lebih besar dari lipatan kulit pria. Oleh karenanya data antropometri untuk kedua jenis kelamin tersebut selalu disajikan secara terpisah.

c. Posisi Tubuh (*Posture*)

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

d. Cacat Tubuh

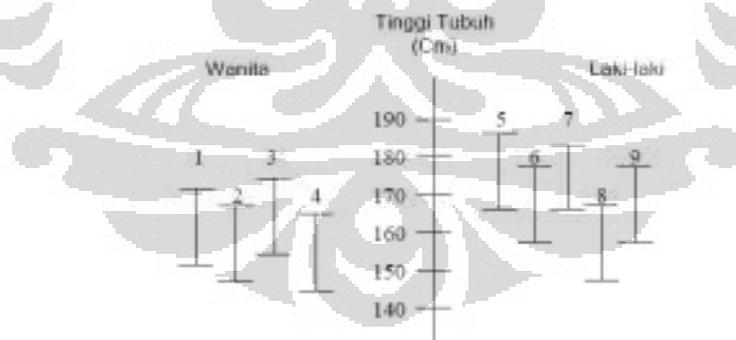
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki/tangan palsu, dan lain-lain).

e. Tebal/Tipisnya Pakaian

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

f. Suku bangsa

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



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

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

Catatan : 5. Amerika (pilot)

g. Kehamilan

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

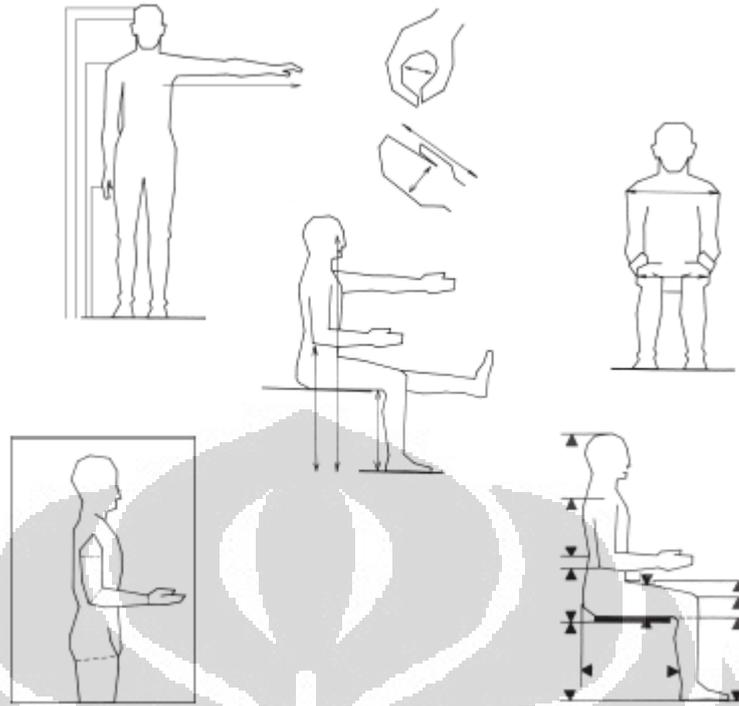
Akhirnya, sekalipun segmentasi dari populasi yang ingin dituju dari rancangan suatu produk selalu berhasil diidentifikasi sebaik-baiknya berdasarkan faktor-faktor seperti yang telah diuraikan; namun adanya variasi ukuran bukan tidak mungkin bisa tetap dijumpai. Permasalahan variasi ukuran sebenarnya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

2.2.3 Data Antropometri

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

- Data Antropometri Struktural

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

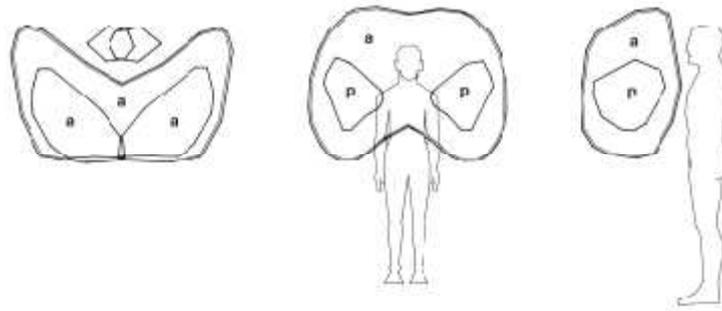


Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural

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

- Data Antropometri Fungsional

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



Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional

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

- **Data Antropometri Newtonian**

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

2.2.4 Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan

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

2.3 Postur Duduk

Teori tentang postur duduk pertama kali dikeluarkan pada tahun 1884. Teori tersebut bernama “*hygienic*” *sitting postures*. Staffel (1884) merekomendasikan postur duduk yang tegak pada bagian leher, punggung dan kepala, dengan kondisi *lordosis* yang normal pada bagian *lumbar* dan *cervic*, serta kondisi *kyphosis* yang

ringan pada bagian *thoracic spine*, yang menyerupai postur tulang belakang pada saat berdiri tegak. Pada periode 1880, banyaknya proposal desain yang masuk untuk furniture sekolah, termasuk kursi dan kombinasi antara kursi dan meja (Zacharkow,1988), dipercaya sesuai untuk mempromosikan postur duduk tersebut.

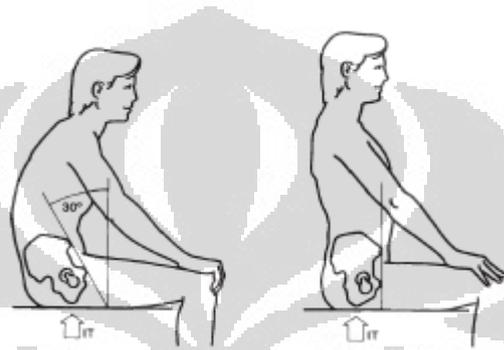
Selama satu abad, sudah menjadi kepercayaan banyak orang bahwa cara duduk dengan postur tegak lurus merupakan postur duduk yang terbaik. Memang tidak ada yang salah dengan postur duduk tegak dalam jangka waktu yang pendek, namun postur duduk tersebut akan menjadi masalah jika terjadi dalam waktu yang lama. Postur duduk tegak merupakan postur duduk yang statis, berlawanan dengan karakteristik tubuh manusia yang selalu berubah – ubah. Postur duduk tegak dalam waktu yang lama dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada bagian tulang punggung, berisiko menekan bagian lunak dan rawan dari tulang punggung, reduksi metabolisme, defisiensi dalam sirkulasi darah, serta akumulasi dari cairan ekstraselular di kaki bagian bawah (Kroemer *et al.*, 2001)

2.3.1 Permasalahan Pada Tulang Punggung

Postur duduk sangat berkaitan dengan kondisi punggung manusia, terutama kondisi punggung bagian bawah, yang memiliki ruas L4 dan L5. Posisi duduk memang memiliki lebih banyak keunggulan jika dibandingkan dengan posisi berdiri dalam melakukan pekerjaan. Pekerjaan dalam posisi berdiri menyebabkan aliran darah yang bergerak dari bagian kaki menuju keatas harus melawan energi gravitasi, sehingga volume darah menuju bagian tubuh atas menjadi sedikit berkurang, dan volume darah di bagian bawah tubuh berada dalam jumlah yang lebih banyak. Hal ini menyebabkan adanya pembengkakan pada bagian kaki, khususnya pergelangan kaki (R.S. Bridger, 2003).

Namun, meskipun postur kerja dalam keadaan duduk memiliki keunggulan dibandingkan postur kerja berdiri, postur duduk yang lama dalam sehari, beresiko menyebabkan terjadinya *low back pain* (Hoggendoorn *et al.*, 2000). Postur duduk yang baik seringkali dikaitkan dengan postur duduk tegak

dengan derajat kemiringan antara batang tubuh dengan paha sebesar 90 derajat. Namun, postur duduk seperti ini berpeluang besar membuat tulang punggung merosot ke depan (Mandal, 1981,1991). Posisi merosot ini dikarenakan oleh beban statis yang diberikan oleh leher dan kepala kearah bawah. Posisi ini menyebabkan tingkat deformasi yang cukup tinggi dari diskus intervertebralis, yaitu bantalan *fibrocartilage* yang bersifat rawan, yang menghubungkan antara ruas – ruas tulang belakang.



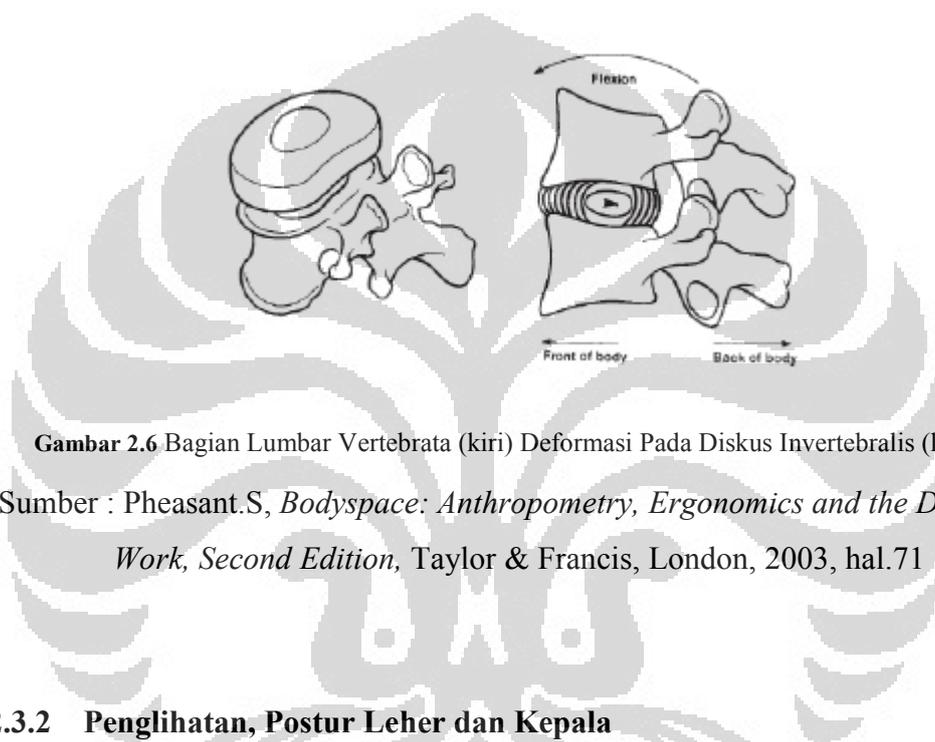
Gambar 2.5 Efek Posisi Duduk Terhadap Pelvis

Sumber : Pheasant.S, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition*, Taylor & Francis, London, 2003, hal.71

Agar dapat meminimalisasi gangguan pada bagian ruas – ruas tulang belakang, kursi perlu dibuat sedemikian rupa sehingga membuat pemakainya berada dalam posisi netral tanpa menimbulkan beban yang berlebihan pada ruas – ruas tulang punggung, yang juga memungkinkan pengguna dapat mengadopsi posisi yang baik secara fisiologis dan nyaman.keadaan seperti ini dapat dicapai dengan tiga cara, yaitu:

1. Posisi duduk setengah berbaring (jika pekerjaan mengharuskan atau cenderung dapat dilakukan dengan posisi seperti ini).
2. Tempat duduk yang tidak lebih rendah atau tidak lebih tinggi dari ketinggian dudukan kursi yang dibutuhkan.
3. Sandaran yang membentuk sudut tumpul ke permukaan kursi (berfungsi mengurangi flexi pada bagian pinggang) dan memiliki kontur yang menyerupai bentuk tulang belakang penggunanya.

Dalam sebuah studi yang dilakukan oleh Andersson (1974) dengan cara mengukur tekanan hidrostatik dari *nucleus pulposus* menggunakan jarum *mount – transducer*. Andersson mengemukakan bahwa besarnya tekanan intra-discal yang dihasilkan memiliki nilai yang kurang mencolok pada sudut kemiringan sandaran tertentu, dan akan semakin lebih baik jika bentuk sandaran mengadopsi kontur tulang belakang manusia (lumbar).



Gambar 2.6 Bagian Lumbar Vertebrata (kiri) Deformasi Pada Diskus Invertebralis (kanan)

Sumber : Pheasant.S, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition*, Taylor & Francis, London, 2003, hal.71

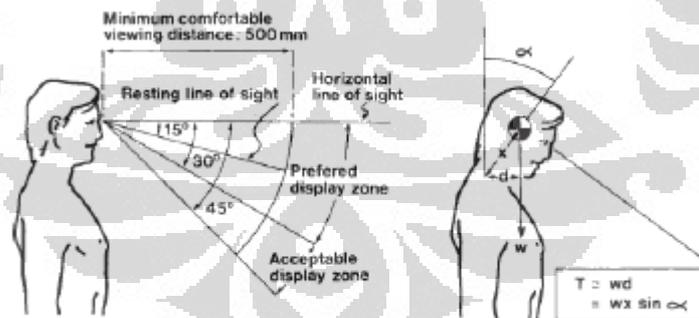
2.3.2 Penglihatan, Postur Leher dan Kepala

Pekerjaan yang membutuhkan bantuan ketelitian mata dalam pengerjaannya sangat dipengaruhi oleh lokasi tempat mata memandang. Namun, pandangan mata sangat dipengaruhi pula oleh postur leher dan kepala. Mata memiliki daerah pandangan mata, yang disebut *visual field*. Ketika memandang sebuah objek, mata akan terfokus pada bagian tengah dari visual field, yang merupakan bagian yang paling sensitif ketika melakukan tugas yang membutuhkan pandangan mata, seperti membaca, menulis atau mengenali wajah. Bagian tengah tersebut dikenal dengan nama *foveal vision*, yang memiliki daerah pandang dari garis tengah *central fixation* hingga 5 derajat dari garis tersebut.

Tugas yang membutuhkan pandangan mata membuat *foveal regions* dari kedua mata bergerak terpusat beriringan selama tugas dijalankan dan lensa mata

berakomodasi agar dapat terfokus pada jarak tertentu. Mata memiliki titik dimana dapat bergerak ke arah atas sejauh 48 derajat dan ke arah bawah sejauh 66 derajat tanpa disertai gerakan kepala dan leher (Taylor, 1973). Sedangkan menurut Weston (1953), dalam studinya mengenai *visual fatigue*, menyarankan jika pergerakan mata ke arah bawah dibatasi sejauh 24 hingga 27 derajat, melebihi titik tersebut, kepala dan leher cenderung akan menunduk ke arah depan, dan otot – otot leher akan terbebani untuk menyokong berat dari kepala.

Dalam studinya mengenai operator VDU, Grandjean *et al.* (1984) menyatakan bila sudut penglihatan yang direkomendasikan adalah sebesar 9 derajat ke arah bawah dari arah horizontal. Hasil berbeda, yaitu 18 derajat juga ditemukan dari hasil penelitian sejenis mengenai operator VDU (Brown & Schaum, 1980). Dari kedua teori tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa zona yang baik untuk pandangan (*preferred zone*) adalah sebesar 30 derajat ke arah bawah dari garis horizontal, dimana garis pandangan optimum berada di tengah dari zona tersebut. zona tersebut dapat bertambah 15 derajat jika diasumsikan adanya *flexion* dari leher.



Gambar 2.7 Pandangan Mata (kiri) Tekanan Otot Leher (kanan)

Sumber : Pheasant.S, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition*, Taylor & Francis, London, 2003, hal.64

Kenyamanan juga menjadi salah satu faktor utama dari pandangan mata terhadap objek yang diletakkan di depan mata pada jarak – jarak tertentu. Lensa

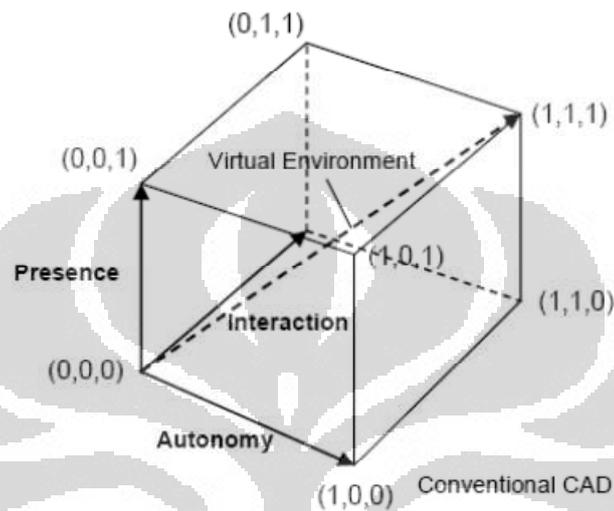
mata akan berada dalam kondisi rileks jika memandang benda yang berada pada jarak lebih dari 6 meter di depan mata. Sedangkan untuk melihat benda yang berada dalam jarak dekat dibutuhkan kekuatan otot mata dan lensa mata untuk berakomodasi. Memandang mata terlalu dekat dapat menyebabkan terjadinya kelelahan pada mata yang disebut dengan “*eyestrain*” dengan gejala pandangan menjadi kabur dan pusing. Jarak 350 mm hingga 400 mm dapat dianggap mencukupi dalam beberapa kondisi. Namun, untuk beberapa kondisi praktis, 500 mm bisa menjadi nilai yang cukup. Menurut studi Grandjean *et al.* (1984), jarak pandang mata rata – rata yang baik adalah sebesar 760 mm, dari *range* antara 610 mm hingga 930 mm. sedangkan menurut Brown dan Schuam (1980) menyatakan sebesar 624 mm.

Postur leher dan kepala juga mendapatkan perhatian, khususnya di dunia pendidikan. Untuk mengurangi *flexion* yang terjadi pada leher akibat keharusan murid untuk menulis di meja, dilakukan berbagai penelitian mengenai tingkat kemiringan meja. Zacharkow (1988), memberikan ilustrasi, banyak sekolah di daerah Victoria memiliki meja dengan kemiringan sebesar 15 derajat untuk menulis dan penahan buku agar buku yang diletakkan tidak merosot akibat kemiringan meja. Studi lebih lanjut menyatakan bahwa kemiringan meja (dari 15 atau bahkan 10 derajat) dapat mengurangi *flexion* dari batang tubuh dan leher orang-orang yang duduk dalam melakukan aktivitas membaca dan menulis (Bridger, 1988; de Wall *et al*, 1991.).

2.4 Virtual Environment

Menurut Kalawsky, R. (1993a), *Virtual environment* (VE) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu representasi yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis sesuai dengan keadaan lingkungan nyata. Kalawsky juga membicarakan tentang istilah *Virtual Reality* yang pertama kali diperkenalkan Jaron Lanier. Konsep ini merupakan konsep yang sama maknanya dengan *virtual environment*, tetapi lebih dikenal oleh publik. Menurut Zeltzer, D. (1992), dalam

virtual reality terdapat tiga buah komponen; otonomi, keberadaan, dan interaksi yang kesemuanya berada pada nilai maksimalnya dalam kubus Zelter. Gambar 2.5 di bawah menunjukkan dimensi dari *virtual reality*.



Gambar 2.8 Kubus Zelter untuk Konsep *Virtual Reality*

Sumber: Kalawsky, 1993

Zelter menyatakan bahwa:

- Otonomi (O) mengacu pada ukuran kualitatif dari kemampuan objek virtual untuk bereaksi terhadap stimulus. Nilai 0 muncul ketika tidak ada reaksi yang timbul dan nilai 1 muncul jika otonomi berada dalam kondisi maksimal.
- Interaksi (I) mengacu pada tingkat aksesibilitas ke parameter atau variabel pada objek. Nilai 0 diberikan pada kontrol variabel yang tidak dilakukan secara langsung. Nilai 1 diberikan jika variabel yang ada bisa dimanipulasi secara langsung (*real time*) ketika program sedang dijalankan.
- Keberadaan (K) mengacu pada tingkat keberadaan dengan sebuah ukuran ketelitian dari sensor *input* dan saluran *output*. Tingkat keberadaan sangatlah bergantung pada kebutuhan dari kerja yang akan dilakukan.

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

Virtual environment memiliki atribut seperti di bawah ini:

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

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

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

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

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

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

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

2.5 Software Siemens Jack 6.1

2.5.1 Pendahuluan Mengenai Jack

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

Fokus pengembangan yang dapat dilakukan Jack adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat, yang terdapat dalam sistem apapun. Kemampuan terbaik dari Jack adalah Jack mampu mengisi lingkungan yang dimilikinya dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri yang dapat diatur dan ditentukan sendiri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata. Lingkungan pada *software* ini dapat terlihat pada gambar 2.9

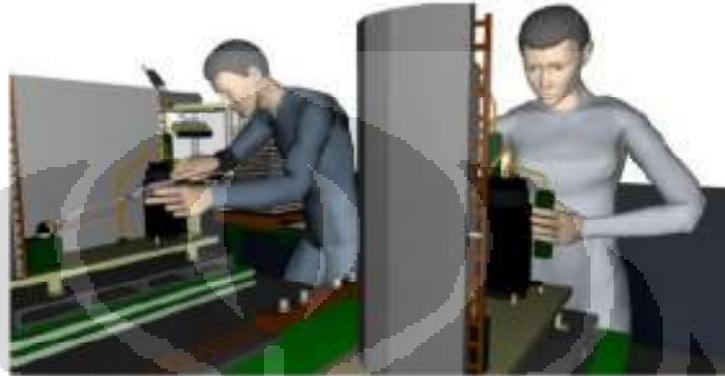


Gambar 2.9 Lingkungan pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version 6.1

Model manekin pada Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan. Jack telah memperhatikan keseimbangan tubuh, mampu melakukan kegiatan berjalan, dan dapat diberikan perintah untuk mengangkat suatu benda. Model pada Jack juga memiliki “kekuatan” dan jika telah melebihi batas tertentu, maka Jack dapat memberikan peringatan pada penggunaanya. Selain itu, pengguna Jack dapat membuat model pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran

tubuh, berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Jack 6.1 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 untuk membuat model. Namun, Jack juga menyediakan formulir khusus jika pengguna ingin membuat model manekin berdasarkan data antropometri yang ingin diteliti. Gambar 2.10 menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



Gambar 2.10 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version

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

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

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

1. Membuat *virtual environment* pada Jack.
2. Membuat *virtual human*.

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

2.5.2 Jack Task Analysis Toolkit

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

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

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

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

2.6 Static Strength Prediction (SSP)

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

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

SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika diaplikasikan dengan melihat sistem muskuloskeletal yang

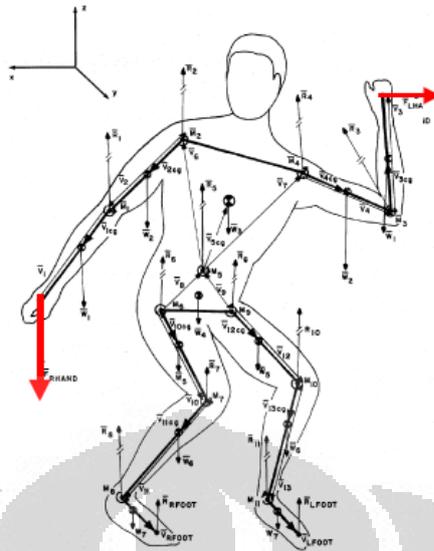
memungkinkan tubuh untuk mengungkit dan bergerak. Pada tubuh manusia pergerakan otot akan membuat tulang cenderung berotasi pada setiap persendiaan yang ada. Besarnya kecenderungan berotasi ini disebut dengan momen rotasi pada suatu sendi. Selama terjadi pergerakan, maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal lainnya. Secara matematis, hal ini dituliskan dalam persamaan:

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

dimana M_j adalah gaya eksternal pada setiap 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 2.11 adalah model biomekanikal manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan sebuah aktivitas.



Gambar 2.11 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian

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

Metode SSP dapat digunakan untuk membantu:

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

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

2.7 Low Back Analysis (LBA)

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

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

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

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

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

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

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

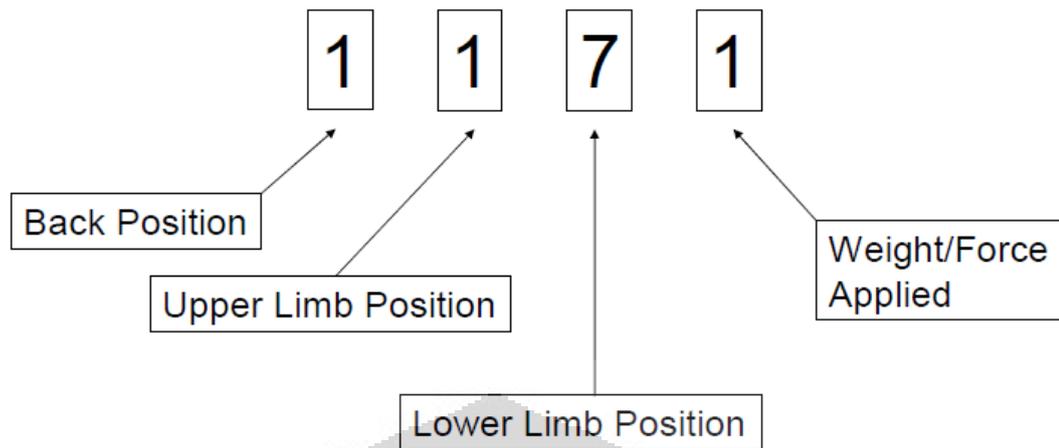
- FM, faktor "Frequency Multiplier",
- AM, faktor "Asymmetric Multiplier", dan
- CM, faktor "Coupling Multiplier".

2.8 Ovako Working Posture Analysis (OWAS)

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

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

Metode ini menilai empat bagian tubuh yang dirangkum dalam 4 digit kode (Gambar 2.12). Angka pertama dalam kode untuk menjelaskan postur kerja bagian *back* (tulang punggung), digit kedua adalah bagian *upper limb*, digit ketiga *lower limb* dan terakhir adalah beban yang digunakan selama proses kerja berlangsung. Penjelasan mengenai kode digit akan dijelaskan sebagai berikut.

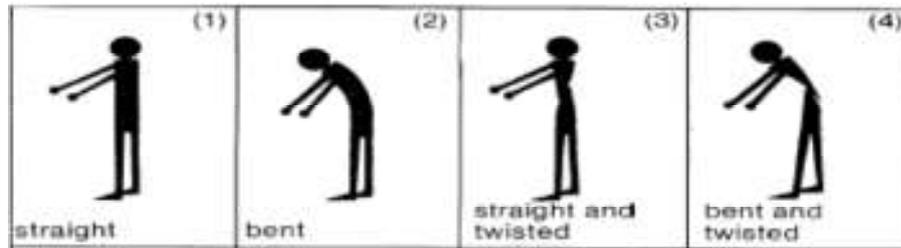


Gambar 2.12 Model Kode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

1. Postur Bagian Punggung

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



Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

2. Posisi Tungkai Bagian Tubuh Atas

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



Gambar 2.14 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

Kemudian posisi kedua adalah posisi tangan dan lengan yang salah satunya (kanan atau kiri) berada di atas level ketinggian bahu. Dan yang terakhir adalah posisi yang memiliki nilai 3, dimana lengan dan tangan berada di atas level ketinggian bahu. Keterangan gambar mengenai posisi *upper limb* ini dapat dilihat pada gambar 2.14.

3. Posisi Tungkal Tubuh Bagian Bawah

Angka ketiga dari sistem 4 angka dari kode OWAS merupakan angka yang mendefinisikan posisi tungkal dari bagian tubuh bawah (kaki). Posisi kaki dalam metode OWAS diklasifikasikan ke dalam 7 jenis posisi, yang memiliki kode 1 hingga 7. Posisi pertama yaitu posisi kaki yang berada dalam kondisi duduk, dimana kaki (legs) berada di bawah level ketinggian dudukan kursi. Kemudian posisi kedua adalah posisi berdiri dengan dua kaki menapak sempurna di tanah. Ketiga, posisi berdiri dengan satu kaki terangkat. Keempat, posisi berdiri dengan kedua kaki tertekuk di bagian lutut dan pergelangan kaki. Kelima, posisi berdiri dengan satu kaki terangkat sekaligus tertekuk. Keenam, posisi berlutut, dan terakhir posisi tubuh yang sedang berjalan. Keterangan gambar mengenai posisi *lower limb* ini dapat dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Klasifikasi Postur Tungkal Tubuh Atas dalam Metode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

4. Beban Ditanggung / Gaya yang Dikerjakan

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

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

Tabel 2.1 Detail Usulan Berdasarkan Skor OWAS

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

Sumber: Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002

2.9 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

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

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

RULA Employee Assessment Worksheet
 Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position
 Step 2: Locate Forearm Position
 Step 3: Locate Wrist Position
 Step 4: Wrist Twist
 Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Step 6: Add Muscle Use Score
 Step 7: Add Frequency Score
 Step 8: Final Row in Table C

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Adjust...
 Step 10: Locate Trunk Position
 Step 11: Adjust...
 Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Step 13: Add Muscle Use Score
 Step 14: Add Frequency Score
 Step 15: Final Column in Table C

SCORES

Table A

Wrist Flexion/Extension	Wrist Deviation	Wrist Pronation/Supination	Wrist Extension	Wrist Flexion	Wrist Deviation	Wrist Pronation/Supination	Wrist Extension	Wrist Flexion
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10

Table B

Neck Flexion/Extension	Neck Rotation	Trunk Flexion/Extension	Trunk Rotation	Leg Extension	Leg Flexion	Leg Rotation
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10

Table C

Final Row	Final Column	Final Score
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10

Final Score

Subject: _____ Date: _____
 Company: _____ Department: _____

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

Gambar 2.16 Contoh Lembar Kerja RULA

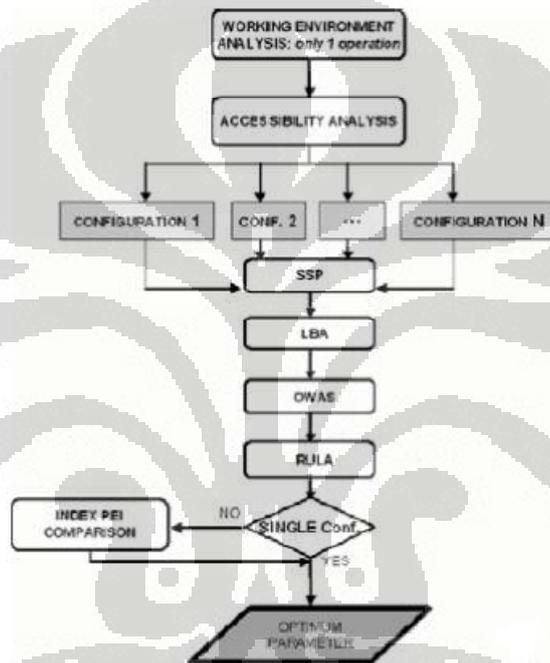
Sumber: RULA form, Hedge, 2000

2.10 Metode Posture Evaluation Index (PEI)

Metodologi PEI dan WEI dikembangkan oleh Prof. Frans Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D dari University of Naples Federico II, Italia. Metodologi ini dikembangkan berdasarkan aplikasi *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack. Tujuan dari penggunaan metodologi ini adalah untuk melakukan optimalisasi terhadap fitur geometri pada sebuah stasiun kerja.

Dengan optimalisasi yang dilakukan, postur kerja yang paling memberikan kenyamanan pada pekerja, dalam berbagai macam persentil populasi, dapat ditentukan¹⁷.

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



Gambar 2.17 Diagram Alir Metode PEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

2.10.1 Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan seluruh pergerakan alternatif yang memungkinkan: hal ini, secara umum, meliputi pemahaman terhadap rute alternatif, postur dan kecepatan eksekusi, yang kesemuanya memberikan kontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil. Sangatlah penting untuk mensimulasikan semua operasi di atas untuk memverifikasi kelayakan dari operasi tersebut. Faktanya, sebagai contoh,

tidak menjadi jaminan apakah semua titik yang ditentukan bisa dijangkau oleh postur yang berbeda. Eksekusi dari analisis ini menjamin tingkat kelayakan dari tugas yang ada. Diantara seluruh fase optimalisasi, fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena fase ini membutuhkan pembuatan simulasi secara *real time* dalam jumlah yang banyak, padahal banyak diantaranya yang akan menjadi sia-sia.

2.10.2 Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas

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

2.10.3 Fase Ketiga: Static Strength Prediction

Setelah konfigurasi kegiatan kerja disusun, pertanyaan berikutnya adalah: berapa banyak pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan tiap kegiatan yang ada pada konfigurasi. Seperti yang telah tertuang pada sub-bab 2.6, kegiatan yang memiliki nilai persentase di bawah batas tertentu sebaiknya tidak dilanjutkan ke fase selanjutnya.

2.10.4 Fase Keempat: Low Back Analysis

Analisis ini mengevaluasi secara *real time* beban yang diterima oleh bagian tulang belakang model manekin saat melakukan tugas yang diberikan. Nilai tekanan yang dihasilkan, kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standar NIOSH yaitu 3400 N.

2.10.5 Fase Kelima: Ovako Working Posture Analysis

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

2.10.6 Fase Keenam: Rapid Upper Limb Assessment

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

2.10.7 Fase Ketujuh: Evaluasi PEI

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

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

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

dimana:

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

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

2.11 Kendaraan Tempur Lapis Baja

Kendaraan tempur kanon merupakan pengembangan varian dari panser 6x6 yang telah ada sebelumnya. Terdapat beberapa jenis kendaraan tempur lapis baja yang merupakan pengembangan varian dari panser 6x6, diantaranya adalah:

2.11.1 Panser APC

APS-3 "Anoa" adalah sebuah kendaraan militer lapis baja buatan PT. Pindad Persero, Indonesia. Kendaraan ini dipergunakan untuk mengangkut personel atau dikenal dengan nama APC (*Armoured Personnel Carrier*). Nama ANOA sendiri diambil dari nama hewan Anoa yang hidup di pulau Sulawesi. APS 3 ini dinamai anoa, yang merupakan salah satu jenis kerbau asli Indonesia. Panser tipe APC ini dinilai tidak ergonomis dikarenakan bentuknya yang hampir seluruhnya menyalin kendaraan lapis baja buatan Perancis, *Véhicule de l'Avant Blindé* (VAB).



Gambar 2.18 Panser Tipe APC (*Armoured Personnel Carrier*)

2.11.2 Panser Komando

Panser komando memiliki sedikit perbedaan pada body bagian belakang bila dibandingkan dengan panser APC. Hal ini dikarenakan panser komando memiliki beberapa peralatan penting didalamnya yang ukurannya tidaklah kecil. Seperti namanya, panser komando merupakan tempat memberikan komando kepada panser lainnya. Panser komando selalu berada di depan untuk selalu memberitahukan situasi dan kondisi medan perang yang dilalui oleh kesatuan infantri didalamnya.



Gambar 2.19 Panser Tipe Komando

2.11.3 Panser Ambulan

Panser ambulan merupakan kendaraan militer lapis baja yang digunakan untuk mengangkut korban perang. Pada body panser ambulan terdapat lambang palang merah yang membedakan panser ini dengan panser-panser lainnya. Isi dari panser ambulan pun berbeda dengan panser tipe APC, di dalam panser ambulan terdapat beberapa peralatan medik serta tandu yang digunakan untuk mengangkut korban perang.



Gambar 2.20 Panser Tipe Ambulan

2.11.4 Panser Recovery

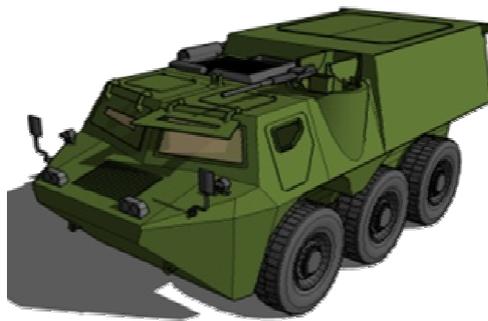
Panser *recovery* merupakan kendaraan militer lapis baja yang digunakan untuk memperbaiki ataupun menderek tipe panser lainnya. Seperti yang kita ketahui sebelumnya, panser merupakan termasuk kendaraan yang berat sehingga tidak sembarang mobil derek bisa menderek tipe panser lainnya. Dikarenakan didalam suatu medan perang dibutuhkan tingkat mobilitas yang tinggi maka dari itu dikembangkanlah varian panser tipe ini dalam membantu pembetulan tipe panser lainnya.



Gambar 2.21 Panser Tipe *Recovery*

2.11.5 Panser Logistik

Panser logistik merupakan kendaraan militer lapis baja yang digunakan untuk mengangkut berbagai macam logistik yang digunakan di dalam medan perang. Banyak sekali logistik yang diperlukan dan sangat penting di dalam medan perang salah satunya adalah bahan bakar. Bagi tipe panser lainnya bahan bakar merupakan suatu hal yang penting yang tak dapat diacuhkan. Dalam perang logistik merupakan salah satu nyawa yang paling berharga dan merupakan salah satu bentuk strategi perang juga. Pada bagian dalam terdapat susunan rak tempat menaruh logistik yang dibawa, yang merupakan pembeda dengan tipe panser lainnya.



Gambar 2.22 Panser Tipe Logistik

2.11.6 Panser Mortar

Panser Mortar merupakan kendaraan militer lapis baja yang digunakan untuk membawa mortar. Mortar itu sendiri adalah senjata artileri yang diisi dari depan, dan menembakkan peluru dengan kecepatan yang rendah, jarak yang jangkauan dekat, dan dengan perjalanan peluru yang tinggi lengkungan parabolnya. Hal yang berbeda antara panser mortar dengan panser lainnya adalah, dapat dibukanya bagian atas panser sehingga peluru pada mortar dapat diluncurkan.



Gambar 2.23 Panser Tipe *Mortar*

2.11.7 Kendaraan Intai

Intai merupakan kendaraan militer lapis baja yang digunakan untuk mengintai lawan di dalam suatu medan perang. Bentuknya yang lebih kecil dibandingkan yang lain membuat intai memiliki mobilitas yang lebih tinggi.



Gambar 2.24 Kendaraan Lapis Baja Intai

2.11.8 Panser Kanon

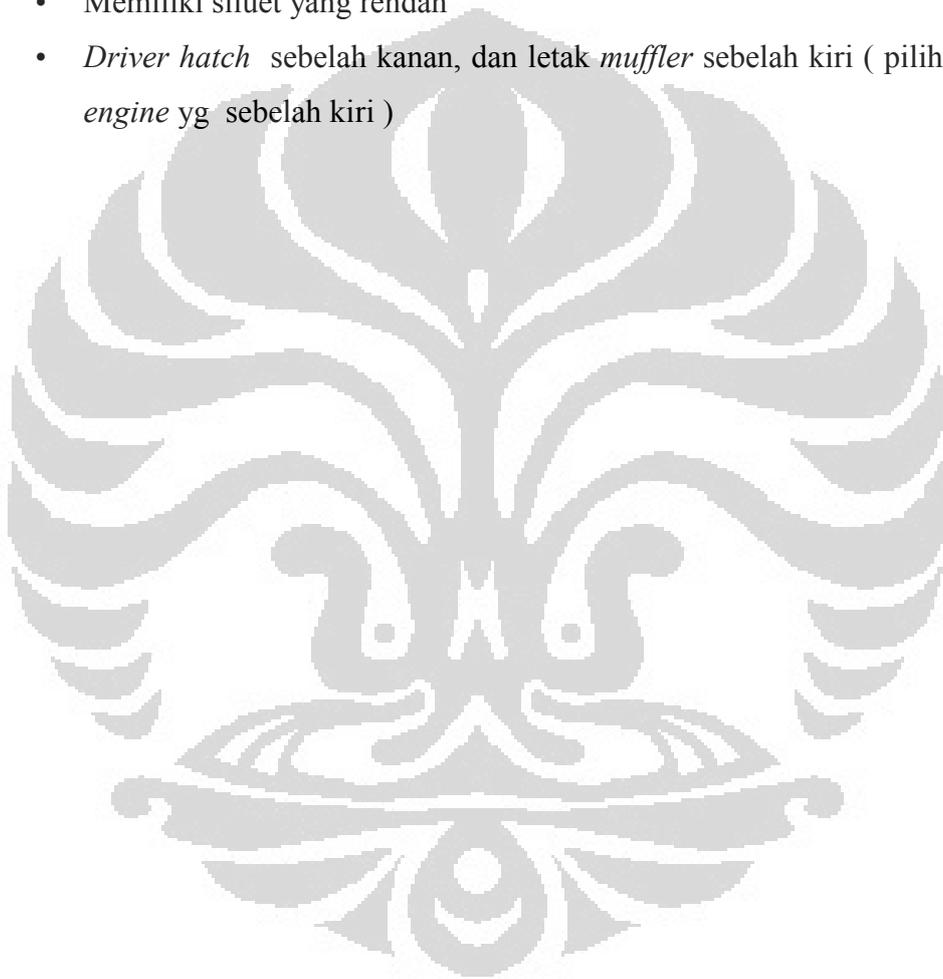
Panser kanon merupakan proyek pengembangan panser Pindad ANOA 6x6 . Sistem turret canon panser ini menggunakan CSE-90/MK-III buatan CMI *Defense*, Belgia. CSE-90 berkaliber 90mm ini juga dilengkapi dengan senapan mesin coaxial 7,62mm. Untuk perangkat komunikasi menggunakan *Intercom set* VHF/FM dengan fasilitas *anti-jamming* dan berkemampuan *hopping channel*. Peralatan pertempuran lainnya adalah teropong malam (*Night Vision Google*), GPS, dan perangkat sensor senjata.



Gambar 2.25 Kendaraan Tempur Panser Kanon

Pengarahan Presiden RI 10 Oktober 2010 tentang kendaraan tempur kanon menjadi dasar konsep pengembangan kendaraan tempur panser kanon. Konsep desain panser kanon itu sendiri adalah:

- Memakai Turret CSE-90 dan Gun Mk3 Cockrail Kal 90 mm (kaliber sedang)
- Penggunaan *double wishbone* dan *coil spring*, dengan lebar *track* menjadi 2515 mm jadi ada modifikasi suspensi Panser 6x6 anoa, sedang *axle* dan *hub reduction* tetap.
- Sistem otomotif yang sebagian besar mengadopsi Panser 6x6
- Memiliki lebar body lebih besar yaitu 2700 mm
- Memiliki siluet yang rendah
- *Driver hatch* sebelah kanan, dan letak *muffler* sebelah kiri (pilih *exhaust engine* yg sebelah kiri)



BAB III

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab ini akan dibahas data-data yang dikumpulkan seperti data antropometri TNI sebagai pengemudi, spesifikasi kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon, dan proses pembuatan model *virtual* berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan dengan *software* Jack 6.1.

3.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini membutuhkan data untuk menyusun model *virtual environment* dan *virtual human modeling* dalam *software* Jack 6.1. Data spesifikasi kabin kendaraan didapatkan dari desain yang dimiliki PT.PINDAD dan juga dari pengukuran langsung pada *prototype* kendaraan tempur tersebut. Pengukuran dilakukan hanya yang berhubungan dengan penelitian yakni kabin pengemudi dari panser kanon. Pada kabin ini, diperhatikan objek-objek yang memiliki interaksi dengan pengemudi pada saat beroperasi sehingga pada model *virtual environment* memiliki kondisi yang sama dengan keadaan sebenarnya. Oleh karena itu diperlukan data spesifikasi ukuran dari objek-objek tersebut berdasarkan spesifikasi militer yang ada.

Pada pembuatan model manusia virtual sebagai tentara pengemudi kendaraan tempur dibutuhkan data antropometri dari personil TNI yang akan menggunakan panser kanon nantinya. Data antropometri ini disesuaikan juga dengan jurnal internasional antropometri orang Indonesia agar dapat lebih merepresentasikan ukuran tubuh personil TNI.

3.1.1 Data Spesifikasi Kabin Pengemudi Kendaraan Tempur Panser Kanon

Kendaraan tempur yang menjadi objek penelitian adalah kendaraan tempur panser kanon. Kendaraan tempur panser kanon merupakan pengembangan dari kendaraan tempur panser lainnya. Kendaraan tempur panser kanon yang menjadi objek penelitian ini masih berbentuk desain dan masih dalam proses pembuatan.

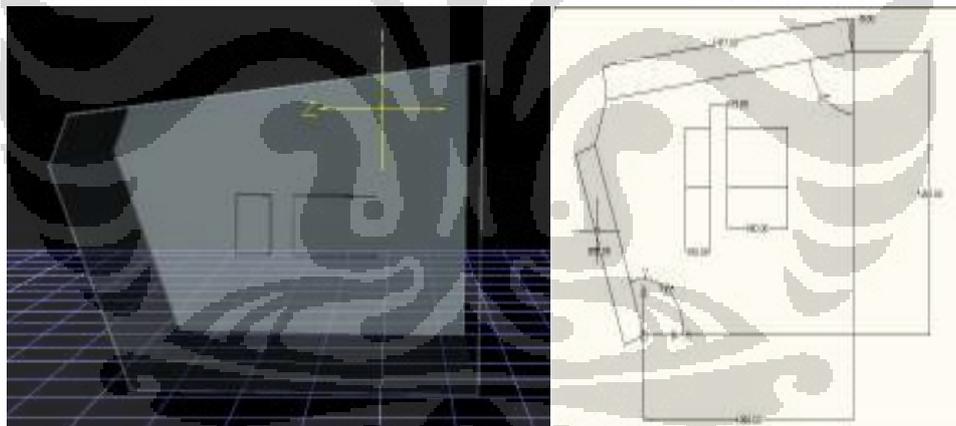
Pada kabin pengemudi terdapat beberapa desain yang saling berinteraksi dan menunjang satu sama lainnya, diantaranya adalah:

1. Ruang kabin
2. Kursi pengemudi
3. Pedal gas dan rem
4. Tuas kemudi

Berikut ini adalah detail spesifikasi kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon berdasarkan ukuran pada desain yang tersedia.

3.1.1.1 Data Spesifikasi Ruang Kabin

Ruang kabin merupakan hal yang terpenting didalam objek penelitian ini. Ruang kabin yang tersedia menjadi batas gerak yang mungkin terjadi dalam proses pengoperasian dalam kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon. Berikut ini adalah detail spesifikasi ruang kabin yang tersedia dalam desain yang diberikan oleh PT. Pindad Persero.



Gambar 3.1 Model Virtual Ruang Kabin

Lokasi kabin pengemudi ini dibagian kanan kendaraan bersebelahan dengan mesin panser kanon, sehingga ukuran dari kabin ini terbatas. Adapun ukurannya ialah sebagai berikut:

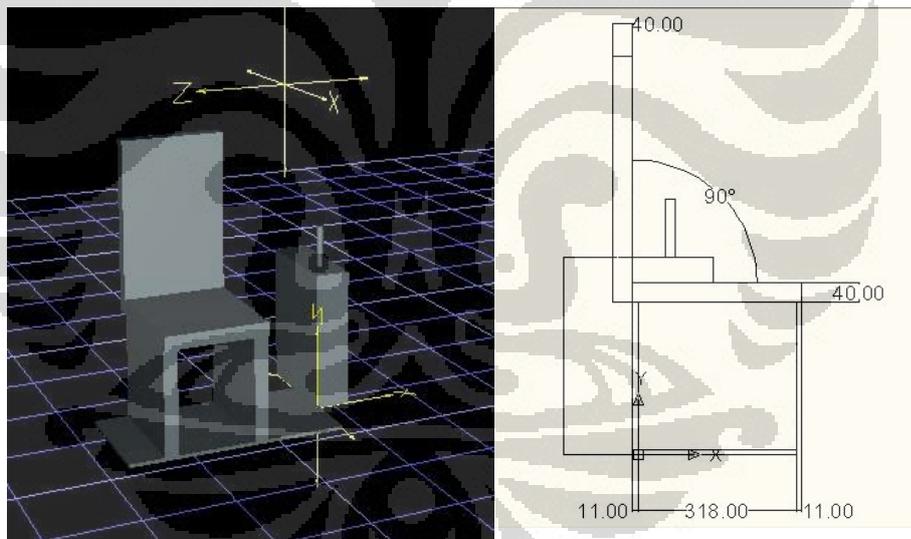
- Panjang alas : 125 cm
- Lebar alas : 125 cm
- Tinggi kabin : 120 cm
- Sudut kemiringan bawah : 110°

- Sudut kemiringan atas : 82°
- Panjang atap kanbin : 147,7 cm

3.1.1.2 Data Spesifikasi Kursi Pengemudi

Kursi pengemudi merupakan komponen terpenting dari kabin pengemudi karena kursi pengemudi menentukan seperti apa postur yang terbentuk di dalam kabin pengemudi tersebut. Berikut ini data spesifikasi dari kursi pengemudi:

- Panjang alas : 30 cm
- Lebar alas duduk : 34 cm
- Panjang sandaran : 46 cm
- Lebar sandaran : 40 cm
- Tebal alas : 4 cm
- Tebal sandaran : 4 cm
- Sudut kursi : 90°



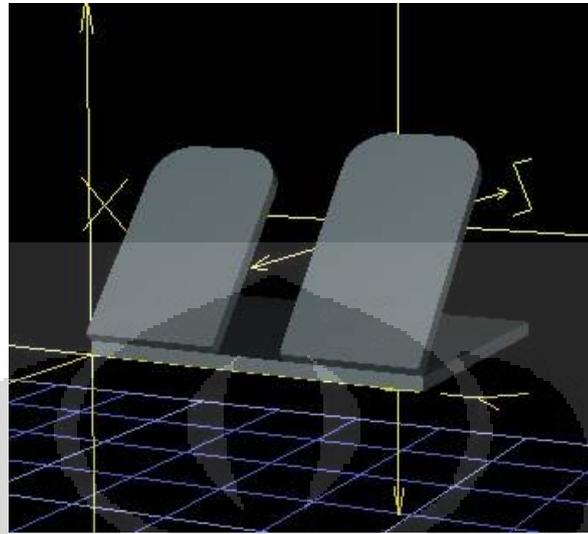
Gambar 3.2 Model Virtual Kursi Kabin

3.1.1.3 Data Spesifikasi Pedal Gas dan Rem

Pada perencanaannya rancangan panser kanon ini akan menggunakan transmisi *automatic* sehingga hanyadua macam pedal, yaitu pedal gas dan rem. Pedal gas dan rem pada penelitian ini dibuat berdasarkan spesifikasi militer yang ada. Berikut ini data spesifikasi dari pedal gas dan rem yang didapat:

- Panjang pedal gas : 18 cm
- Lebar pedal gas : 10 cm

- Panjang pedal rem : 16 cm
- Lebar pedal rem : 10 cm

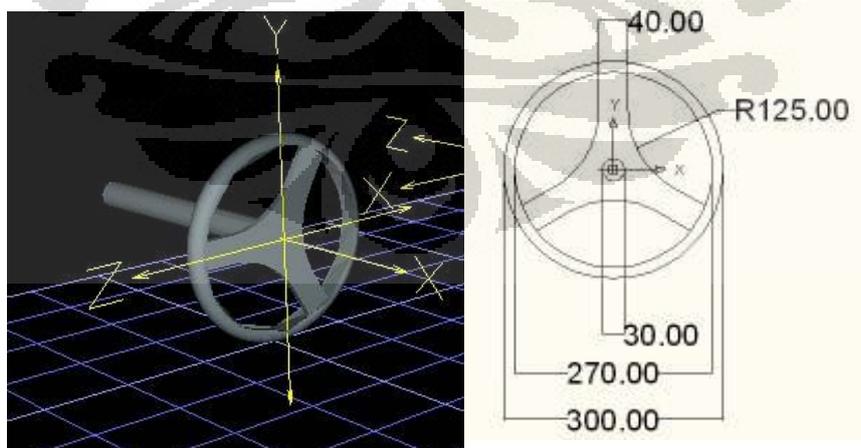


Gambar 3.3 Model Virtual Kursi Kabin

3.1.1.4 Data Spesifikasi Tuas Kemudi

Tuas kemudi aktual yang telah ada adalah berbentuk lingkaran penuh. Tuas Kemudi pada penelitian ini dibuat berdasarkan spesifikasi militer yang ada. Berikut ini adalah data spesifikasi dari tuas kemudi yang didapat:

- Diameter tuas kemudi : 30 cm
- Ketebalan tuas kemudi : 3 cm



Gambar 3.4 Model Virtual Kursi Kabin

3.1.2 Data Antropometri

Data antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia virtual (*virtual human model*) adalah perpaduan data junal internasional mengenai antropometri orang Indonesia dengan data antropometri Yonif Mekanis 201. Pemilihan personel Yonif Mekanis 201 dikarenakan Yonif Mekanis 201 merupakan kesatuan yang satu-satunya berinteraksi langsung dengan kendaraan tempur panser pada saat penelitian berlangsung. Data ini telah diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan jumlah responden sebanyak 170 orang.

Terdapat beberapa data dimensi-dimensi tubuh yang dibutuhkan untuk dijadikan data masukan dalam *software* Jack 6.1 yang berjumlah 15 dimensi tubuh, diantaranya adalah:

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

Semua ukuran dimensi antropometri diambil dalam satuan sentimeter (cm) dan untuk berat badan diukur dalam satuan kilogram (kg). Berdasarkan hasil pengambilan data, kemudian dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan data antropometri personel TNI dengan persentil 5 dan persentil 95. Rincian data

persentil yang diolah dari data antropometri tinggi, berat badan, serta beberapa dimensi tubuh lainnya dapat dilihat pada rekapitulasi data dibawah ini.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri

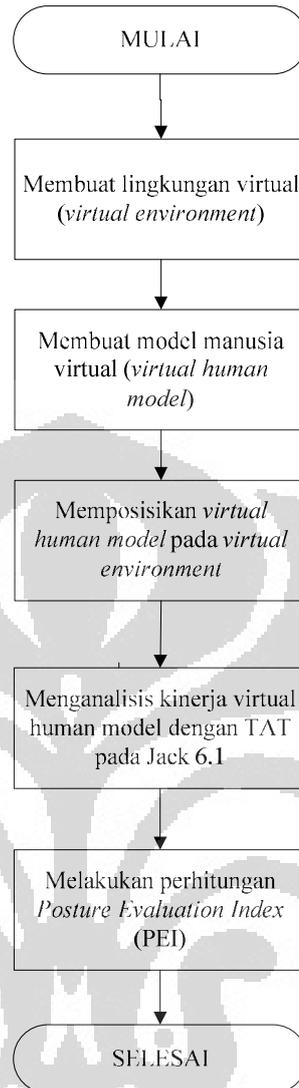
No.	Dimensi	Persentil 5	Persentil 95
1.	Tinggi	164.0	176.0
2.	Tinggi lutut saat duduk kaki tegak	51.0	58.6
3.	Jarak antara lantai sampai bawah paha	42.0	48.0
4.	Panjang telapak kaki	24.7	28.0
5.	Jarak Bokong ke lutut depan	52.0	60.0
6.	Jarak bokong ke lutut belakang	43.0	50.6
7.	Tinggi bahu dari bantal 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 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan tahapan selanjutnya yang dilakukan setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Jack 6.1. Tahapan yang dilakukan dalam pembuatan model penelitian dengan menggunakan *software* Jack 6.1, yaitu:

1. Membuat lingkungan virtual (*virtual environment*)
2. Membuat model manusia virtual (*virtual human model*)
3. Memposisikan *virtual human model* pada *virtual environment* sesuai dengan keadaan yang direncanakan
4. Menganalisis kinerja *virtual human model* dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack 6.1
5. Melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI)

Berikut adalah diagram alir pengolahan data seperti yang telah dijelaskan pada poin-poin diatas.

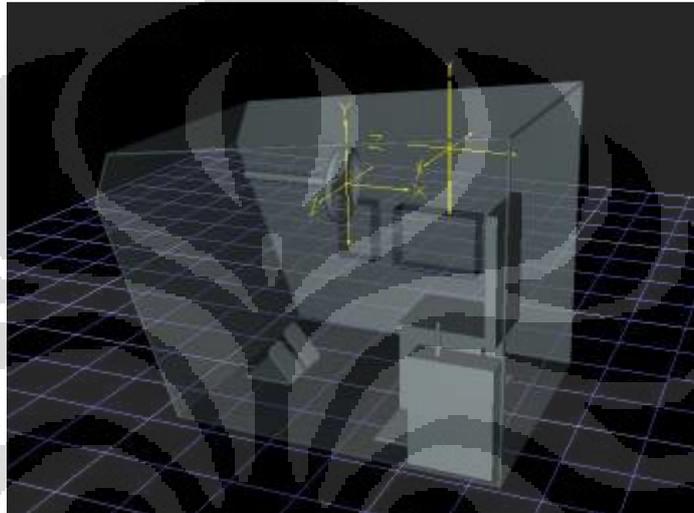


Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data

3.2.1 Pembuatan Virtual Environment

Tahapan awal dari pengolahan data adalah membuat lingkungan virtual (*virtual environment*). Pembuatan *virtual environment* dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* Jack 6.1. Namun, untuk bisa menyusun *virtual environment* yang merepresentasikan ukuran di dunia nyata, harus dibentuk terlebih dahulu model lingkungan kerja (*virtual environment*) dalam *software* NX 6.0. Lingkungan kerja yang dimaksud dalam penelitian ini adalah kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon. Pembuatan model *virtual* kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dikerjakan dalam *software* NX 6.0 dengan ukuran dimensi yang telah disesuaikan dengan ukuran sebenarnya.

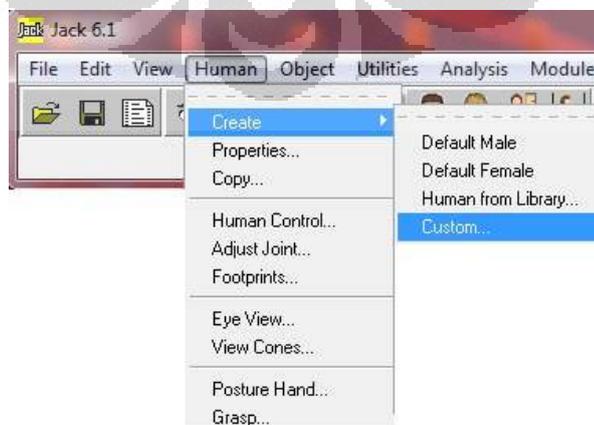
Setelah membuat model dalam *software* NX 6.0, model kabin pengemudi yang dihasilkan memiliki format standar yaitu (.prt). Kemudian model kabin pengemudi yang dihasilkan dirubah ke dalam format (.igs) agar dapat diimport ke dalam *software* Jack 6.1. Setelah pengubahan format, file langsung bisa diimport ke dalam *software* Jack 6.1 untuk kemudian digabungkan dengan model manusia virtual (*virtual human model*) untuk dilakukan langkah selanjutnya. Berikut adalah hasil pembuatan model kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dengan menggunakan *software* NX 6.0



Gambar 3.6 Model Kabin Pengemudi Panser Kanon

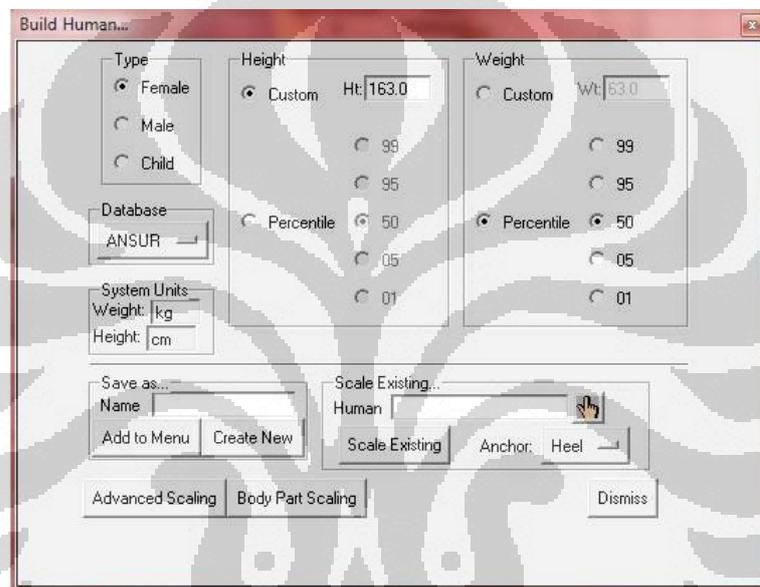
3.2.2 Pembuatan Virtual Human Modeling

Model manusia virtual dalam penelitian ini adalah model personel tentara dibuat berdasarkan data dimensi tubuh yang telah didapat. Data dimensi ini kemudian dimasukkan dalam fitur *Built Human* yang ada dalam *software* Jack 6.1.

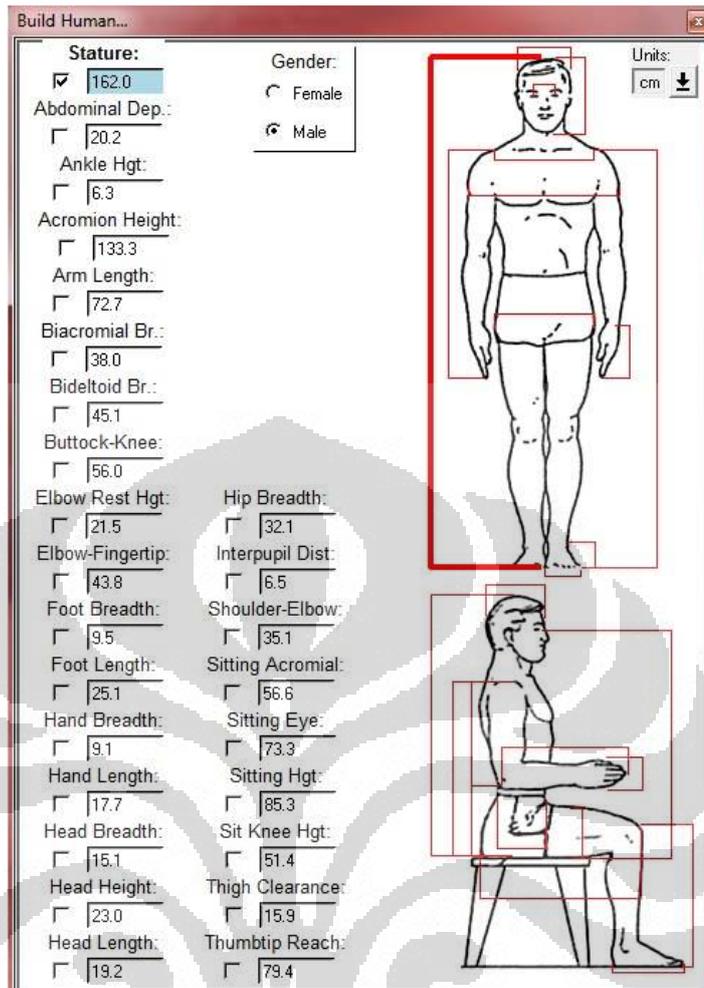


Gambar 3.7 *Command* untuk pembuatan Model Manusia Virtual

Pembuatan model manusia virtual dilakukan secara *customize* agar dapat digunakan informasi-informasi ukuran antropometri yang sebenarnya. Informasi yang dibutuhkan dalam pembuatan model manusia virtual antara lain jenis kelamin, ukuran tinggi badan, berat badan, serta persentil model manusia virtual yang akan dibuat. Selain itu harus ditetapkan standar antropometri yang digunakan. Data-data tersebut diatas dimasukkan dalam tampilan modul *build human* serta *advance scaling* pada *build human* seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.8 Tampilan *Built Human*



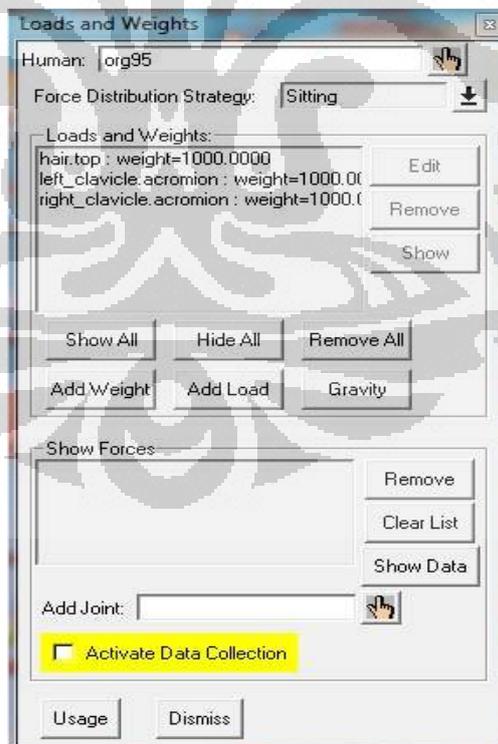
Gambar 3.9 Tampilan *Advance Scaling Build Human*

Data antropometri yang telah dimasukkan ke dalam dialog box kemudian pada *software* Jack 6.1 akan menghasilkan model manusia yang sesuai spesifikasi dimensi tubuh yang sebenarnya. *Software* Jack 6.1 juga dapat memunculkan ukuran-ukuran spesifikasi tubuh yang telah dibuat dengan mode scaling, dimana dari data tinggi dan berat badan manusia yang telah dimasukkan sebelumnya, dapat dibuat estimasi ukuran-ukuran spesifikasi tubuh manusia yang diinginkan, seperti panjang lengan, panjang kaki, tinggi duduk, dan ukuran spesifikasi tubuh lainnya. Kemudian data-data spesifikasi dimensi tubuh yang diinginkan dimasukkan pada mode scaling sehingga model manusia virtual yang dibuat menjadi seperti yang dibutuhkan dalam objek penelitian ini.

3.2.3 Pembuatan Postur Pengemudi

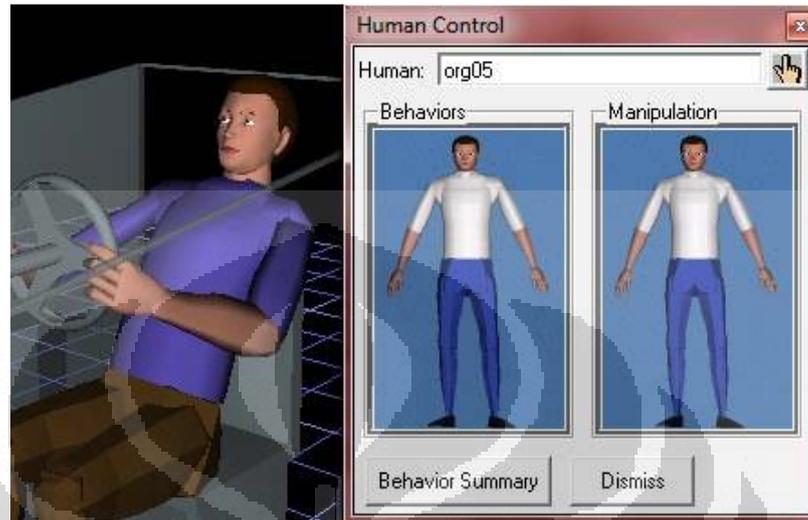
Setelah pembentukan model manusia virtual selesai, tahap selanjutnya dari pengolahan data ini adalah memposisikan model manusia virtual ini duduk dalam kabin pengemudi pada *virtual environment*. Postur pengemudi yang disimulasikan disesuaikan dengan model-model yang saling berinteraksi dalam kabin pengemudi, yaitu kursi pengemudi, pedal gas dan rem, serta tuas kemudi dan dibatasi oleh ruang kabin yang tersedia.

Model manusia yang akan dipakai dalam analisis penelitian ini adalah model personil TNI dengan persentil 5 dan persentil 95. Jenis kelamin pada model personil ini semuanya adalah laki-laki. Pembuatan postur duduk dalam software Jack 6.1 harus dilakukan dengan seksama agar postur duduk dalam keadaan yang sesuai dengan rancangan awal. Postur duduk dibuat pertama-tama dengan mengkondisikan posisi model manusia virtual agar berada dalam kondisi duduk dan kemudian model manusia diberikan beban kerja yang dialami sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini



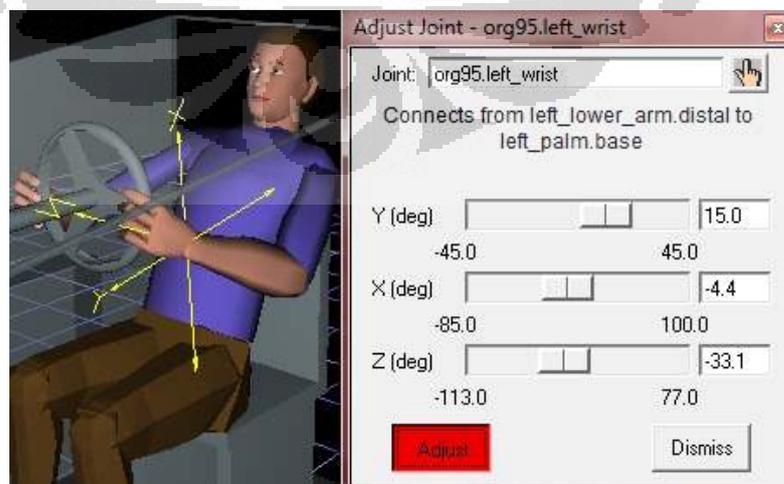
Gambar 3.10 Tampilan Modul Loads and Weights

Kemudian, model manusia virtual yang sudah dalam kondisi duduk tersebut disesuaikan dengan posisi kursi pengemudi yang tersedia, dan disesuaikan kondisinya agar sesuai dengan keadaan yang direncanakan.



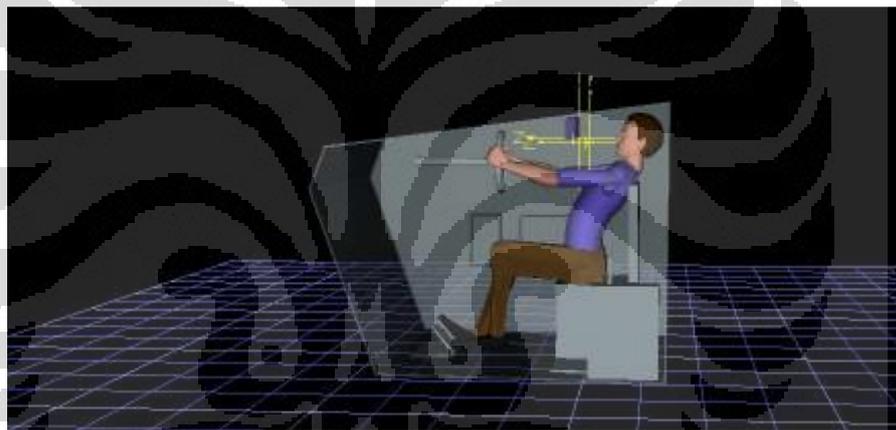
Gambar 3.11 Tampilan Modul Human Control

Untuk menyesuaikan postur duduk dalam model agar sesuai dengan kenyataannya dapat digunakan beberapa command yang ada dalam *software* Jack 6.1. Penyesuaian postur dilakukan dengan memodifikasi persendian model manusia yang ada dengan menggunakan command *human control*. Perintah *human control* ini berfungsi untuk memodifikasi bentuk postur tubuh model manusia virtual dengan menyesuaikan sekelompok persendian tubuh manusia (*joint*) sesuai dengan yang kita inginkan.



Gambar 3.12 Tampilan Modul Adjust Joint

Bagian tubuh yang diubah dalam pembentukan model personil ketika duduk adalah tangan, kaki, kepala, mata, leher, bahu dan tulang belakang. Untuk bagian tubuh tertentu ada yang hanya bisa dimodifikasi sesuai dengan persendiannya masing-masing saja, contohnya bukan merubah keseluruhan telapak tangan, namun hanya merubah satu persendian dari telapak tangan itu saja. Untuk melakukan hal ini, dapat digunakan *adjust joint* agar perubahan yang dilakukan lebih spesifik dan lebih detail. Penggunaan *adjust joint* mampu membuat persedian berubah sesuai sumbu x, y dan z. Perubahan ini disebut dengan traslasi. Selain itu persendian dapat diputar, atau dirotasikan. Namun tidak semua persendian bisa diputar, karena *software* Jack 6.1 dapat membedakan secara spesifik bagian tubuh atau sendi mana saja dalam tubuh manusia yang dapat diputar atau dirotasikan.



Gambar 3.13 Tampilan Model Duduk Pada Kabin Pengemudi

Selain itu ada bagian tubuh yang tidak hanya dapat dirotasi namun juga dapat ditranslasikan. Perubahan – perubahan dapat dilakukan dengan bebas sesuai dengan batasan – batasan perubahan yang berlaku pada tiap masing – masing persendian tubuh manusia. Pada gambar 3.13 dapat dilihat hasil pembuatan model manusia dengan menggunakan *software* Jack 6.1 dalam *virtual environment*. Setelah selesai dibuat model manusia dan diposisikan di dalam *virtual environment*, dilakukan analisis dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang dimiliki oleh *software* Jack 6.1.

3.2.4 Menganalisis Kinerja *Virtual Human Model*

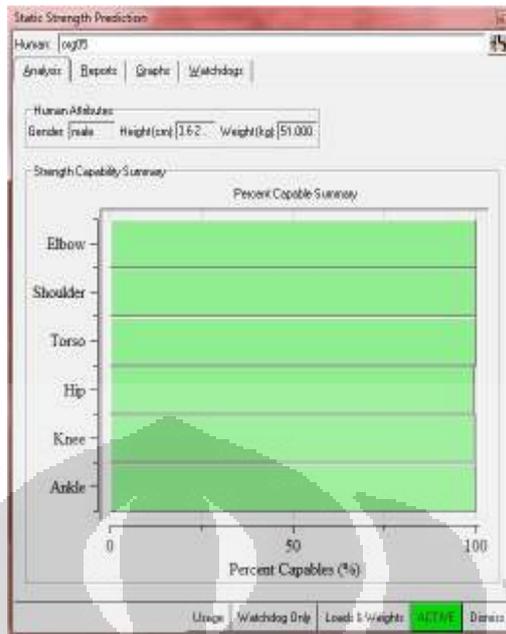
Dalam menganalisa pengaruh postur duduk terhadap tubuh, khususnya tubuh bagian atas, digunakanlah beberapa *tools* yang tersedia di dalam *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack 6.1. *Tools* yang digunakan untuk menganalisis kinerja model manusia dalam penelitian ini berjumlah empat buah *tools*. empat *tools* tersebut adalah sebagai berikut:

- *Static Strength Prediction* (SSP)
- *Low Back Analysis* (LBA)
- *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS)
- *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA)

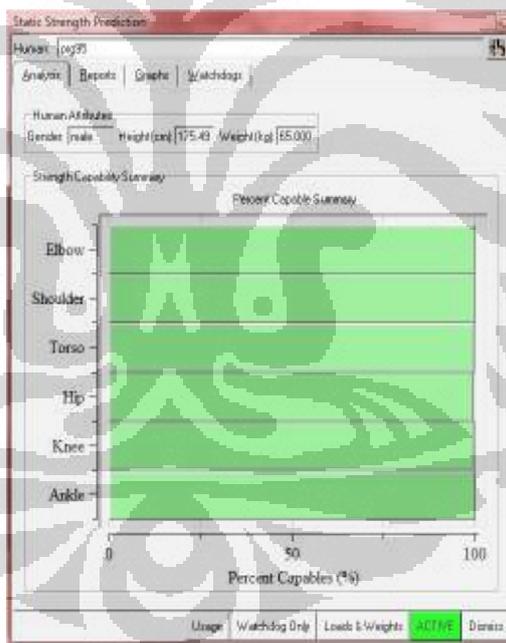
Model manusia akan dianalisis dengan keempat *tools* diatas, yang kemudian akan dikombinasikan dengan perhitungan khusus untuk mendapatkan nilai postur tubuh secara keseluruhan. Nilai postur tubuh ini dinamakan dengan *Posture Evaluation index* (PEI). Analisis yang dilakukan dengan menggunakan keempat *tools* ini dapat menunjukkan postur duduk yang paling besar pengaruhnya terhadap tubuh pada model manusia virtual. Hasil analisis dampak postur duduk terhadap tubuh manusia ini kemudian akan dibandingkan antar satu konfigurasi dengan konfigurasi lainnya. Hasil ini diharapkan nantinya akan dapat memberikan usulan bagaimana rancangan kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon yang memiliki kecenderungan menyebabkan beban terkecil terhadap tubuh pengguna. Berikut adalah hasil penilaian dari keempat *tools* yang terdapat pada *Task Analysis Toolkit* terhadap postur duduk personil Yonif Meknais 201 dalam konfigurasi rencana awal rancangan kabin pengemudi.

3.2.4.1 *Static Strength Prediction*

Static strength prediction digunakan untuk memvalidasi postur yang dibuat dapat dikerjakan atau dilakukan oleh orang lainnya. Besaran kapabilitas dapat diatur sesuai keinginan kita.



Gambar 3.14 Hasil SSP kondisi awal pada Persentil 5

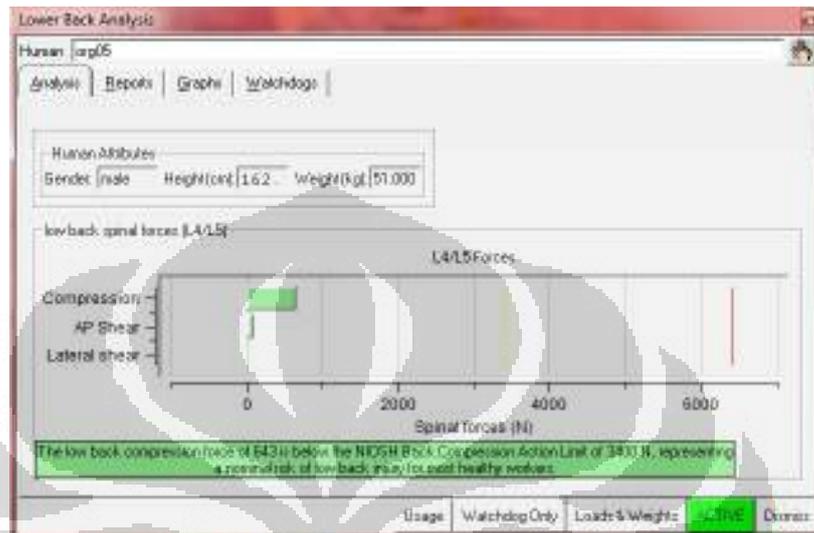


Gambar 3.15 Hasil SSP Kondisi awal pada Persentil 95

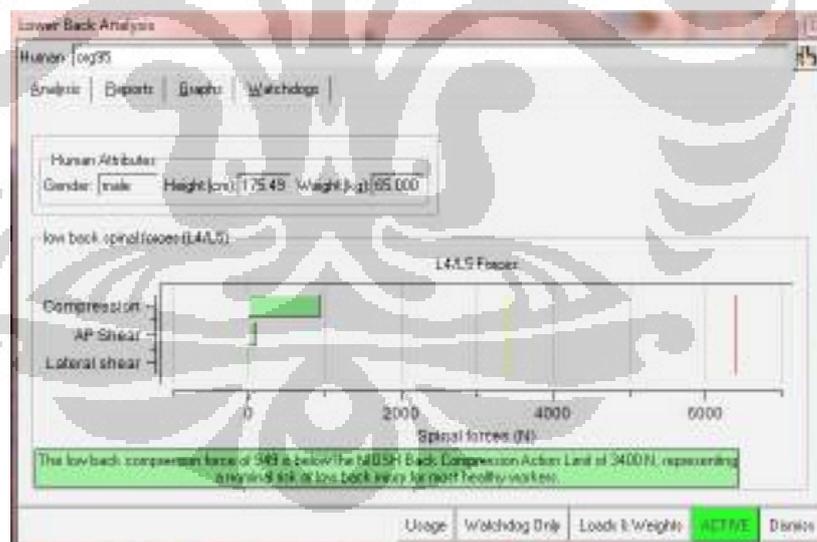
Hasil analisis SSP diatas menyatakan bahwa untuk kondisi awal (rencana awal rancangan kabin pengemudi) persentil 5 dan persentil 95, postur yang diujikan mampu dilakukan oleh 80% populasi yang memiliki usia, gender dan tinggi badan yang berbeda.

3.2.4.2 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.



Gambar 3.16 Hasil LBA Kondisi awal pada Persentil 5

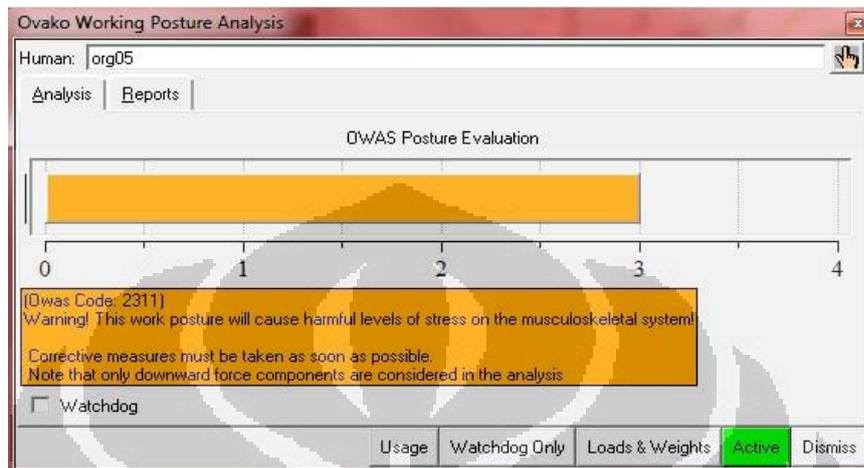


Gambar 3.17 Hasil LBA Kondisi awal pada Persentil 95

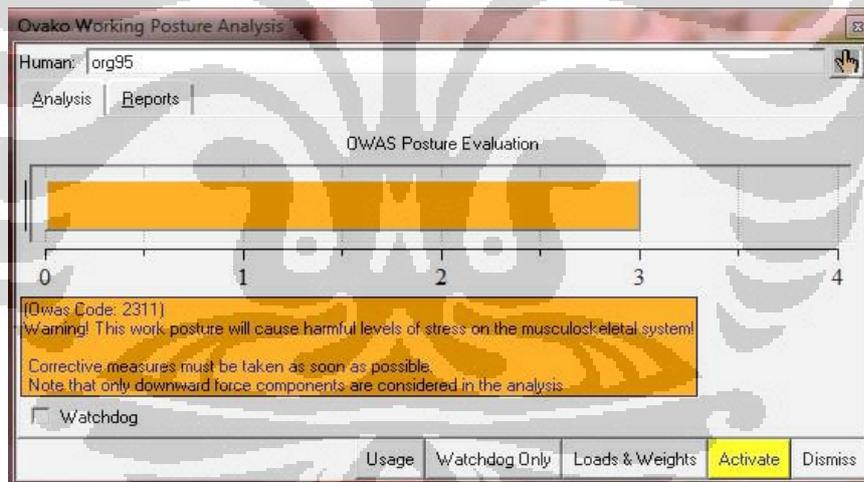
Berdasarkan hasil analisis RULA untuk kondisi awal (rencana awal rancangan kabin pengemudi) persentil 5 dan persentil 95, besar gaya yang diterima oleh punggung bagian bawah adalah sebesar 519 N pada persentil 5 dan 832 N pada persentil 95. Nilai RULA yang dihasilkan pada konfigurasi 1 masih di bawah batas normal yang diperbolehkan yaitu 3400 N.

3.2.4.3 Ovako Working Posture Analysis System

Sistem penilaian dengan skor OWAS digunakan ketika sistem yang diteliti mudah untuk diamati dan dipelajari. OWAS meninjau postur standar untuk trunk, arms, lower body, dan neck.



Gambar 3.18 Hasil OWAS Kondisi awal pada Persentil 95



Gambar 3.19 Hasil OWAS Kondisi awal pada Persentil 95

Dari hasil analisis modul OWAS untuk kondisi awal (rencana awal rancangan kabin pengemudi) persentil 5 dan persentil 95, didapatkan kode OWAS 2311. Kemudian kode OWAS tersebut dikalkulasikan dan menghasilkan skor OWAS sebesar 3 poin pada persentil 5 dan persentil 95.

3.2.4.4 Rapid Upper Limb Assessment

RULA merupakan alat evaluasi faktor-faktor risiko postur, kontraksi otot statis, gerakan repetitif, dan gaya yang digunakan oleh tubuh bagian atas. Setiap

faktor memiliki kontribusi masing-masing terhadap suatu nilai yang dihitung. Nilai-nilai tersebut dijumlah dan diterapkan pada tabel untuk menentukan *Grand Score*.

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating:
 Upper arm: 3
 Lower arm: 3
 Wrist: 2
 Wrist/Twist: 1
 Total: 4

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

Muscle Use: Normal, no extreme use
 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

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

Grand Score: 4
 Action: Investigation and changes are required soon.

Update Analysis

Usage | Details

Gambar 3.20 Hasil RULA Kondisi awal pada Persentil 5

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating:
 Upper arm: 3
 Lower arm: 3
 Wrist: 2
 Wrist/Twist: 1
 Total: 4

Body Group B Posture Rating:
 Neck: 2
 Trunk: 4
 Total: 6

Muscle Use: Normal, no extreme use
 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

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

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

Update Analysis

Usage | Details

Gambar 3.21 Hasil RULA Kondisi awal pada Persentil 95

Grand Score ini 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 untuk kondisi awal (rencana awal rancangan kabin pengemudi) persentil 5 adalah 6 dan persentil 95 adalah 6. Poin 6 pada persentil 5 dan poin 6 pada persentil 95 ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang direncanakan pada rancangan awal kabin pengemudi membahayakan kesehatan, sehingga dibutuhkan investigasi dan perbaikan secepatnya.

3.2.5 Perhitungan Nilai Posture Evaluation Index (PEI)

Setelah didapat hasil *Task Analysis Toolkits*, maka langkah berikutnya adalah menghitung *Posture Evaluation Index* (PEI). *Posture Evaluation Index* (PEI) didapatkan dengan mengkombinasikan tiga *tools* dalam Jack TAT, yaitu *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis System*, *Rapid Upper Limb Assessment*. Setelah sebelumnya divalidasikan oleh nilai *Static Strength Prediction* dari postur duduk konfigurasi yang diujikan. Sebagai contoh, tahapan perhitungan nilai PEI OWAS untuk kondisi awal (rencana awal rancangan kabin pengemudi) persentil 5 dan persentil 95, menurut persamaan yang telah disebutkan pada bab 2, dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Persentil 5:

Nilai LBA : 643 N

Nilai RULA : 6

Nilai OWAS : 3

Maka nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 5 adalah

$$\begin{aligned} \text{PEI} &= 643 \text{ N}/3400\text{N} + 3/4 + 6/7 \cdot 1,42 \\ &= 2,156 \end{aligned}$$

- Persentil 95:

Nilai LBA : 949 N

Nilai RULA : 6

Nilai OWAS : 3

Maka nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 95 adalah

$$\begin{aligned} \text{PEI} &= 949 \text{ N}/3400\text{N} + 3/4 + 6/7 \cdot 1,42 \\ &= 2,246 \end{aligned}$$

Nilai PEI ini menjadi acuan yang nanti akan dibandingkan dengan nilai PEI dari konfigurasi yang lain. Konfigurasi dengan nilai PEI terkecil akan diambil sebagai rekomendasi rancangan kabin pengemudi panser kanon 90mm yang ergonomis.

3.3 Perancangan Konfigurasi Model

Pada langkah ini dilakukan perancangan konfigurasi model dalam menentukan desain kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon yang lebih ergonomis. Nilai PEI menjadi dasar dalam menentukan desain yang lebih ergonomis, untuk itu masing-masing konfigurasi nantinya akan dibandingkan satu sama lain. Perancangan konfigurasi ini dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang sudah ditentukan sebelumnya. Variabel pertama yang dikonfigurasi ialah tinggi kursi yang diturunkan karena kabin memiliki luas yang terbatas sehingga dengan begitu dapat meminimalisir pemakaian ruang. Pada penelitian ini tidak melakukan konfigurasi pada sudut pedal gas dan rem karena posisipedal gas dan rem dianggap pada posisi standard 45° . Variabel desain lainnya yang akan dikonfigurasi yaitu sudut kursi dan sudut tuas kemudi.

3.3.1 Perancangan Konfigurasi Tinggi Kursi

Tinggi kursi ialah jarak dari alas kursi dengan lantai kabin. Tinggi kursi aktual ialah 30 cm, sedangkan pada konfigurasi usulan akan diturunkan menjadi 20 cm.

3.3.2 Perancangan Konfigurasi sudut kursi

Sudut kursi ialah sudut yang diukur antara sandaran kursi dengan alas kursi. Perancangan konfigurasi pada sudut kursi ini memiliki tiga level nilai, yaitu 100° , 105° dan 110° .

3.3.3 Perancangan Konfigurasi Sudut Tuas Kemudi

Sudut tuas kemudi diukur dari sejajar dengan lantai pada kabin engemudi. Perancangan konfigurasi pada sudut tuas kemudi ini memiliki dua level nilai yaitu 30° dan 70° . Sudut ini berdasarkan referensi desain kendaraan Panser Tarantula.

Posisi tuas kemudi 25 cm dari alas duduk kursi. Berikut tabel rencana konfigurasi yang akan dibuat:

Tabel 3.2 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat

Konfigurasi	Persentil	Tinggi Kursi	Sudut Kursi	Sudut Tuas Kemudi
1	5	20 cm	100 ⁰	70 ⁰
	95			
2	5	20 cm	100 ⁰	30 ⁰
	95			
3	5	20 cm	105 ⁰	70 ⁰
	95			
4	5	20 cm	105 ⁰	30 ⁰
	95			
5	5	20 cm	110 ⁰	70 ⁰
	95			
6	5	20 cm	110 ⁰	30 ⁰
	95			

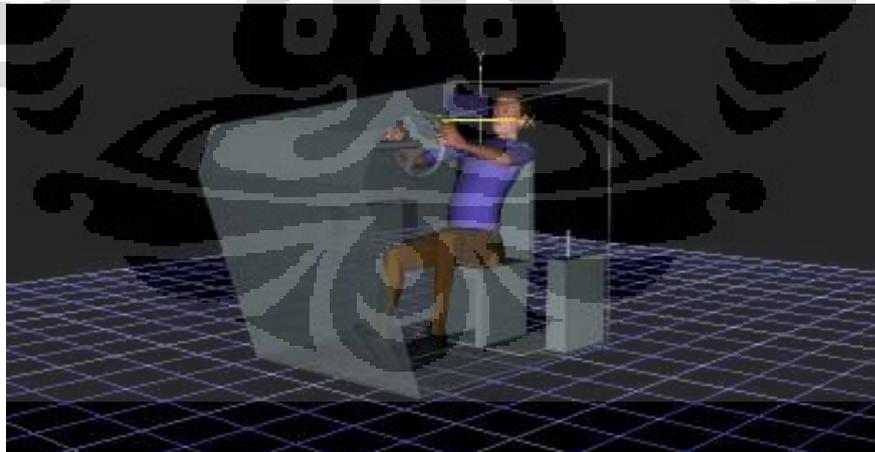
BAB IV

ANALISIS

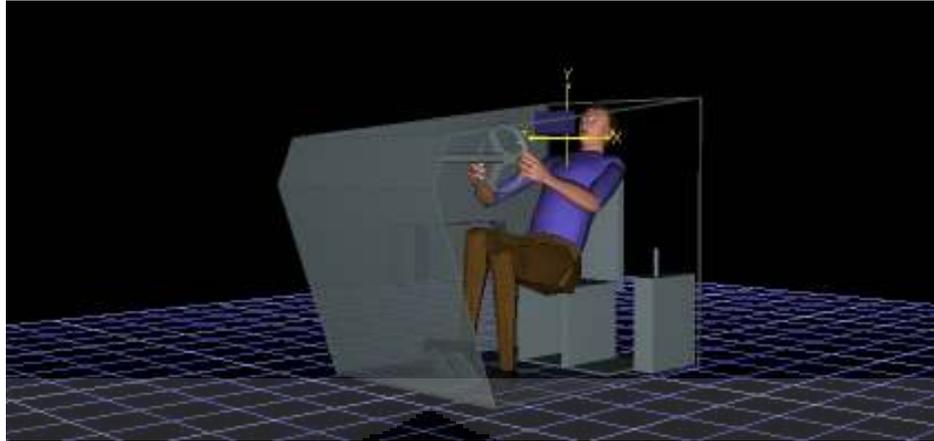
Pada bab ini akan membahas analisa ergonomi desain kabin pengemudi aktual dan desain konfigurasi yang diusulkan dengan mengacu pada nilai hasil *Task Analysis Toolkits* yang ada dalam *software* Jack 6.1. Variabel konfigurasi yang dilakukan antara lain sudut kemiringan sandaran kursi dan sudut tuas kemudi. Seluruh konfigurasi desain akan dihitung nilai *Posture Evaluation Index*(PEI) dan kemudian dibandingkan satu sama lain serta diperhatikan pula pengaruhnya terhadap setiap persentil. Pada bagian akhir bab ini, konfigurasi-konfigurasi yang paling optimal ditetapkan. Berdasarkan analisis tersebut, maka kesimpulan akhir dapat ditarik.

4.1 Analisis Desain Rencana Awal Kabin Pengemudi Panser Kanon

Desain aktual kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon terlihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Analisis desain rencana awal kabin pengemudi panser kanon dijabarkan pada pembahasan berikut



Gambar 4.1 Postur Persentil 5 pada Desain Aktual Kabin Pengemudi Panser Kanon

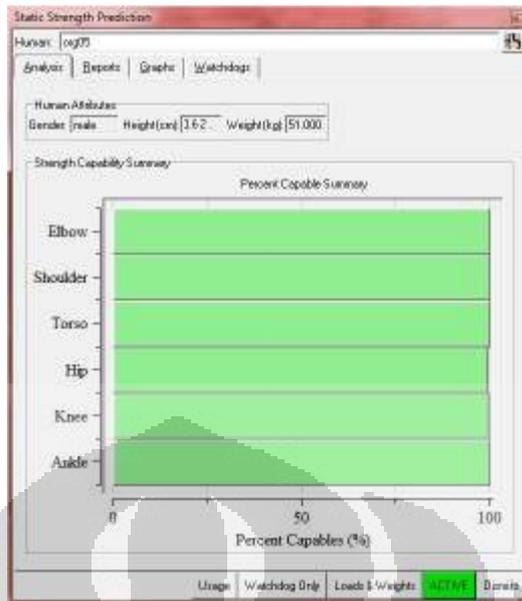


Gambar 4.2 Postur Persentil 95 pada Desain Aktual Kabin Pengemudi Panser Kanon Tahap pertama yang dilakukan dalam menganalisa sebelum melakukan perhitungan PEI yaitu memvalidasi gerakan dengan analisa *Static Strength Prediction*. Tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk melihat berapa persentase populasi manusia yang memiliki kapabilitas untuk melakukan postur atau gerakan yang disimulasikan. Prof. Francesco Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D, peneliti dari Fakultas Teknik University of Naples Federico II yang mengembangkan metode PEI ini menyarankan untuk menggunakan batas minimal persen kapabilitas sebesar 90 % jika ingin melanjutkan perhitungan PEI..

Ada enam bagian tubuh yang diukur kapabilitasnya, yaitu:

- siku (*elbow*)
- bahu (*shoulder*)
- batang tubuh (*torso*)
- pinggul (*hip*)
- lutut (*knee*), dan
- pergelangan kaki (*ankle*).

Jika diperhatikan hasil yang diperoleh dari *Task Analysis Toolkits* untuk konfigurasi 1 pada persentil 5 maupun ke-95 memiliki tingkat kapabilitas di atas 90 %. Dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4, bahwa warna hijau pada grafik menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas untuk konfigurasi aktual ini masih dalam batas aman.



Gambar 4.3 Hasil Analisa SSP pada kondisi aktual persentil 5



Gambar 4.4 Hasil Analisa SSP pada kondisi aktual persentil 95

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat tingkat kapabilitas dari keenam bagian tubuh hampir seluruhnya 100%, kecuali pada bagian pinggul untuk persentil 5 maupun persentil 95. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa 100% populasi pengguna baik persentil 5 hingga persentil 95 memiliki kapabilitas untuk melakukan gerakan sesuai dengan postur untuk desain aktual kabin pengemudi panser kanon.

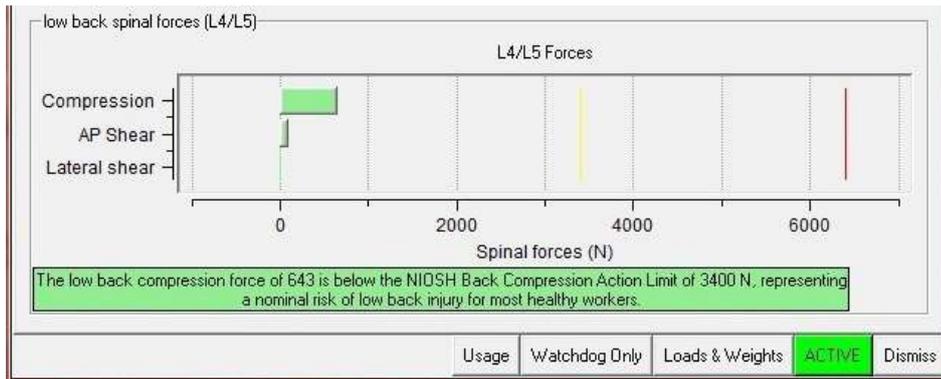
Tabel 4.1 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual pada Persentil 5

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	56	14	100	-1	--	60	15	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-8	ABDUCT	73	18	100	-8	ABDUCT	78	19	100
	Rotation Bk/Fd	-2	FORWARD	96	26	100	-2	FORWARD	103	28	100
	Humeral Rot	0	--	57	15	100	0	--	62	16	100
Trunk	Flex/Ext	43	FLEXN	198	58	100					
	Lateral Bending	0	--	251	56	100					
	Rotation	-0	--	92	25	100					
	Hip	-0	--	214	86	99	-0	--	210	84	99
	Knee	0	--	155	54	100	-0	--	170	59	100
	Ankle	0	--	107	35	100	0	--	143	47	100

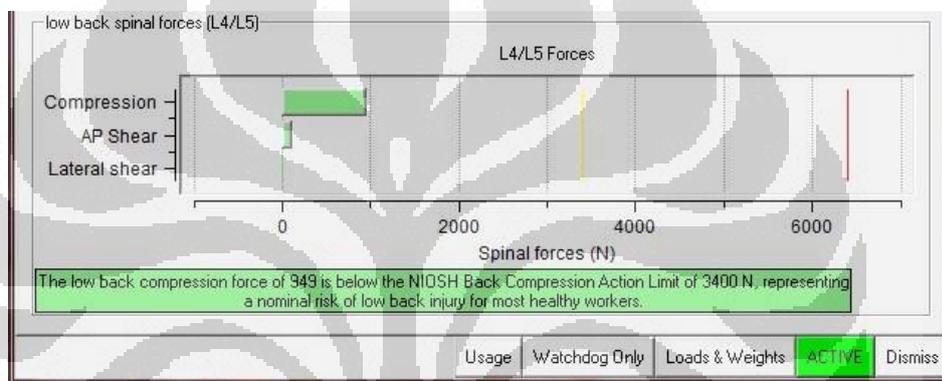
Tabel 4.2 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Desain Aktual pada Persentil 5

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	60	15	100	-1	--	65	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-11	ABDUCT	71	17	100	-11	ABDUCT	76	19	100
	Rotation Bk/Fd	-4	FORWARD	97	26	100	-4	FORWARD	104	28	100
	Humeral Rot	-0	--	33	8	100	-0	--	36	8	100
Trunk	Flex/Ext	54	FLEXN	199	58	99					
	Lateral Bending	0	--	244	55	100					
	Rotation	-0	--	91	24	100					
	Hip	0	--	200	55	100	-0	--	211	85	99
	Knee	0	--	155	54	100	-0	--	169	59	100
	Ankle	0	--	107	35	100	0	--	144	48	100

Setelah divalidasiakan gerakan dengan analisis SSP, tahap berikutnya dilakukan analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Analysis System* (OWAS) serta *Rapid Upper Limb Assesment* (RULA).

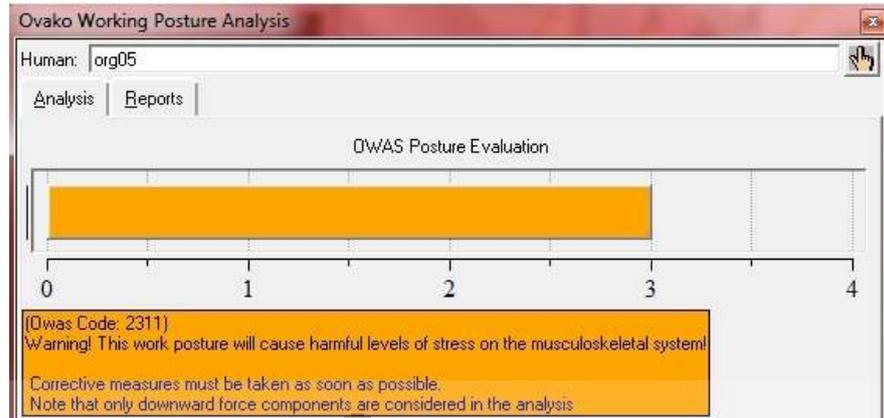


Gambar 4.5 Hasil Analisa LBA pada kondisi aktual persentil 5

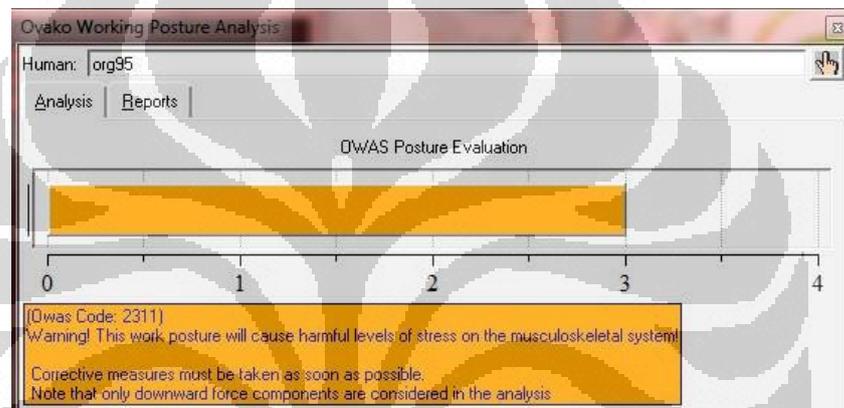


Gambar 4.6 Hasil Analisa LBA pada kondisi aktual persentil 95

Dilihat dari gambar 4.5 dan 4.6 di atas, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi aktual ini memiliki resiko yang relatif kecil terhadap tulang belakang baik pada persentil 5 maupun persentil 95. Hal ini dikarenakan nilai *Lower Back Compression Force* untuk konfigurasi 1 pada persentil 5 dan persentil 95 berturut-turut menunjukkan angka 643 N dan 949 N. Nilai LBA tersebut masih jauh dibawah dibawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N.



Gambar 4.7 Hasil Analisa OWAS pada kondisi aktual persentil 5



Gambar 4.8 Hasil Analisa OWAS pada kondisi aktual persentil 95

Menurut hasil perhitungan postur duduk yang dikeluarkan oleh *Task Analysis Toolkit*, konfigurasi aktual pada persentil 5 dan persentil 95 menghasilkan nilai yang sama yaitu 3 dengan kode yang sama pula yaitu 2311. Berdasarkan kategori tingkat urgensi perlunya dilakukan perbaikan, angka ini menunjukkan bahwa postur kerja saat ini secara nyata membahayakan sistem muskuloskeletal manusia. Tindakan perbaikan perlu dilakukan sesegera mungkin.

Berikut penjelasan secara mendetail mengenai skor OWAS postur ini.

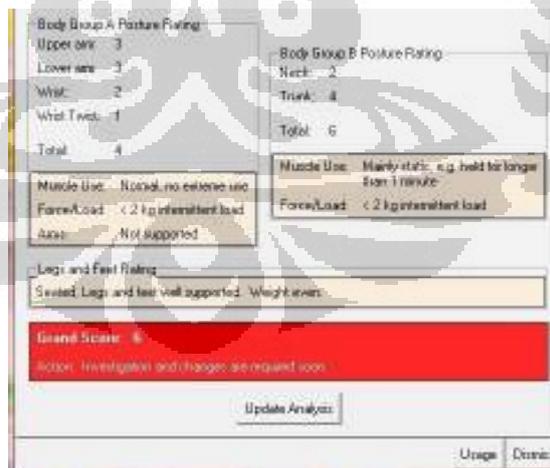
1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu gabungan antara karakteristik membungkuk dan membelok sehingga mengindikasikan terjadinya posisi tulang punggung yang membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.

2. Bagian tangan berada dalam kategori 3 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada di atas bahu. Postur ini merupakan postur yang memiliki resiko cedera yang cukup besar.
3. Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10kg.

Setelah didapatkan hasil OWAS, langkah selanjutnya ialah melihat hasil RULA yang merupakan perhitungan anggota tubuh bagian atas.



Gambar 4.9 Grafik RULA Konfigurasi aktual pada Persentil 5



Gambar 4.10 Grafik RULA Konfigurasi aktual pada Persentil 95

Hasil perhitungan RULA pada gambar 4.9 dan gambar 4.10 yang dikeluarkan oleh *Task Analysis Toolkit* software jack 6.1 menunjukkan bahwa postur duduk yang diuji dalam konfigurasi ini memiliki *grand score* sebesar 6. Nilai ini merupakan hasil perhitungan dua kelompok anggota tubuh, kelompok A

dan kelompok B. Kelompok A adalah skor untuk postur lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Kelompok B adalah skor untuk leher, punggung, dan kaki. Kombinasi nilai dan perhitungan khusus yang dihasilkan pada *Body Group A* dan *Body Group B* akan menghasilkan suatu angka yang menunjukkan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas.

Untuk kelompok bagian tubuh A pada persentil 5 didapatkan nilai skor sebesar 3 untuk lengan atas, 3 untuk lengan bawah, 2 pergelangan tangan dan 1 untuk putaran tangan. Hal ini mengindikasikan bahwa bagian lengan atas memiliki pergerakan kearah depan dalam interval 45 derajat hingga 90 derajat. Hal ini dikarenakan posisi tuas kemudi yang berada diatas bahu yang mengharuskan pengemudi mengangkat tangannya jauh keatas. Bagian lengan bawah memiliki karakteristik melewati sumbu x normal kearah bawah dan tengah sehingga memiliki skor sebesar 3. Selain itu, skor 2 yang dimiliki pergelangan tangan menunjukkan bahwa pergelangan tangan sedikit mengalami perputaran dan membengkok. Untuk Kelompok bagian tubuh A pada persentil 95 didapatkan nilai skor sebesar 3 untuk lengan atas, 3 untuk lengan bawah, 2 pergelangan tangan dan 1 untuk putaran tangan. Indikasi yang terjadi sama dengan yang pada kelompok bagian tubuh A pada persentil 5.

Sedangkan untuk kelompok bagian tubuh B pada persentil 5, nilai yang didapatkan untuk bagian leher (*neck*) adalah sebesar 2. Hal ini dikarenakan pengemudi diharuskan melihat layar periskop sehingga leher mengalami sedikit pergerakan ke arah depan. Lalu untuk bagian batang tubuh (*trunk*) memiliki nilai 5 yang menggambarkan keadaan badan yang menyender ke arah belakang. Pada kelompok bagian tubuh B pada persentil 95 nilai yang didapatkan untuk bagian leher (*neck*) adalah sebesar 2. Hal ini dikarenakan pengemudi diharuskan melihat layar periskop sehingga leher mengalami sedikit pergerakan ke arah depan. Lalu untuk bagian batang tubuh (*trunk*) memiliki nilai 5 yang menggambarkan keadaan badan yang menyender ke arah belakang. Hasil kalkulasi kedua bagian anggota tubuh ini menghasilkan *grand score* 6, dimana investigasi diperlukan dan sistem kerja segera dirubah.

Setelah mendapatkan nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PEI sesuai dengan formula perhitungan PEI yang telah dijelaskan sebelumnya pada bab 2. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai PEI untuk konfigurasi 1 (rencana awal desain) pada persentil 5 dan ke-95 berturut-turut sebesar 2,156 dan 2,246. Nilai PEI ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai PEI untuk konfigurasi lain, untuk kemudian dicari konfigurasi desain yang memiliki nilai PEI terkecil. Tabel 4.3 di bawah ini menunjukkan hasil rekapitulasi nilai SSP, LBA, OWAS dan RULA serta perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 1 kabin pengemudi panser kanon pada persentil 5 dan persentil 95.\

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi Aktual

Konfigurasi Aktual		Persentil	
		5	95
SSP > 90%		Ya	Ya
LBA (N)		643	949
OWAS	Kode	2311	2311
	Nilai	3	3
Kelompok Bagian Tubuh A	UA	3	3
	LA	3	3
	W	2	2
	WT	1	1
	Total A	5	5
Kelompok Bagian Tubuh B	N	2	2
	T	5	5
	Total B	5	5
RULA	Total	6	6
Nilai PEI		2,15626	2,24626

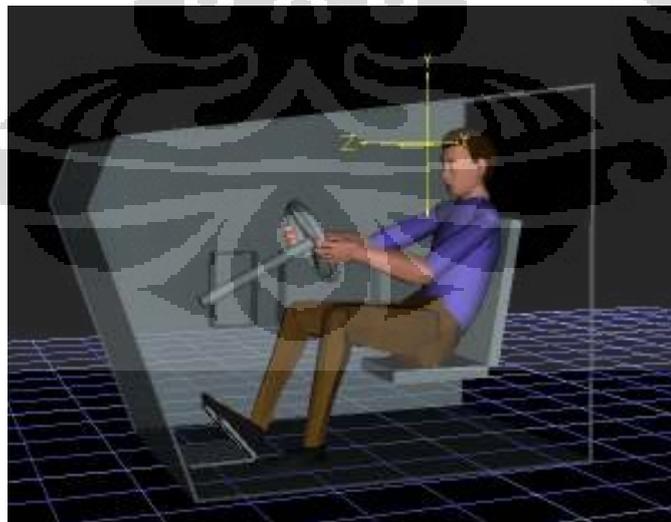
4.2 Analisis Usulan Konfigurasi

Setelah dilakukan analisis terhadap konfigurasi aktual yang dibuat berdasarkan peninjauan pada kondisi yang sebenarnya, selanjutnya dilakukan analisis terhadap rancangan konfigurasi yang telah dibuat. Pembuatan usulan konfigurasi pada desain kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan mengubah tinggi kursi kemudi, sudut tuas kemudi dan sudut

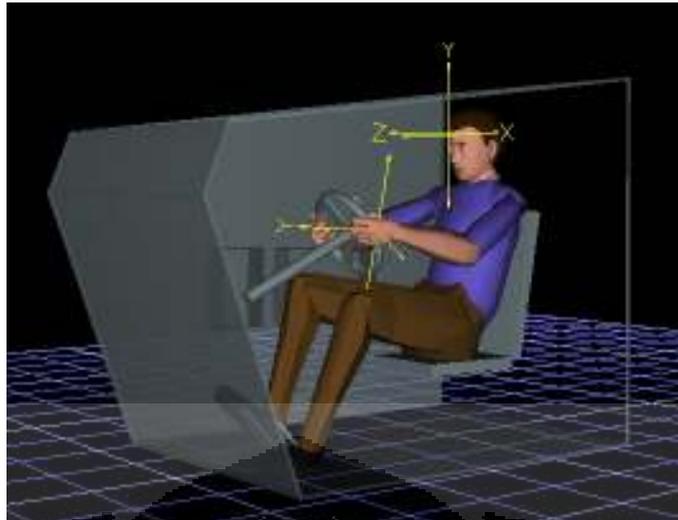
kursi pengemudi yang berada di dalam kabin pengemudi. Perubahan yang dilakukan pada sudut tuas kemudi berupa sudut tuas kemudi dengan sudut 30° dan sudut tuas kemudi dengan sudut 70° dengan posisi yang tetap yaitu 40 cm dari sandaran kursi pengemudi serta 25 cm dari alas duduk pada kursi pengemudi. Pada setiap konfigurasi usulan ini akan memakai tinggi kursi 20 cm. Perubahan yang dilakukan pada sudut kursi pengemudi berupa sudut kursi pengemudi dengan sudut kursi pengemudi 100° , 105° serta 110° . Hasil kombinasi dari perubahan yang dilakukan pada sudut tuas kemudi, tinggi kursi dan sudut kursi pengemudi menghasilkan usulan konfigurasi desain. Setiap usulan konfigurasi yang dibuat akan disimulasikan dengan antropometri personel TNI pada persentil 5 dan 95.

4.2.1 Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 1

Konfigurasi usulan 1 pada kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan memposisikan tuas kemudi dengan sudut 70° serta kursi pengemudi dengan sudut kursi 100° . Pada konfigurasi ini posisi tubuh masih berjarak dengan batas ruang kabin yang tersedia sehingga masih dapat direalisasikan. Kondisi ini memakai posisi tuas kemudi pada sudut 60° , sehingga tangan cukup mudah menjangkau dengan posisi tangan di bawah bahu.



Gambar 4.11 Usulan Rancangan Konfigurasi 1 pada Persentil 5



Gambar 4.12 **Usulan Rancangan Konfigurasi 1 pada Persentil 95**

Usulan Rancangan Konfigurasi 1 kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon ini berdasarkan kapabilitas postur yang ada pada SSP berada di atas 90% sehingga postur yang tercipta pada konfigurasi ini memungkinkan untuk direalisasikan. Pada usulan konfigurasi pertama ini kabin pengemudi memiliki RULA yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual, yaitu 3 pada persentil 5 dan 4 pada persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 2 ini mempunyai nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan konfigurasi 1, yaitu 1 pada persentil 5 dan 2 pada persentil 95. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 2 adalah 351 N untuk persentil 5 dan 361 N untuk persentil 95.

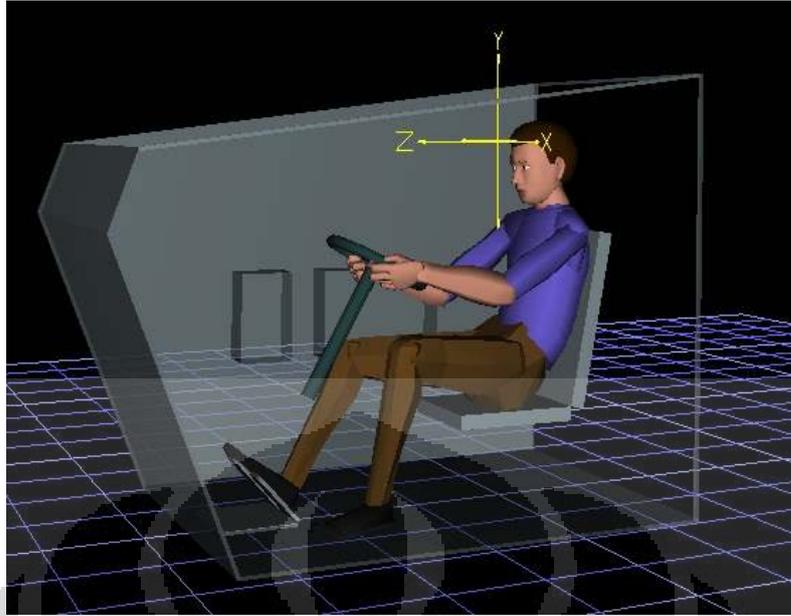
Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 1

Konfigurasi 1		Persentil		
		5	95	
SSP > 90%		Ya	Ya	
LBA (N)		351	361	
OWAS	Kode	2311	2311	
	Nilai	1	2	
RULA	Kelompok Bagian Tubuh A	UA	4	3
		LA	3	3
		W	1	2
		WT	1	2
		Total A	4	5
	Kelompok Bagian Tubuh B	N	2	2
		T	1	1
		Total B	2	2
	Total		3	4
	Nilai PEI		0,96181	1,41761

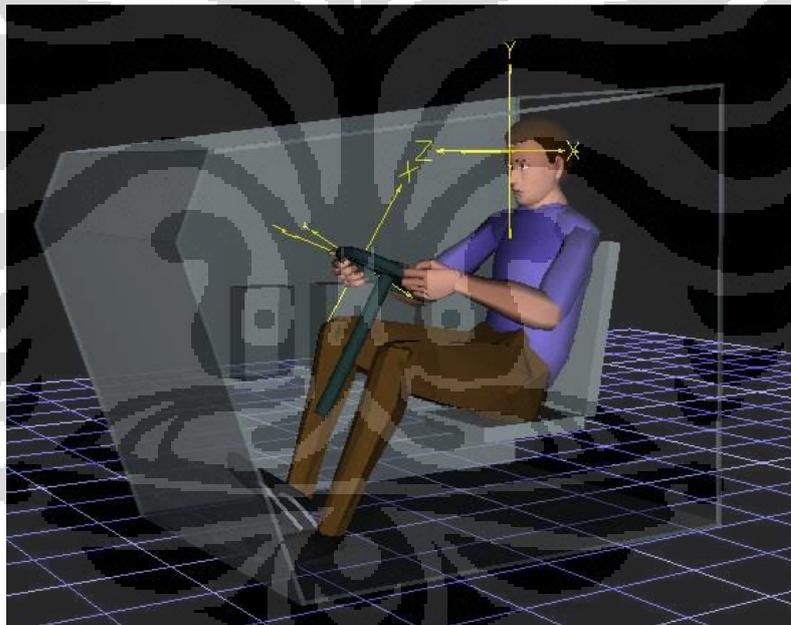
Pada tabel diatas, dapat dilihat rancangan usulan 1 ini mempunyai nilai PEI jauh dibawah rancangan aktualnya yaitu sebesar 0,961 untuk persentil 5 dan 1,417 untuk persentil 95. Angka ini menunjukkan bahwa rancangan usulan 1 ini lebih ergonomis dibandingkan dengan rancangan aktualnya.

4.2.2 Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 2

Konfigurasi usulan 2 pada kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan memposisikan tuas kemudi dengan sudut 30° dari lantai kabin serta kursi pengemudi dengan sudut kursi 100°. Dengan posisi tuas kemudi pada sudut 30° menyebabkan tangan lebih dekat untuk meraih tuas kemudi bagian atas dan menyebabkan posisi tangan normal dan berada di bawah bahu



Gambar 4.13 Usulan Rancangan Konfigurasi 2 pada Persentil 5



Gambar 4.14 Usulan Rancangan Konfigurasi 2 pada Persentil 95

Usulan Rancangan Konfigurasi 2 kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon ini berdasarkan kapabilitas postur yang ada pada SSP berada di atas 90% sehingga postur yang tercipta pada konfigurasi ini memungkinkan untuk direalisasikan. Pada usulan konfigurasi kedua ini juga sama-sama memiliki RULA

yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktual, yaitu 4 pada persentil 5 dan 3 pada persentil 95. Nilai OWAS pada konfigurasi 2 ini mempunyai nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan konfigurasi 1, yaitu 2 pada persentil 5 dan 2 padapersentil 95. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 2 berbeda cukup signifikan dengan kondisi aktual yaitu 289 N untuk persentil 5 dan 347 N untuk persentil 95.

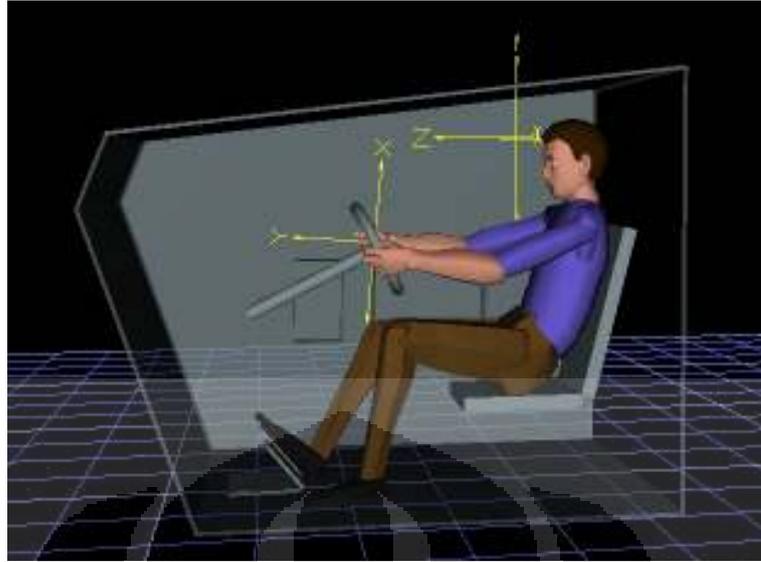
Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2

Usulan 2		Persentil		
		5	95	
SSP > 90%		Ya	Ya	
LBA (N)		289	347	
OWAS	Kode	2311	2311	
	Nilai	2	2	
RULA	Kelompok Bagian Tubuh A	UA	4	4
		LA	3	3
		W	2	2
		WT	2	1
		Total A	5	4
	Kelompok Bagian Tubuh B	N	1	1
		T	1	1
		Total B	1	2
Total		4	3	
Nilai PEI		1,39643	1,21063	

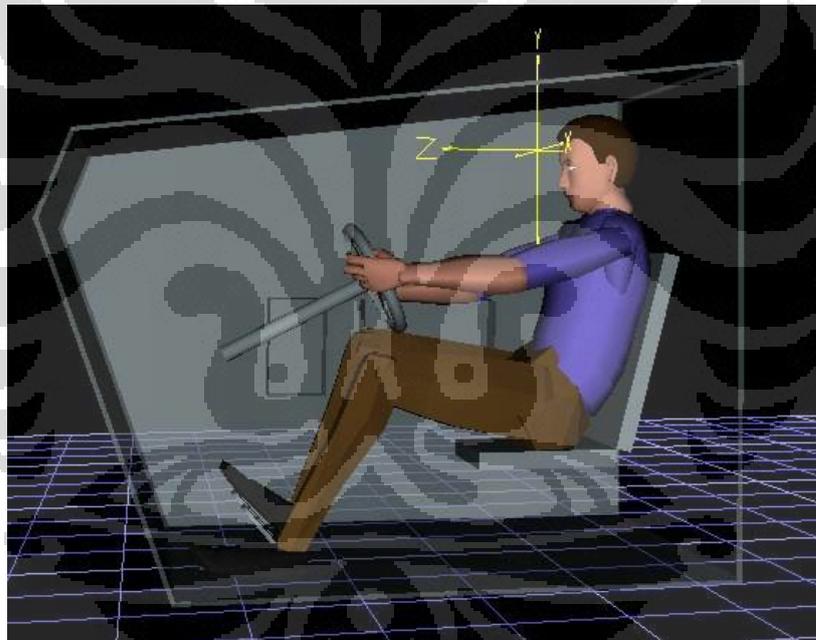
Seperti terlihat pada tabel 4.5 diatas, usulan rancangan konfigurasi 3 mempunyai nilai PEI sebesar 1,396 pada persentil 5 serta 1,210 pada persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwa usulan rancangan konfigurasi 2 kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan konfigurasi aktual.

4.2.3 Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 3

Konfigurasi usulan 3 pada kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan memposisikan tuas kemudi dengan sudut 70° dari lantai kabin serta kursi pengemudi dengan sudut kursi 105°. Perbesaran sudut kursi menyebabkan punggung pengemudi lebih bersandar dan tangan sedikit naik dari usulan pertama namun masih dalam keadaan normal dan berada di bawah bahu.



Gambar 4.15 Usulan Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 5



Gambar 4.16 Usulan Rancangan Konfigurasi 3 pada Persentil 95

Usulan Rancangan Konfigurasi 3 kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon ini berdasarkan kapabilitas postur yang ada pada SSP berada di atas 90% sehingga postur yang tercipta pada konfigurasi ini memungkinkan untuk direalisasikan. Pada usulan konfigurasi ketiga ini memiliki nilai RULA sebesar 3 pada persentil 5 dan 4 pada persentil 95. Nilai OWAS pada konfigurasi ini yaitu 2 pada persentil 5 dan 2 pada persentil 95. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 3 ini adalah 342 N untuk persentil 5 dan 351 N untuk persentil 95.

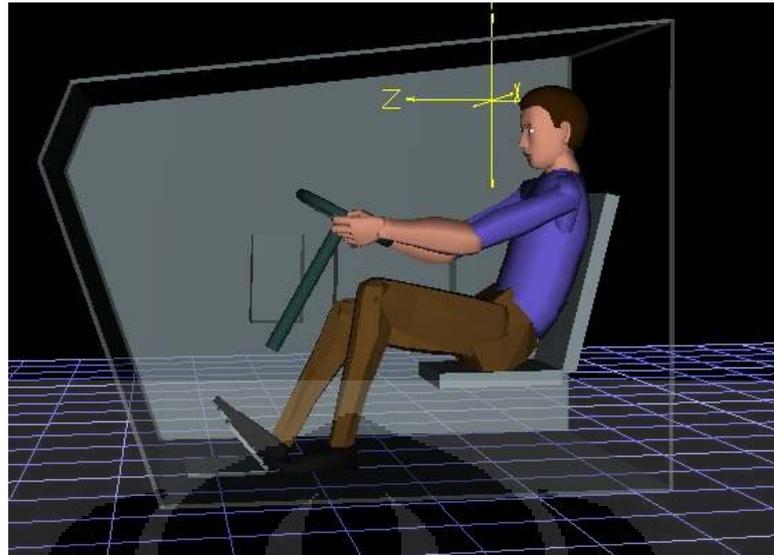
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3

Usulan 3		Persentil		
		5	95	
SSP > 90%		Ya	Ya	
LBA (N)		342	351	
OWAS	Kode	2311	2311	
	Nilai	2	2	
RULA	Kelompok Bagian Tubuh A	UA	4	4
		LA	3	3
		W	2	2
		WT	2	1
		Total A	5	4
	Kelompok Bagian Tubuh B	N	1	1
		T	1	1
		Total B	1	2
Total		3	4	
Nilai PEI		1,20916	1,41466	

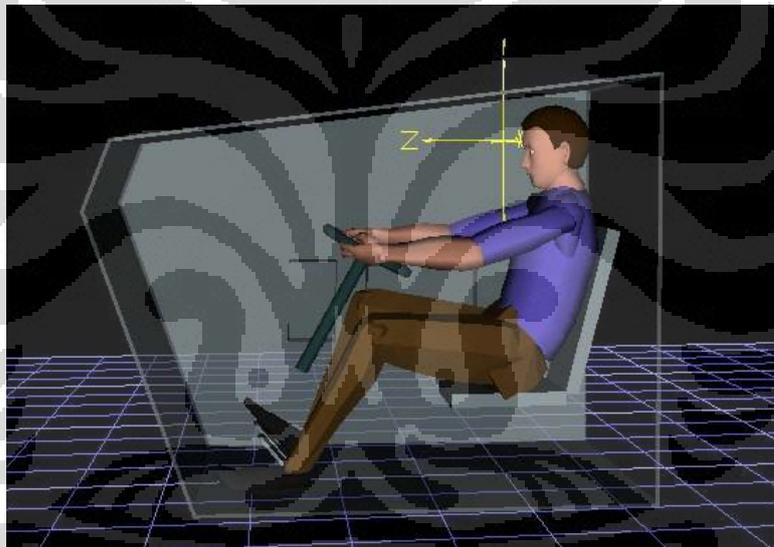
Seperti terlihat pada tabel 4.6 diatas, usulan rancangan konfigurasi 3 mempunyai nilai PEI sebesar 1,209 pada persentil 5 serta 1,414 pada persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwa usulan rancangan konfigurasi 3 kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan konfigurasi aktual.

4.2.4 Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 4

Konfigurasi usulan 4 pada kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan memposisikan tuas kemudi dengan sudut 30° dari lantai kabin serta kursi pengemudi dengan sudut kursi 105°. Dengan sudut kursi lebih besar dari kondisi aktualnya serta posisi tuas yang mendatar menyebabkan tangan lebih mudah untuk menjangkau tuas pada posisi di bawah bahu.



Gambar 4.17 Usulan Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 5



Gambar 4.18 Usulan Rancangan Konfigurasi 4 pada Persentil 95

Usulan Rancangan Konfigurasi 4 kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon ini berdasarkan kapabilitas postur yang ada pada SSP berada di atas 90% sehingga postur yang tercipta pada konfigurasi ini memungkinkan untuk direalisasikan. Pada usulan konfigurasi ketiga ini memiliki nilai RULA sebesar 3 pada persentil 5 dan 4 pada persentil 95. Nilai OWAS pada konfigurasi 4 ini mempunyai nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan konfigurasi aktual, yaitu 2 pada persentil 5 dan 1 pada persentil 95. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 4 yaitu 294 N untuk persentil 5 dan 354 N untuk persentil 95.

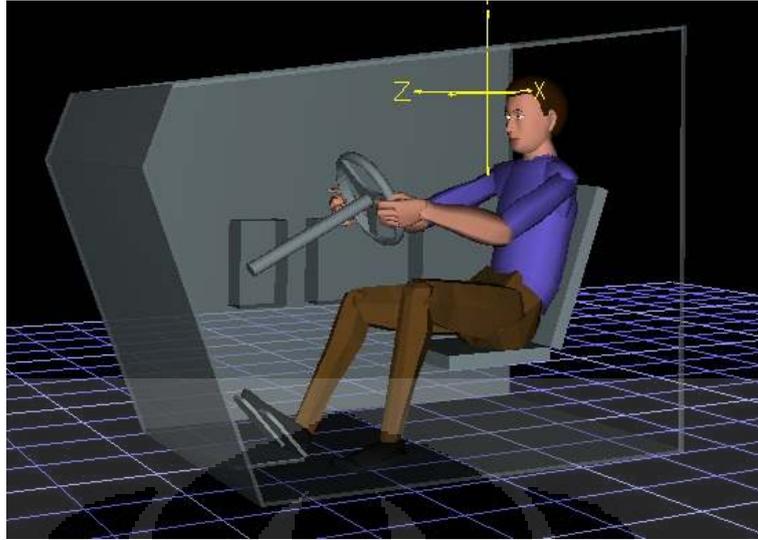
Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4

Usulan 4		Persentil	
		5	95
SSP > 90%		Ya	Ya
LBA (N)		294	354
OWAS	Kode	2311	2311
	Nilai	2	1
Kelompok Bagian Tubuh A	UA	4	4
	LA	3	3
	W	2	2
	WT	1	2
	Total A	4	5
Kelompok Bagian Tubuh B	N	2	2
	T	1	1
	Total B	2	3
RULA	Total	3	4
Nilai PEI		1,19504	1,16555

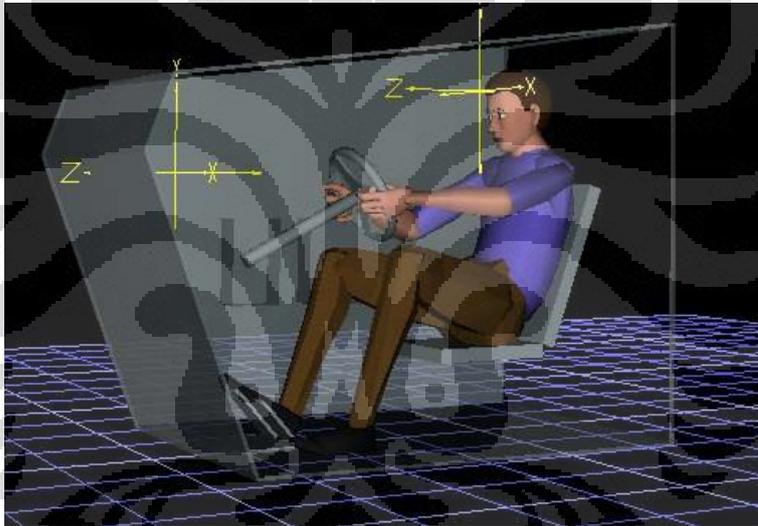
Dapat dilihat pada tabel 4.7 diatas, usulan rancangan konfigurasi 4 mempunyai nilai PEI sebesar 1,195 pada persentil 5 serta 1,165 pada persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwa usulan rancangan konfigurasi 4 kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan konfigurasi aktual.

4.2.5 Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 5

Konfigurasi usulan 5 pada kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan memposisikan tuas kemudi dengan sudut 70° dari lantai kabin serta kursi pengemudi dengan sudut kursi 110°. Sudut kursi diperbesar sehingga terdapat jarak antara punggung dengan sandaran kursi yang menyebabkan pengemudi tidak sepenuhnya bersandar ketika mengemudi.



Gambar 4.19 Usulan Rancangan Konfigurasi 5 pada Persentil 5



Gambar 4.20 Usulan Rancangan Konfigurasi 5 pada Persentil 95

Usulan Rancangan Konfigurasi 5 kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon ini berdasarkan kapabilitas postur yang ada pada SSP berada di atas 90% sehingga postur yang tercipta pada konfigurasi ini memungkinkan untuk direalisasikan. Pada usulan konfigurasi ini memiliki nilai RULA sebesar 4 pada persentil 5 dan 4 pada persentil 95. Nilai OWAS pada konfigurasi 5 ini adalah 1 pada persentil 5 dan 1 pada persentil 95. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 4 yaitu 294 N untuk persentil 5 dan 320 N untuk persentil 95.

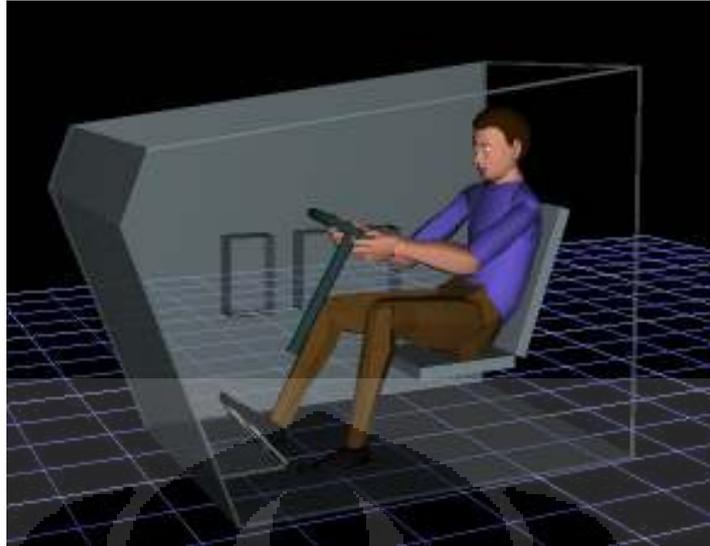
Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5

Usulan 5		Persentil		
		5	95	
SSP > 90%		Ya	Ya	
LBA (N)		294	320	
OWAS	Kode	2311	2311	
	Nilai	1	1	
RULA	Kelompok Bagian Tubuh A	UA	4	4
		LA	3	3
		W	2	3
		WT	2	1
		Total A	5	5
RULA	Kelompok Bagian Tubuh B	N	1	1
		T	1	1
		Total B	2	1
RULA	Total	4	4	
Nilai PEI		1,1479	1,1555	

Dapat dilihat pada tabel 4.8 diatas, usulan rancangan konfigurasi 5 mempunyai nilai PEI sebesar 1,147 pada persentil 5 serta 1,155 pada persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwameski terdapat sedikit jarak antara punggung dengan sandaran kursi usulan rancangan konfigurasi 5 kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan konfigurasi aktual.

4.2.6 Analisis Usulan Rancangan Konfigurasi 6

Konfigurasi usulan terakhir pada kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan memposisikan tuas kemudi dengan sudut 30° dari lantai kabin serta kursi pengemudi tetap dengan sudut kursi 110°. Sudut kursi diperbesar dan sudut tuas kemudi lebih rendah sehingga tangan pengemudi lebih mudah menjangkau tuas saat mengemudi.



Gambar 4.21 Usulan Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 5



Gambar 4.22 Usulan Rancangan Konfigurasi 6 pada Persentil 95

Usulan Rancangan Konfigurasi 6 kabin pengemudi pada kendaraan tempur panser kanon ini berdasarkan kapabilitas postur yang ada pada SSP berada di atas 90% sehingga postur yang tercipta pada konfigurasi ini memungkinkan untuk direalisasikan. Pada usulan konfigurasi ini kabin pengemudi memiliki RULA sebesar 4 pada persentil 5 dan 4 pada persentil 95. Sedangkan nilai OWAS pada konfigurasi 2 ini mempunyai nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan konfigurasi aktual, yaitu 2 pada persentil 5 dan 1 pada persentil 95. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 2 adalah 306 N untuk persentil 5 dan 352 N untuk persentil 95.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6

Usulan 6		Persentil	
		5	95
SSP > 90%		Ya	Ya
LBA (N)		306	352
OWAS	Kode	2311	2311
	Nilai	2	1
Kelompok Bagian Tubuh A	UA	4	4
	LA	3	3
	W	2	3
	WT	2	2
	Total A	5	5
Kelompok Bagian Tubuh B	N	1	1
	T	1	1
	Total B	2	2
RULA	Total	4	4
Nilai PEI		1,40143	1,16496

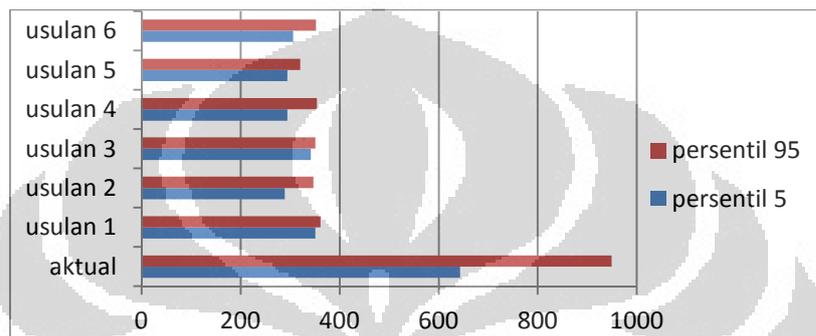
Jika dilihat pada tabel 4.9 diatas, usulan rancangan konfigurasi 6 mempunyai nilai PEI sebesar 1,401 pada persentil 5 serta 1,164 pada persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwameski terdapat sedikit jarak antara punggung dengan sandaran kursi usulan rancangan konfigurasi 6 kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan konfigurasi aktual.

4.3 Analisis Perbandingan

Setelah dilakukan perhitungan nilai PEI dari konfigurasi aktual hingga usulan konfigurasi 6 pada kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon, selanjutnya hasil yang diperoleh akan dibandingkan satu sama lain. Perbandingan ini dilakukan untuk mencari konfigurasi manakah yang memiliki nilai PEI terendah, yang menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut merupakan desain yang paling ergonomis bagi pengemudi.

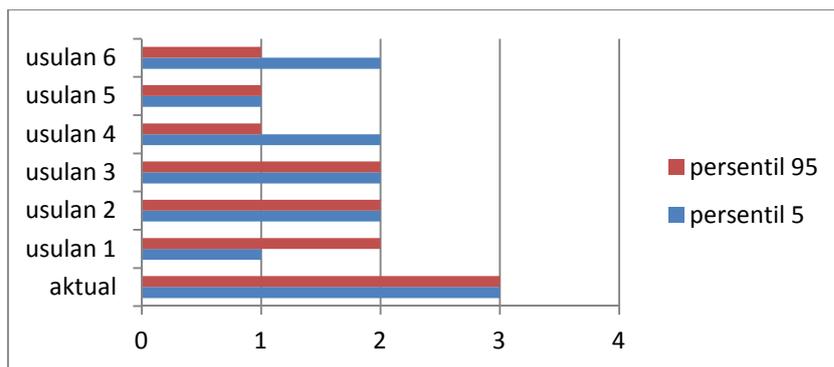
Berdasarkan perbandingan dari hasil SSP pada konfigurasi aktual hingga usulan rancangan konfigurasi 6 kabin pengemudi panser kanon pada persentil 5 dan 95 memiliki kecenderungan hasil yang sama. Dimana hasil SSP yang dihasilkan pada semua konfigurasi bernilai di atas 90%. Hal ini menunjukkan

bahwa nilai SSP telah melewati syarat yang disarankan dalam metode *Posture Evaluation Index* yang dikembangkan oleh peneliti dari Fakultas Teknik University of Naples Federico II Italia, Prof. Francesco Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan bahwa semua konfigurasi kabin pengemudi kendaraan tempur panzer kanon memungkinkan di atas 90% populasi untuk melakukan aktivitas yang disimulasikan dengan postur yang ditunjukkan pada semua konfigurasi.



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi

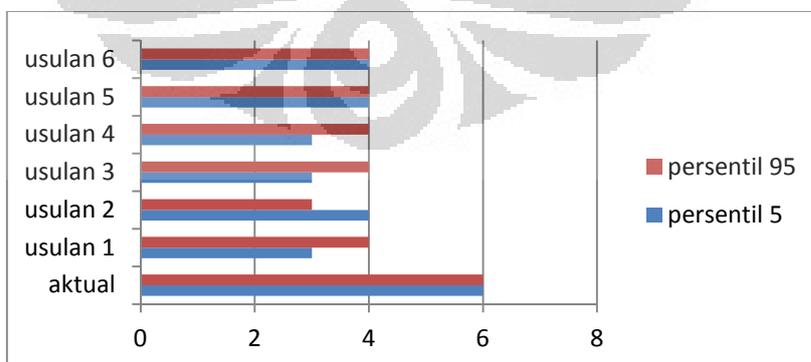
Berdasarkan gambar 4.23 mengenai grafik perbandingan nilai LBA pada seluruh konfigurasi terlihat bahwa semua usulan konfigurasi yang telah dibuat memiliki nilai LBA di bawah konfigurasi aktual. Nilai LBA terendah untuk persentil 5 ialah pada kondisi usulan kedua diikuti dengan kondisi usulan kelima yang hanya berbeda sedikit. Hal ini dikarenakan sudut kursi yang membuat posisi badan sedikit merebah, namun untuk persentil 95 kondisi masih sedikit memberikan tekanan akibat sudut tuas kemudi yang mendekati horizontal sehingga tangan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sudut tuas kemudi yang lebih besar atau lebih mendekati vertikal. Untuk persentil 95, nilai LBA terendah yaitu pada kondisi usulan kelima. Hal ini dikarenakan sudut kursi didukung oleh sudut tuas yang mendekati vertikal sehingga tekanan pada tubuh rendah dan tidak hanya pada persentil 95, hal yang sama juga terjadi pada persentil 5.



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi

Berdasarkan gambar 4.24 mengenai grafik perbandingan nilai OWAS pada seluruh konfigurasi terlihat bahwa terdapat beberapa usulan konfigurasi yang mempunyai nilai OWAS berada dibawah konfigurasi aktual. Dapat dilihat bahwa konfigurasi 1, konfigurasi 5, serta konfigurasi 6 memiliki nilai OWAS terkecil bila dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Pada kondisi usulan 5 dan 6 memiliki kesamaan yaitu pada sudut kursi, sedangkan pada kondisi usulan 1 dan 6 memiliki hasil yang bertentangan yang terletak pada usulan konfigurasi sudut kemiringan tuas kemudi.

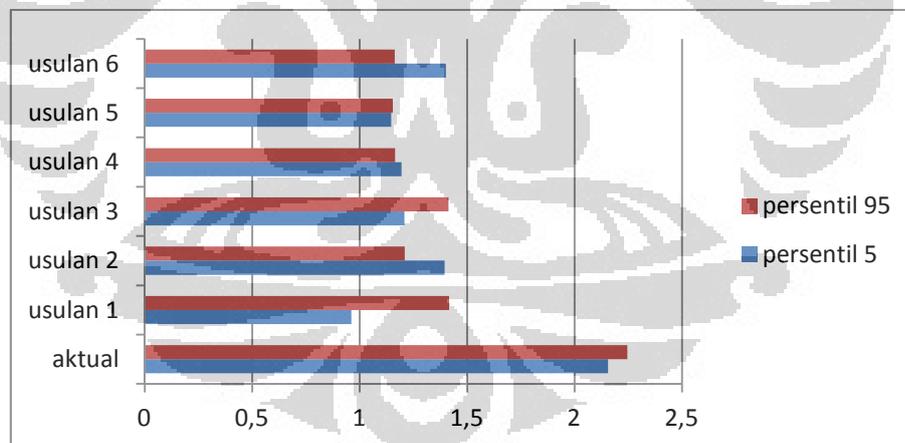
Bila dilihat dari penjelasan mengenai OWAS (*Ovako Working Analysis System*) yang menilai kenyamanan suatu postur kerja, terlihat bahwa postur yang tercipta dari kemiringan tuas kemudi sebesar 30° tidaklah nyaman. Sedangkan pada kemiringan tuas kemudi sebesar 70° postur tangan lebih berada dalam kondisi normal.



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi

Berdasarkan gambar 4.25 mengenai grafik perbandingan nilai RULA pada seluruh konfigurasi terlihat bahwa semua usulan konfigurasi yang telah dibuat memiliki nilai RULA dibawah konfigurasi aktual. Namun diantara semua konfigurasi yang mempunyai nilai RULA terkecil adalah konfigurasi 1 dan konfigurasi 3. Kesamaan yang dimiliki oleh kedua konfigurasi ini ialah pada usulan konfigurasi desain tuas kemudi 70°.

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya mengenai RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*) yang merupakan penilaian pada postur tubuh bagian atas. Bila merujuk pada perbandingan nilai RULA diatas konfigurasi desain dengan tuas kemudi pada sudut 30° memiliki nilai RULA yang tinggi. Konfigurasi desain dengan tuas kemudi pada sudut 30° menyebabkan tangan terlalu dibawah sehingga sendi pergelangan tangan cukup mengalami perputaran untuk menyesuaikan dengan pegangan tuas kemudi mengakibatkan nilai RULA menjadi tinggi. Sehingga berdasarkan perbandingan nilai RULA konfigurasi tuas kemudi pada sudut 70° bersifat lebih ergonomis bila dibandingkan dengan konfigurasi aktual desain dan sudut tuas kemudi 90°.

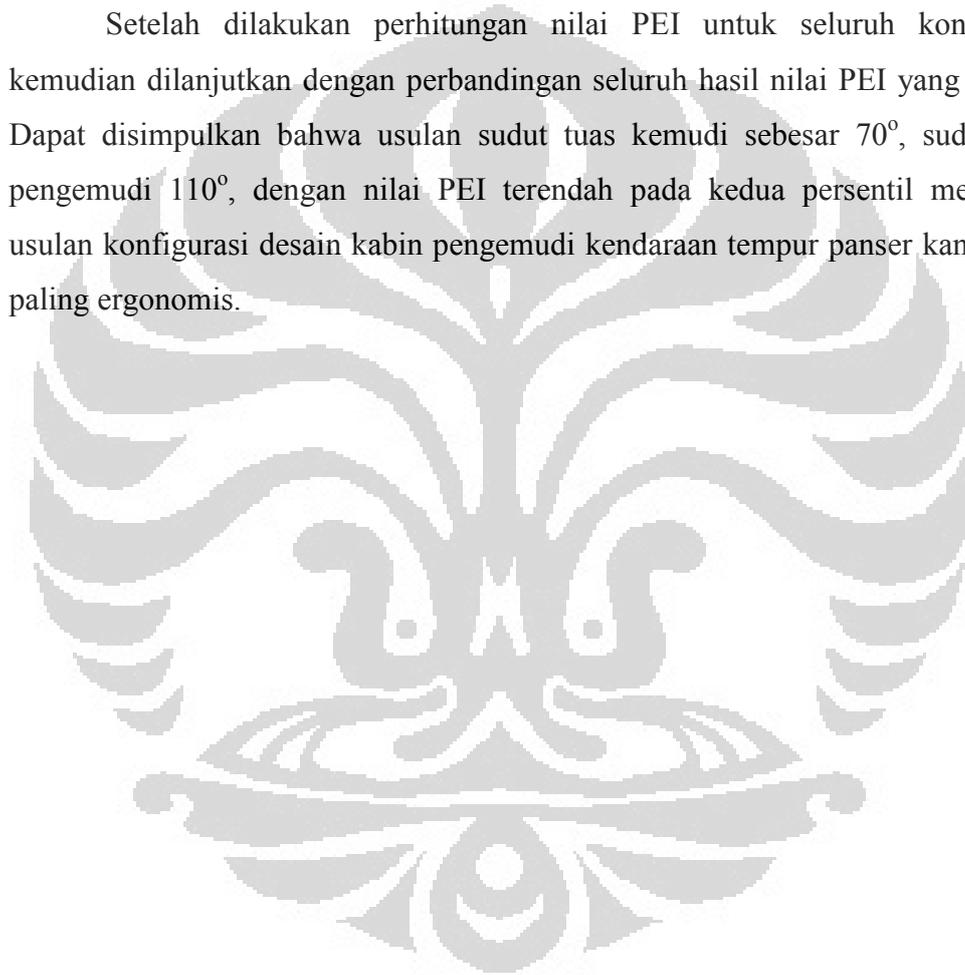


Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi

Nilai PEI yang besar pada konfigurasi aktual dipengaruhi oleh nilai RULA yang paling besar dengan nilai 6. Dengan demikian jika ditinjau dari nilai PEI, dapat dikatakan konfigurasi aktual sebagai rencana awal desain merupakan desain kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon yang paling tidak ergonomis.

Seperti halnya konfigurasi aktual, beberapa konfigurasi lain juga memiliki nilai PEI yang hampir mendekati konfigurasi aktual. Walaupun nilai RULA yang dimiliki tidak sebesar konfigurasi aktual, namun nilai LBA yang besar mempengaruhi konfigurasi memiliki nilai PEI yang tinggi. Sebaliknya pada konfigurasi usulan 1, walaupun memiliki nilai LBA yang cukup besar bila dibandingkan dengan konfigurasi aktual, namun kecilnya nilai RULA dan OWAS yang dimiliki membuat nilai PEI yang dimiliki menjadi kecil.

Setelah dilakukan perhitungan nilai PEI untuk seluruh konfigurasi, kemudian dilanjutkan dengan perbandingan seluruh hasil nilai PEI yang didapat. Dapat disimpulkan bahwa usulan sudut tuas kemudi sebesar 70° , sudut kursi pengemudi 110° , dengan nilai PEI terendah pada kedua persentil merupakan usulan konfigurasi desain kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon yang paling ergonomis.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada rencana awal desain kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon, desain awal kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon saat ini memiliki nilai LBA sebesar 643 N untuk persentil 5 dan 949 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 3. Hal ini menunjukkan bahwa postur kritis pengendara yang akan dialami saat ini secara nyata membahayakan sistem muskuloskeletal manusia. Tindakan perbaikan perlu dilakukan sesegera mungkin. Kemudian nilai RULA yang diperoleh senilai 6 pada kedua persentil. Dengan demikian perlu segera dilakukan investigasi lebih lanjut terhadap kemungkinan resiko cedera yang dapat terjadi. Selain itu, perbaikan mungkin dibutuhkan untuk mengurangi resiko cedera yang terjadi. Nilai PEI untuk desain aktual ini bernilai 2,156 untuk persentil 5 dan 2,246 untuk persentil 95. Nilai PEI ini bukan merupakan nilai yang terbaik bila dibandingkan dengan konfigurasi lain, sehingga potensi untuk melakukan perbaikan desain aktual kabin pengemudi panser kanon 90mm masih ada.

Terdapat beberapa faktor yang diperhitungkan dalam nilai PEI pada postur yang tercipta dalam rencana awal desain kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon ini yaitu sudut tuas kemudi, tinggi kursi serta sudut kemiringan kursi pengemudi.

Usulan konfigurasi desain kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon yang terbaik dari sisi ergonomi untuk pengemudi adalah konfigurasi kelima dengan spesifikasi tinggi kursi 20cm, sudut tuas kemudi sebesar 60°, dan sudut kursi pengemudi sebesar 110°. Nilai PEI yang dihasilkan dari usulan konfigurasi

kabin pengemudi kendaraan tempur panser kanon ketiga adalah sebesar 1,1479 untuk persentil 5 serta 1,555 untuk persentil 95. Meskipun nilai PEI pada konfigurasi usulan pertama untuk persentil 5 lebih rendah dari pada nilai PEI konfigurasi usulan 5, nilai PEI persentil 95 tertinggi pada konfigurasi usulan pertama. Oleh karena itu konfigurasi kelima menjadi konfigurasi usulan yang paling ergonomis untuk kedua persentil berdasarkan metode *Posture Evaluation Index*.

5.2 Saran

Tinggi kabin yang terbatas merupakan salah satu kendala dari postur duduk sehingga pengemudi harus merebahkan tubuhnya agar dapat masuk sepenuhnya kedalam kabin hal ini dapat menimbulkan faktor ketidaknyamanan lebih tinggi bila dibandingkan dengan postur duduk tubuh yang normal. Pada penelitian berikutnya diharapkan dapat melakukan konfigurasi pada pintu kabin, jarak kursi pengemudi dengan tuas kemudi, dan juga sudut pedal gas dan rem. Untuk pintu kabin harus diperhitungkan posisi *ingress-egress* pengendara.

Faktor ergonomi seharusnya menjadi suatu hal yang penting dalam mendesain kendaraan tempur. Dengan adanya faktor ergonomis dalam ruang lingkup kerja dapat membuat pekerjaan menjadi lebih optimal.

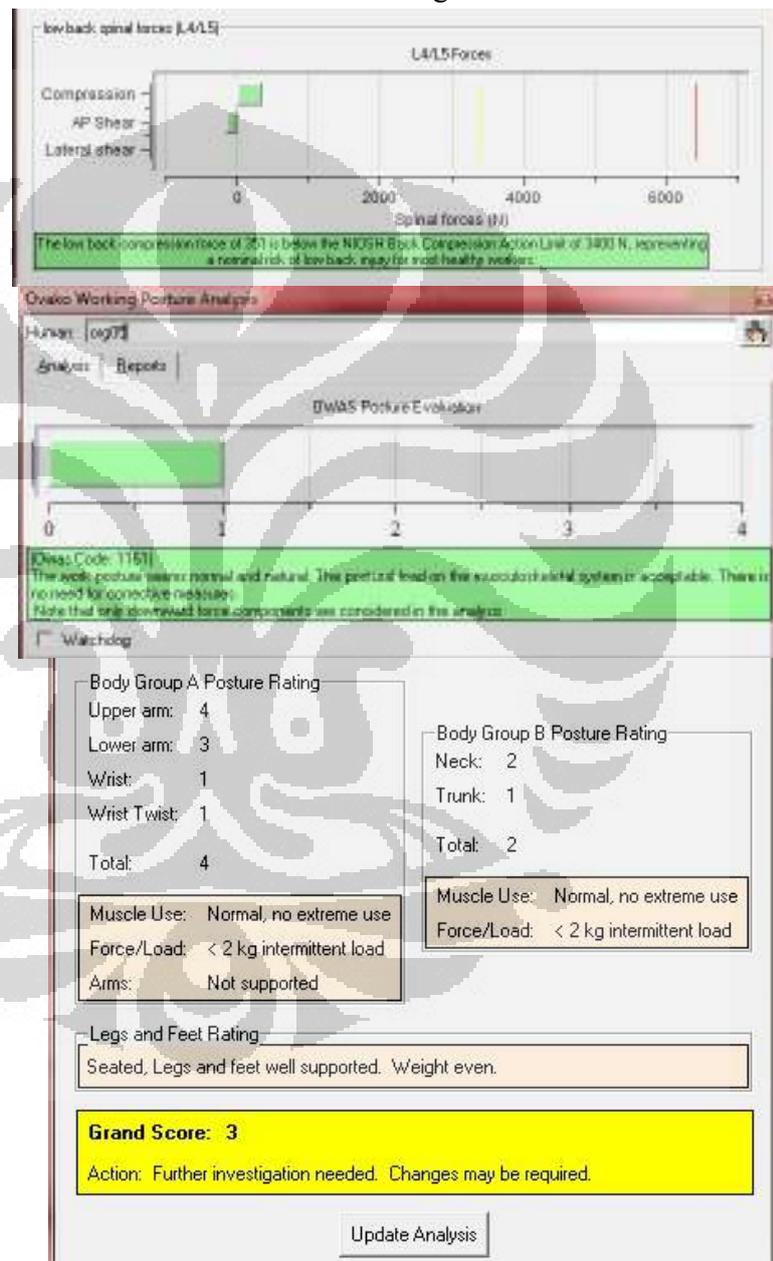
DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S., (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis, h.1.
- 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*.
- 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). *Department of Defense Human Engineering Design Criteria Standard*.
- The International Ergonomics Association. (2000). *The Discipline of Ergonomics*. <http://www.iea.cc/>
- McommMed, A Rozali; K G Rampal;M T Shamsul Bahri. (2009). *Low Back Pain and Association with Whole Body Vibration Among Military Armoured Vehicle Drivers in Malaysia*.
- Delbressine. F; M. Rauterberg . (2007). *Vehicle Seat Design: State of The Art and Recent Development*

Lampiran 1

Hasil Analisis Jack TAT

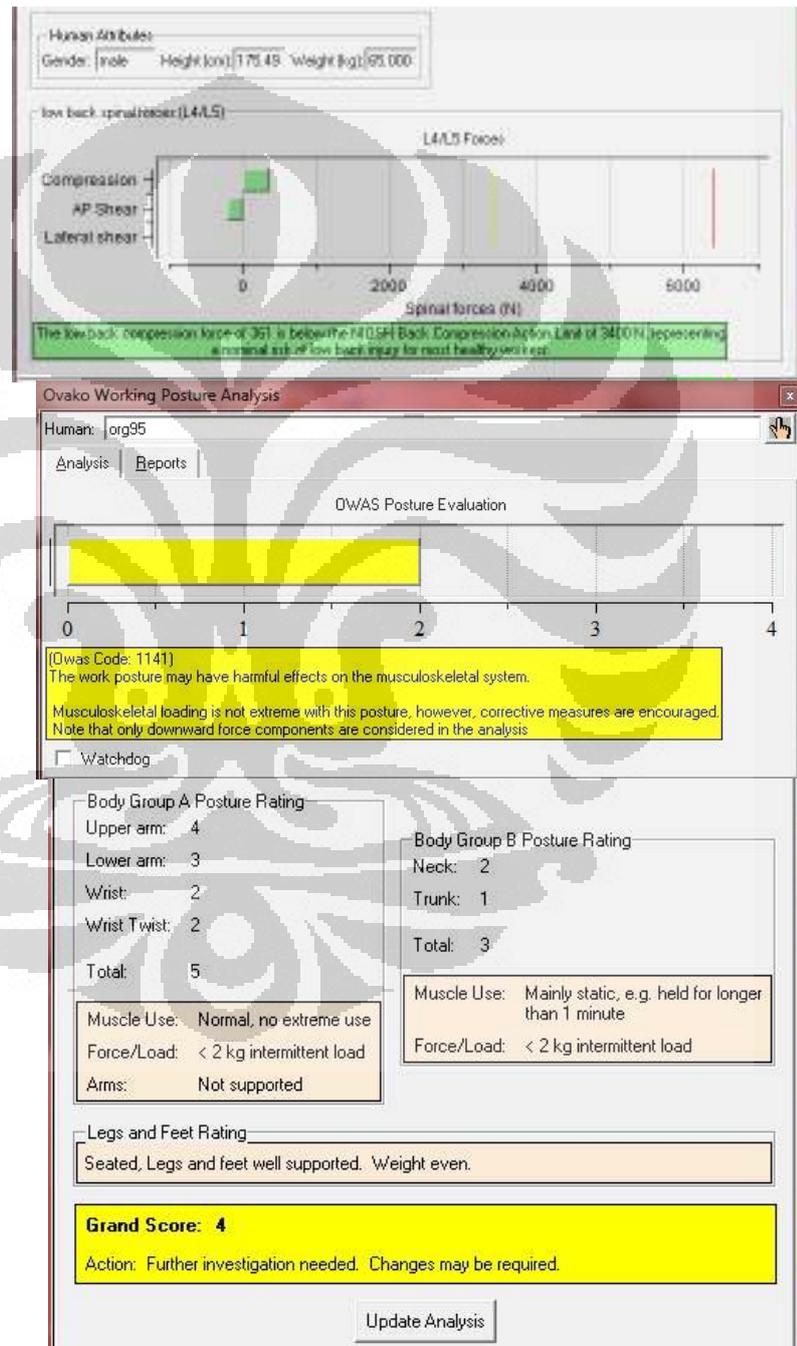
Konfigurasi Usulan 1 Persentil 5

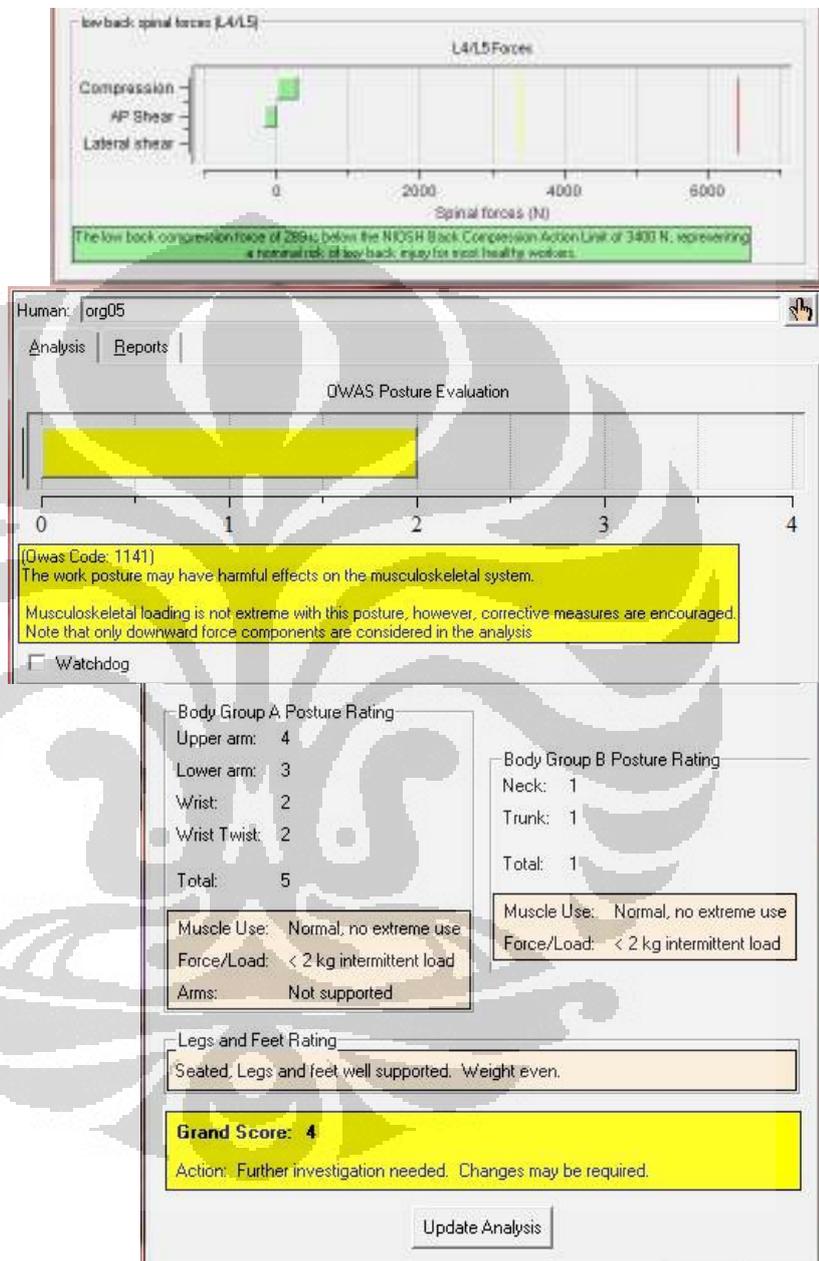


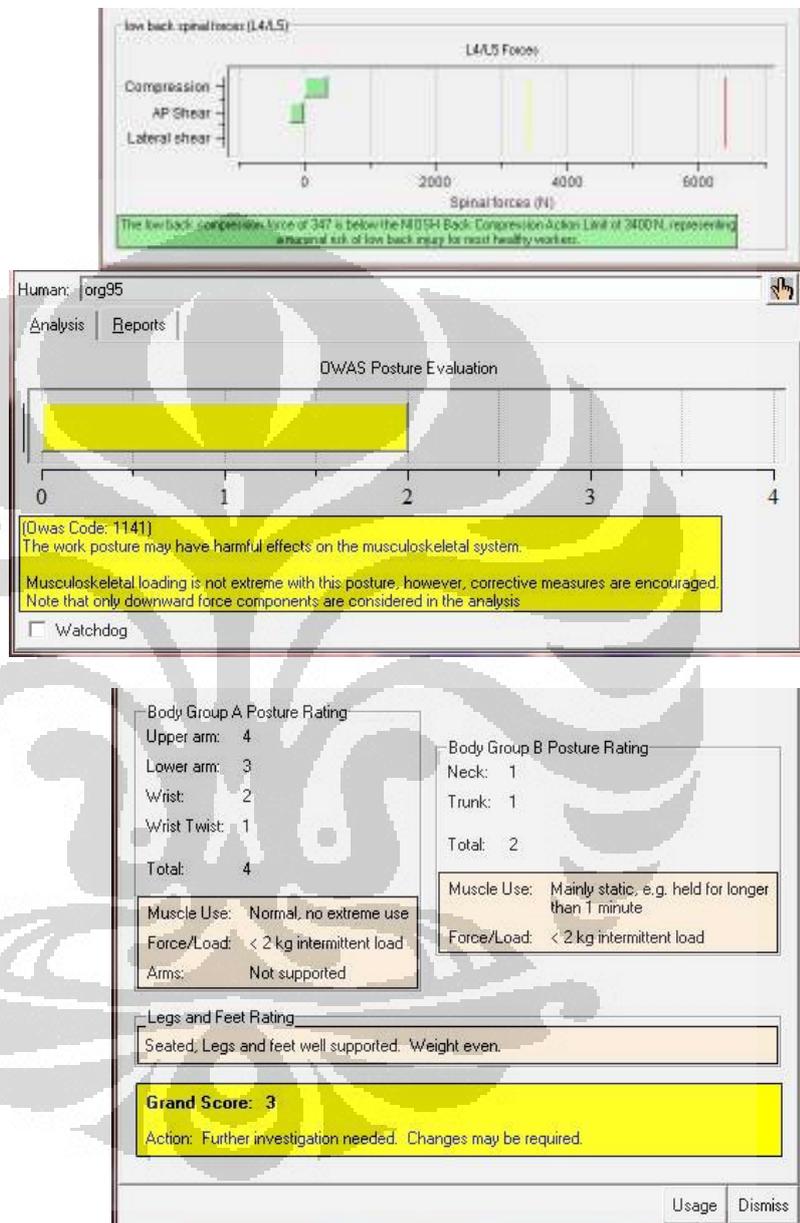
Lampiran 2

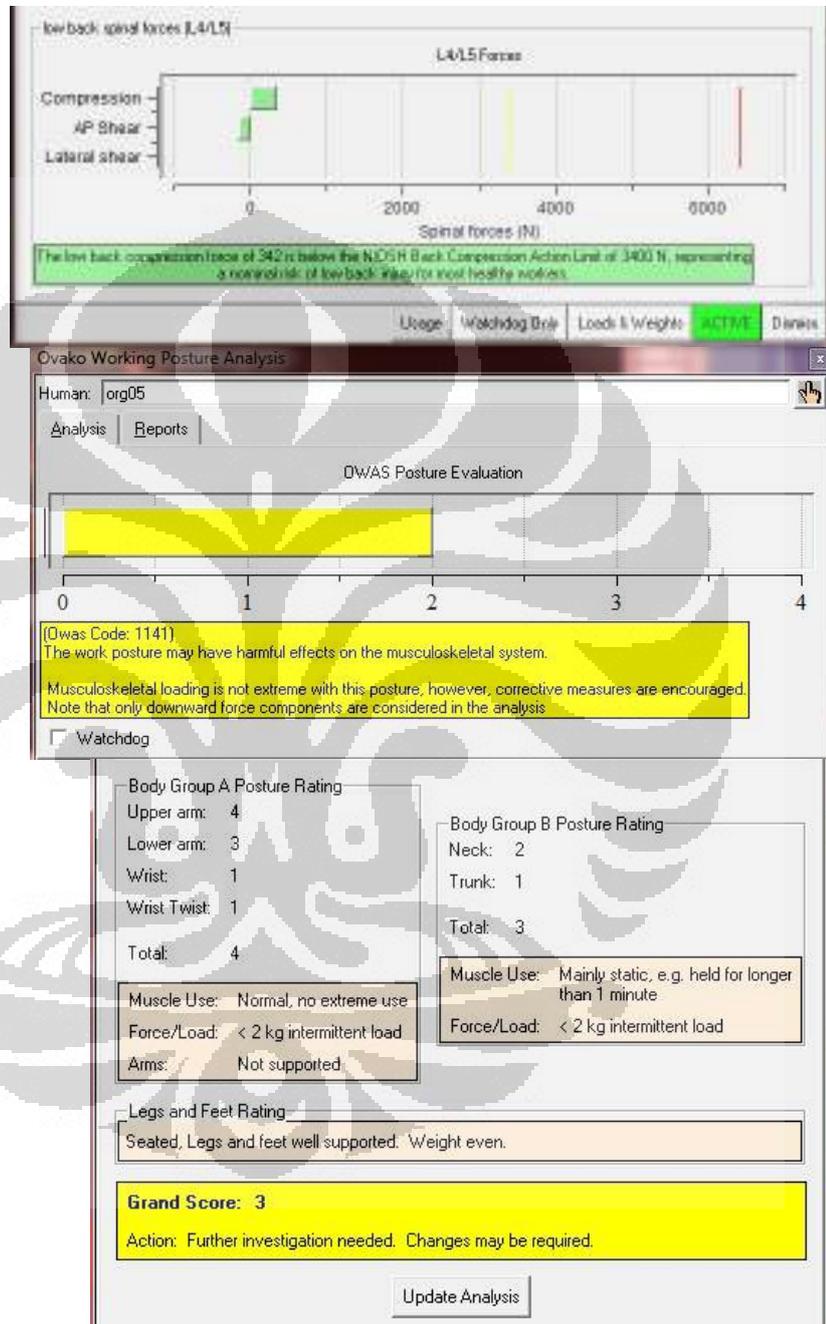
Hasil Analisis Jack TAT

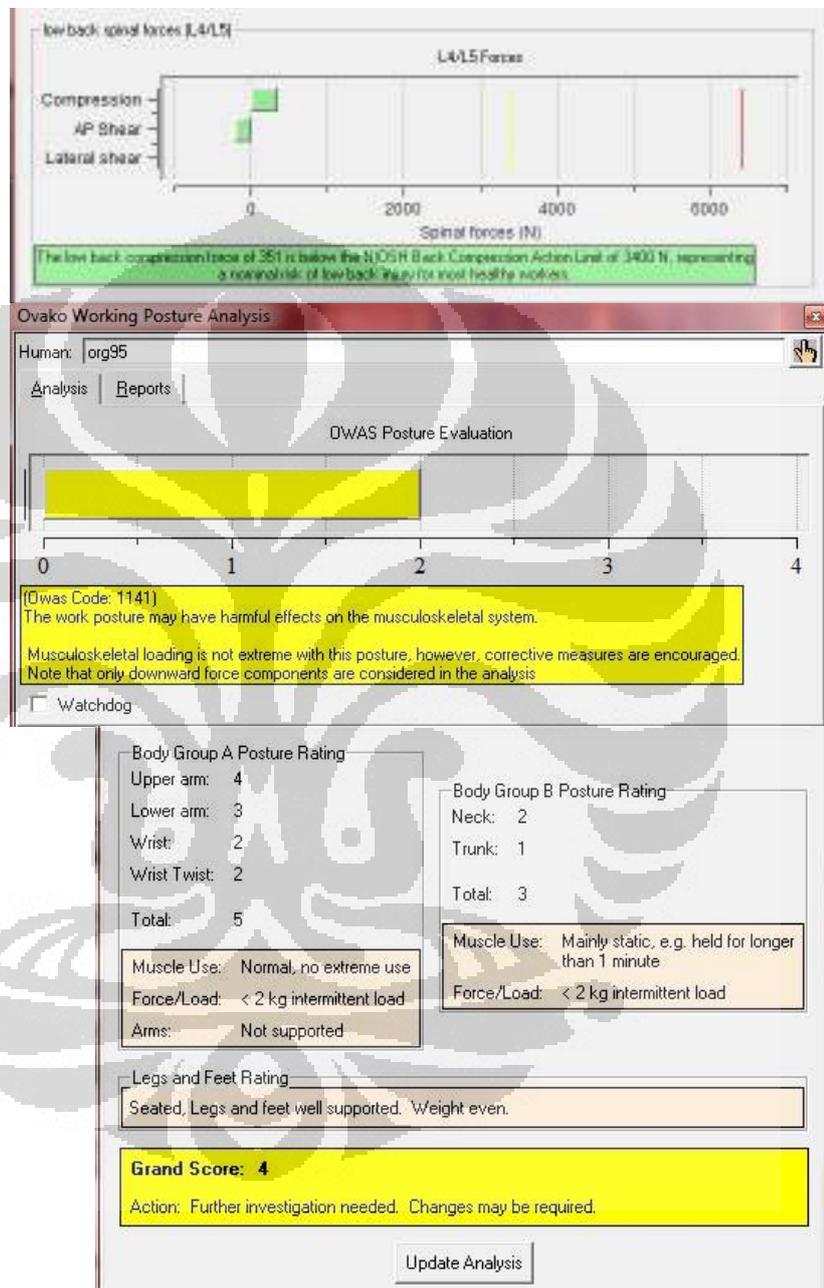
Konfigurasi Usulan 1 Persentil 95

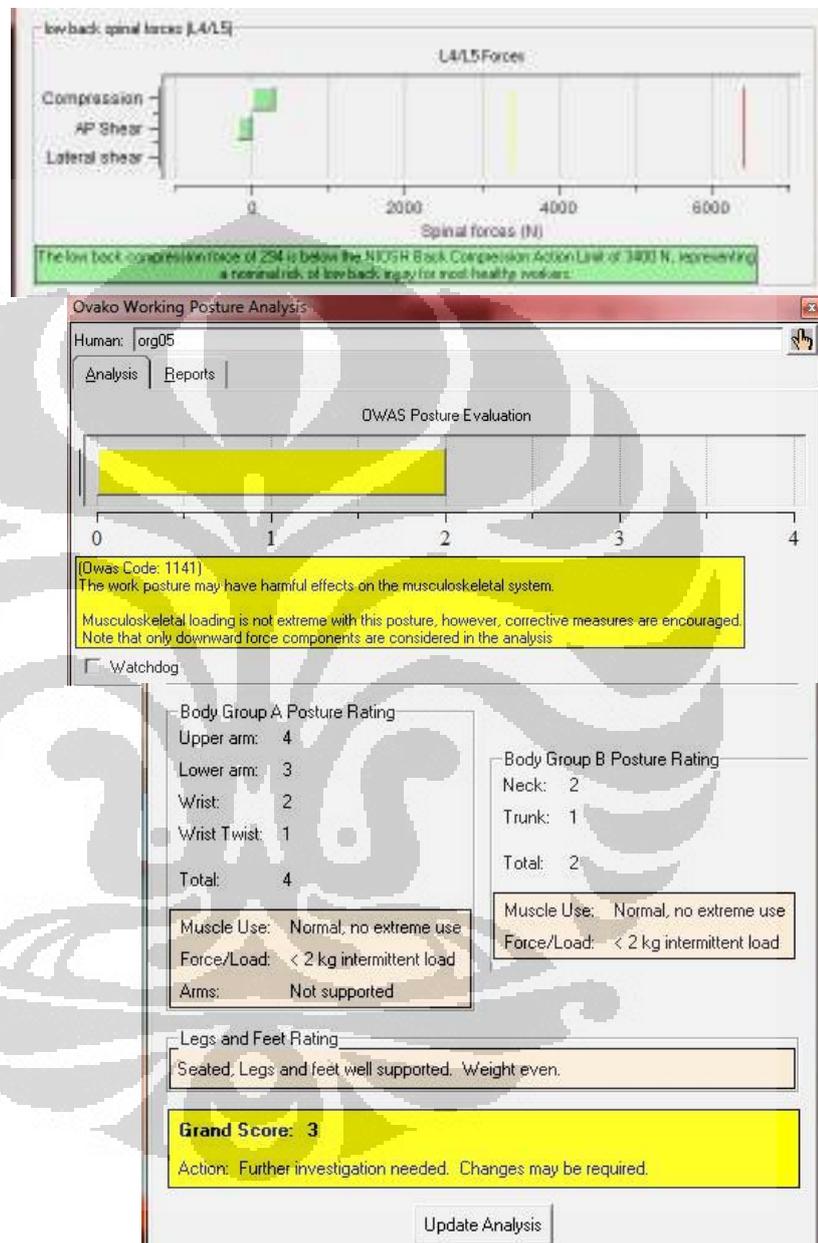


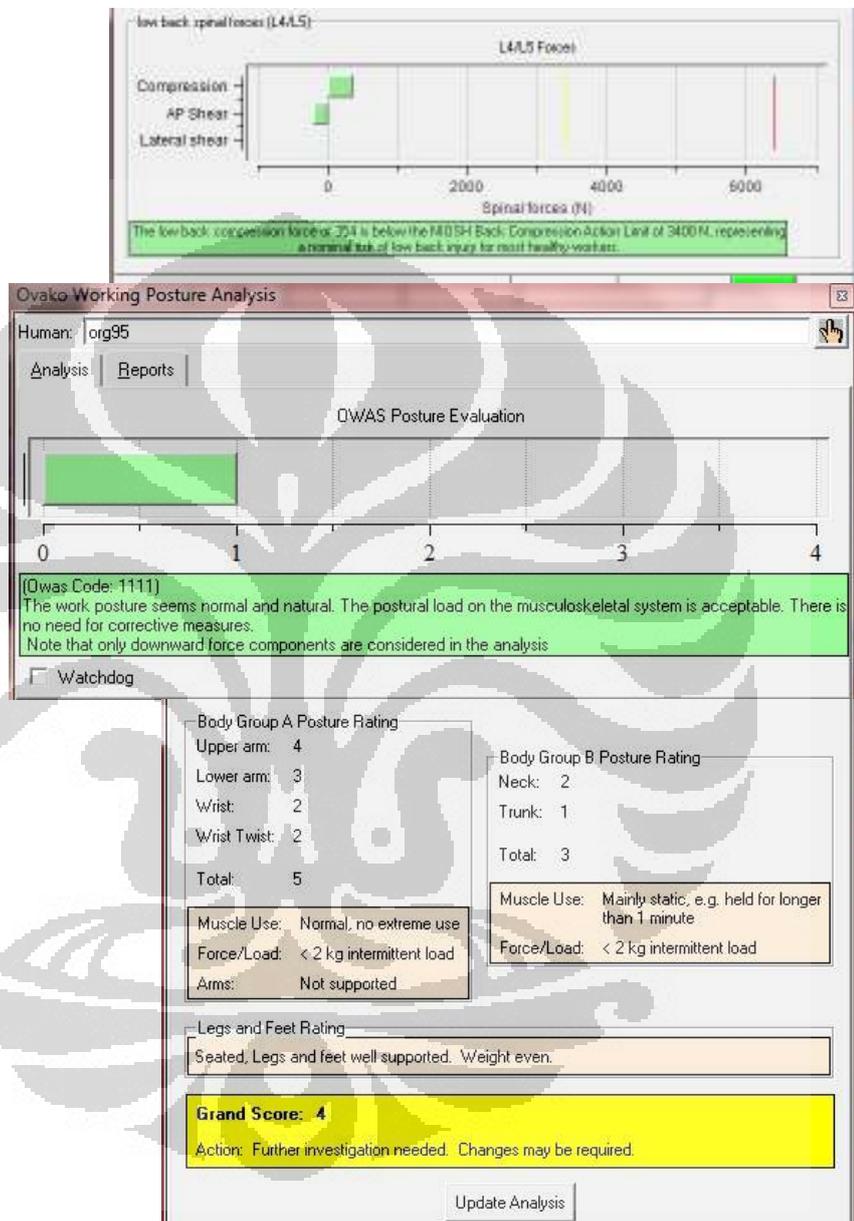


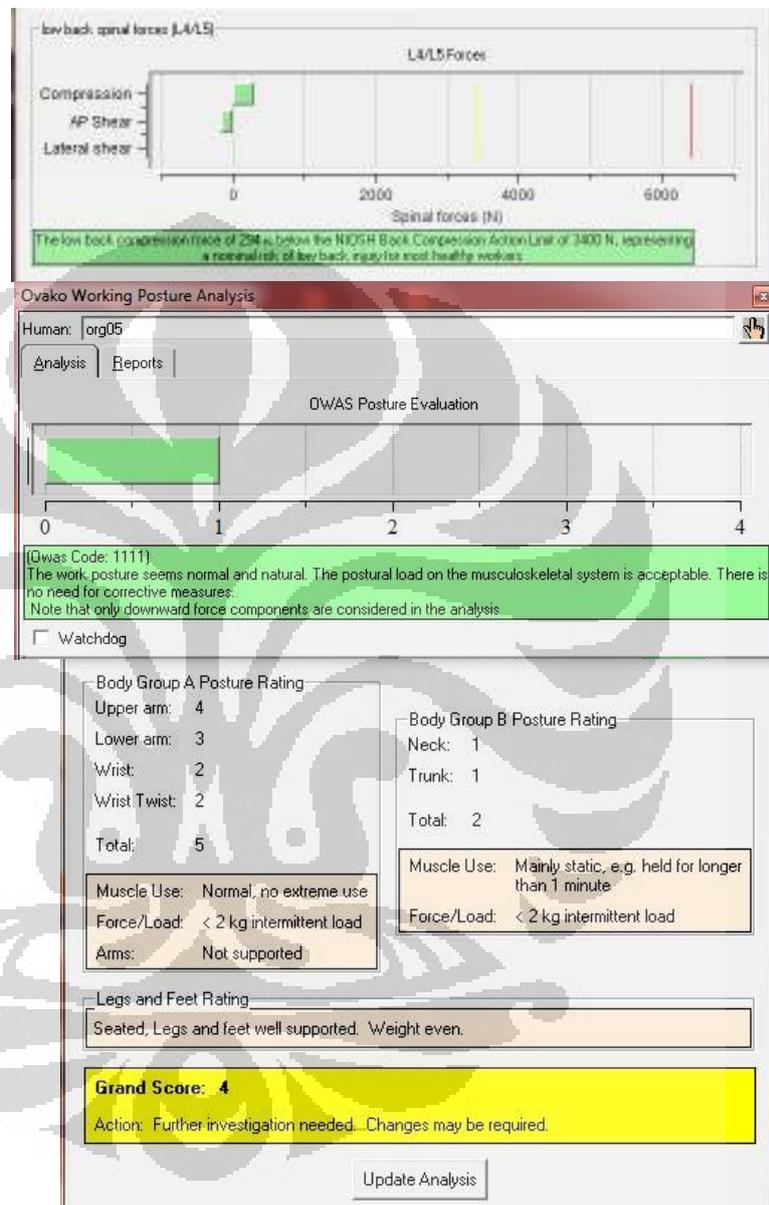


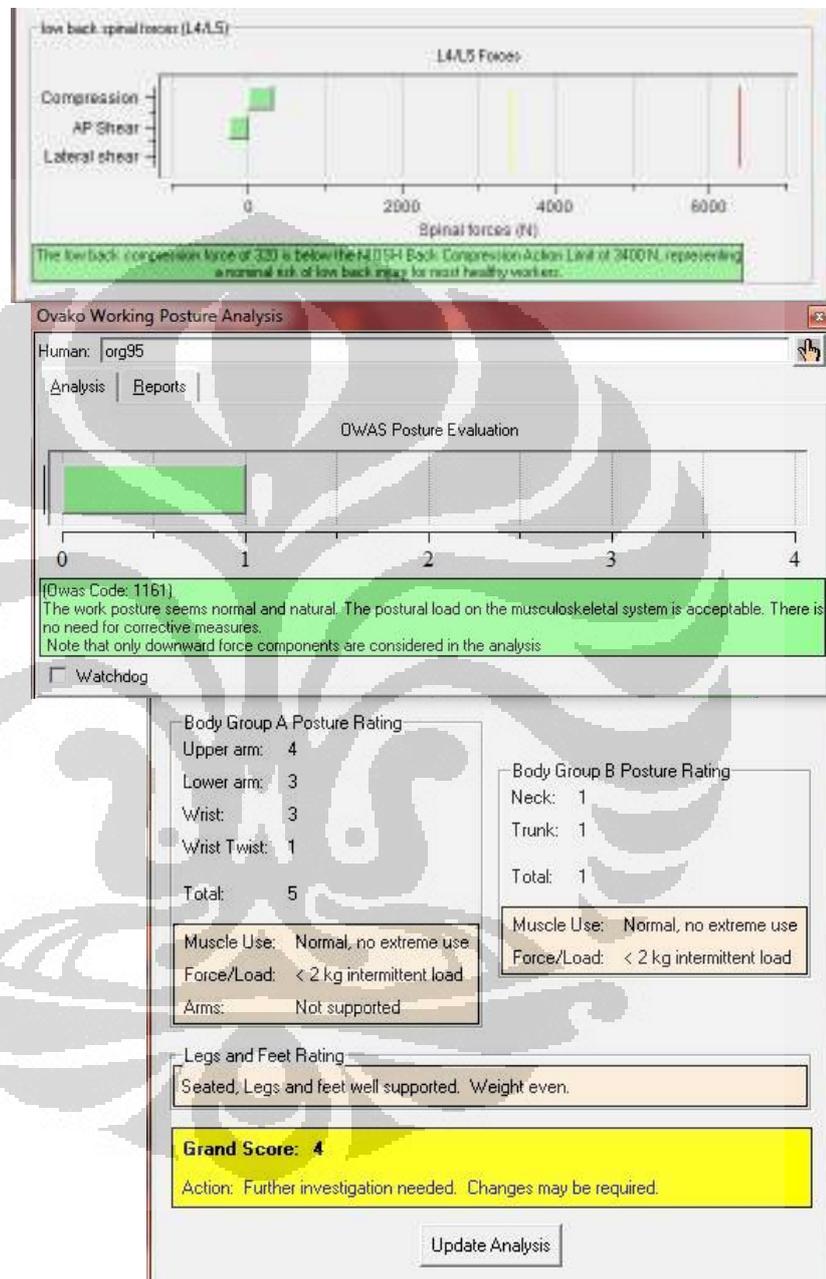


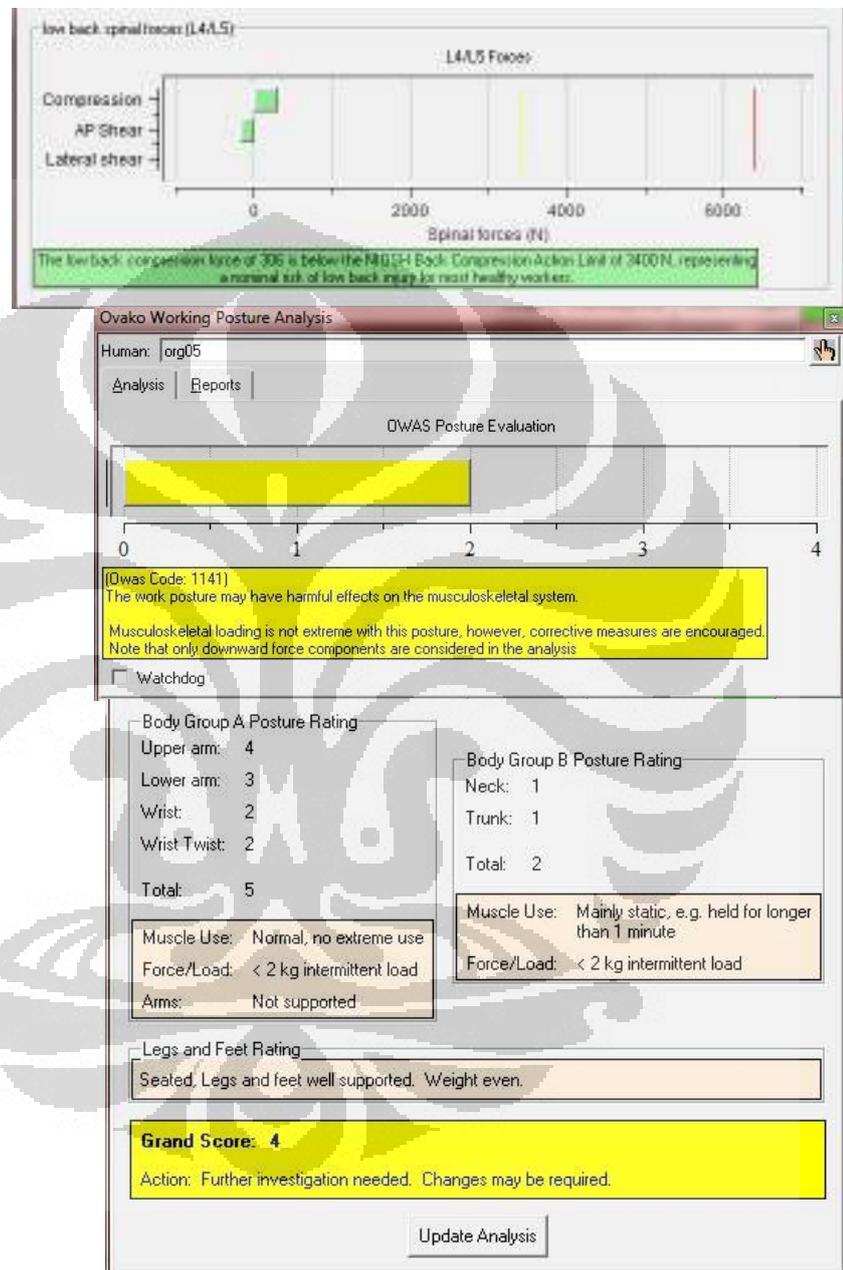












Konfigurasi Usulan 6 Persentil 95

