



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS DESAIN ERGONOMI PINTU MASUK  
KENDARAAN TEMPUR LAPIS BAJA *ARMOURED*  
*PERSONNEL CARRIER (APC)* DALAM *VIRTUAL*  
*ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

**DELA AGUNG SEPTRIADY  
0706166705**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS DESAIN ERGONOMI PINTU MASUK  
KENDARAAN TEMPUR LAPIS BAJA *ARMoured*  
*PERSONNEL CARRIER (APC) DALAM VIRTUAL  
ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

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

**DELA AGUNG SEPTRIADY  
0706166705**

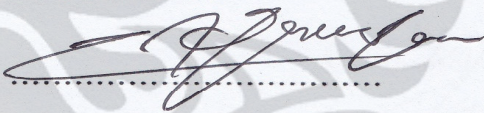
**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2011**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

Nama : Dela Agung Septriady

NPM : 0706166705

Tanda Tangan : 

Tanggal :

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Dela Agung Septriady  
NPM : 0706166705  
Departemen : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Analisa Desain Ergonomi Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja *Armoured Personnel Carrier (APC)* Dalam *Virtual Environment*.

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

**DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Armand Omar Moeis, ST., MSc. (.....)  
Penguji : Akhmad Hidayatno, ST., MBT (.....)  
Penguji : Yadrifil, Ir., MSc (.....)  
Penguji : M. Dachyar, Ir., MSc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Juni 2011

*(Dela Agung Septriady)*

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

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

Nama : Dela Agung Septriady

NPM : 0706166705

Program Studi : Teknik Industri

Departemen : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Analisis Desain Ergonomi Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja  
*Armoured Personnel Carrier (APC) Dalam Virtual Environment***

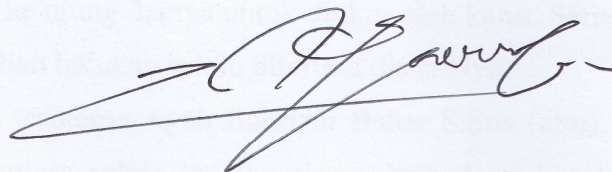
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang Menyatakan



(Dela Agung Septriady)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya persembahkan kepada Allah SWT. Hanya kepada-Nya saya menyembah dan hanya kepada-Nya saya memohon pertolongan. Atas berkat rahmat, kemudahan, dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam saya haturkan kepada junjungan saya, Nabi Muhammad SAW. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas jasa-jasa mereka hingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini. Mereka adalah:

1. Bapak Armand Omar Moeis, ST, M.Sc. Terima kasih atas segala yang telah bapak berikan selaku dosen pembimbing skripsi: motivasi, arahan, saran, do'a, bimbingan akademis, dan bimbingan hidup. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan bapak dengan kebaikan yang lebih banyak.
2. Ir. Boy Nurtjahyo Moch., selaku dosen pembimbing ergonomis yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini.
3. Pak Sena Maulana sebagai pembimbing saya ketika melakukan pengambilan data design aktual kendaraan tempur panser di pindad.
4. Kepada Pangdam Jasa beserta staf di Kodam Jaya yang telah membantu dalam perizinan pengambilan data di Yonif Mekanis 201
5. Letnan Sinaga atas semua izin dan akses yang luar biasa berharga buat kami. Semoga Letnan selalu diberi kemudahan dalam karir nya di militer.
6. Seluruh Tentara Batalyon Mekanis 201 Jaya Yudha, yang telah bersedia di ukur hingga larut malam. Dipanggil-panggil, dikumpulkan oleh komandan disuruh berlari dari ujung ke ujung hanya untuk diukur oleh kami. Semoga segala amal kebaikan yang kalian lakukan selalu diterima disisi Nya.
7. Keluarga tercinta, terutama Ayah Bahrizar Bahar S.Sos (alm), Ibunda Latifah Anum yang senantiasa selalu membanting tulang demi kesuksesan anaknya.

Nenek yang selalu ikhlas mendoakan penulis, Om Oyong atas semua pemberiannya baik semangat maupun semua fasilitas yang om berikan, semoga selalu dimurahkan segalanya , Abang Dela Reza, Abang Dela Abdi, Tante-tante dan Paman atas seluruh doa, perhatian dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang ini.

7. Adliah Rusydina terima kasih atas semangatnya, Senyumannya, cinta dan kasihnya sehingga menjadi motivator penulis untuk segera menyelesaikan studinya dan selalu menemani penulis baik dalam suka maupun duka.
8. Her Arynne Nur Baiti Ingg Wulandhari atas semua semangat, perhatian, ide dan segalanya, sehingga membuat penulis semakin yakin untuk menyelesaikan skripsi ini. Seperti sekarang ini.
9. *The Panser Team*: Raden Yoga, Andrea Coudillo, Farouk Akbar, Ivan Gunawan sebagai rekan penulis dalam tim skripsi Kendaraan Tempur ini atas kerja sama dan pengorbanan yang hebat selama 6 bulan ini
10. Landra Bakri, Bayu Pramudyo, Satria, Komara Jaya, Yunita, Regina, Chandra Satria, dan Fitri Yanti atas 6 bulan yang hebat dan penuh perjuangan dalam tim skripsi ergonomi. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dan memberikan kalian petunjuk dan jalan terbaik.
11. Teman-teman satu kosan Pondok Biru, atas segala canda tawanya, motivasi serta doanya.
12. Teman-Teman TI 2007
13. Pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu di sini.

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, 12 Juni 2011

Penulis

## ABSTRAK

Nama : Dela Agung Septriady

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Desain Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja *Armour Personel Carrier* (APC) Dalam Model Virtual

Penelitian ini mengkaji aspek Desain ergonomis pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja *Armour Personel Carrier* (APC) Dalam Model Virtual. Data gerakan dilakukan dengan Vicon System dan dianalisis menggunakan *software* Jack 6.2.1. Pendekatan yang digunakan adalah *Posture Evaluation Index* (PEI) yang mengintegrasikan analisis dari tiga metode: *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Tujuannya adalah mengevaluasi desain aktual pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja *Armour Personel Carrier* (APC). Dihasilkan 2 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Hasil penelitian menyarankan rancangan konfigurasi dengan perubahan yang tepat.

Kata Kunci:

Desain, Ergonomi, Kendaraan Tempur Pengangkut Personil, Lingkungan Virtual, *Motion Capture*, *Posture Evaluation Index*, Konfigurasi Optimal



## ABSTRACT

Name : Dela Agung Septriady

Study Program: Industrial Engineering

Judul Skripsi : *Ergonomic Design Analysis Door of Armour Personnel Carrier Combat Vehicle (APC) in Virtual Environment.*

This research study about the ergonomic aspect from door of Armour Personnel Carrier Combat Vehicle (APC). Vicon System was used to capture motion and Jack 6.2.1 was used to analyze it. Posture Evaluation Index was an approach that integrated the results of these three methods: Low Back Analysis, Ovako Working Analysis System, and Rapid Upper Limb Analysis. The purpose of this project is to evaluate the actual design from door of Armour Personnel Carrier Combat Vehicle (APC). There are 2 configurations that will be analyzed. The results suggest that the most appropriate ergonomic design.

Key words:

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

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	6
1.3 Rumusan Permasalahan.....	7
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Batasan Masalah.....	7
1.6 Metodologi Penelitian .....	8
Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	11
1.7 Sistematika Penulisan.....	13
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	14
2.1 Ergonomi.....	14
2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi .....	14
2.1.2 Aplikasi Penerapan Ergonomic .....	16
2.1.3 Lingkup Kajian Ergonomi .....	17
2.1.4 Ergonomi dan Design Product .....	19
2.1.5 Bagaimana Ergonomi Bisa Menguntungkan .....	21
2.2 Antropometri .....	24
2.2.1 Definisi Antropometri .....	24
2.2.2 Variabilitas Manusia .....	26
2.2.3 Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan.....	28
2.2.4 Perancangan Antropometri Untuk Kondisi Ekstrim .....	28
2.2.5 Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata .....	30
2.3 Ingress dan Egress.....	31

2.4 Virtual Environment.....	32
2.5 Vicon Motion Capture System.....	34
2.5.1 Cara Kerja Vicon System.....	34
2.6 Software Siemens Jack.....	35
2.6.1 Jack Motion Capture Modules .....	37
2.6.2 Jack Task Analysis Toolkit .....	38
2.7 Lower Back Analysis (LBA) .....	39
2.8 Ovako Working Posture Analysis (OWAS) .....	41
2.9 Rapid Upper Limb Assessment (RULA) .....	44
2.10 Metode Posture Evaluation Index (PEI) .....	46
2.10.1 Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja .....	46
2.10.2 Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas .....	46
2.10.3 Fase Ketiga: Static Strength Prediction.....	47
2.10.4 Fase Keempat: <i>Low Back Analysis</i> .....	47
2.10.5 Fase Kelima: Ovako Working Posture Analysis.....	47
2.10.6 Fase Keenam: Rapid Upper Limb Assessment.....	47
2.10.7 Fase Ketujuh: Evaluasi PEI.....	48
2.11 Kendaraan Tempur.....	49
2.11.2 Panser / Kendaraan Tempur Beroda ( <i>Wheeled Armoured Vehicles</i> ) .	49
<b>BAB 3 PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>52</b>
3.1 Pengumpulan Data .....	52
3.1.1 Data Spesifikasi Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.....	52
3.1.2 Data Antropometri Tentara Nasional Indonesia .....	53
3.1.3 Data Postur dan Perekaman Ingress Pengendara Kendaraan Tempur .	54
3.2 Pengolahan Data.....	62
3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual ( <i>virtual environment</i> ) .....	62
3.2.2 Memasukkan Data Postur Statis Manusia.....	64
3.2.3 Membuat Manekin (Virtual Environment) .....	66
3.2.4 Menyatukan manekin dengan data postur statis manusia .....	67
3.2.5 Menjalankan simulasi dalam <i>virtual environment</i> .....	68
3.2.6 Menganalisis performa manekin manusia.....	70
3.2.7 Melakukan perhitungan <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI) .....	72

3.3 Perancangan Konfigurasi .....	73
3.3 Verifikasi dan Validasi.....	74
<b>BAB 4 ANALISIS .....</b>	<b>75</b>
4.1 Analisis Desain Aktual Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja APC	75
4.1.1 Hasil Static Strength Prediction (SSP).....	76
4.1.2 Hasil Lower Back Analysis (LBA).....	77
4.1.3 Hasil Ovako Working Analysis System (OWAS) .....	79
4.1.4 Hasil Rapid Upper Limb Assesment (RULA) .....	81
4.1.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI .....	83
4.2 Analisa Rancangan Konfigurasi.....	83
4.2.1 Analisis Rancangan Konfigurasi 1.....	84
4.2.2 Analisis Rancangan Konfigurasi 2.....	88
4.3 Analisis Desain Pintu Konfigurasi yang diajukan .....	94
4.3.1 Konfigurasi 1.....	94
4.3.2 Konfigurasi 2.....	96
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>99</b>
5.1 Kesimpulan .....	99
5.2 Saran.....	99
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>101</b>

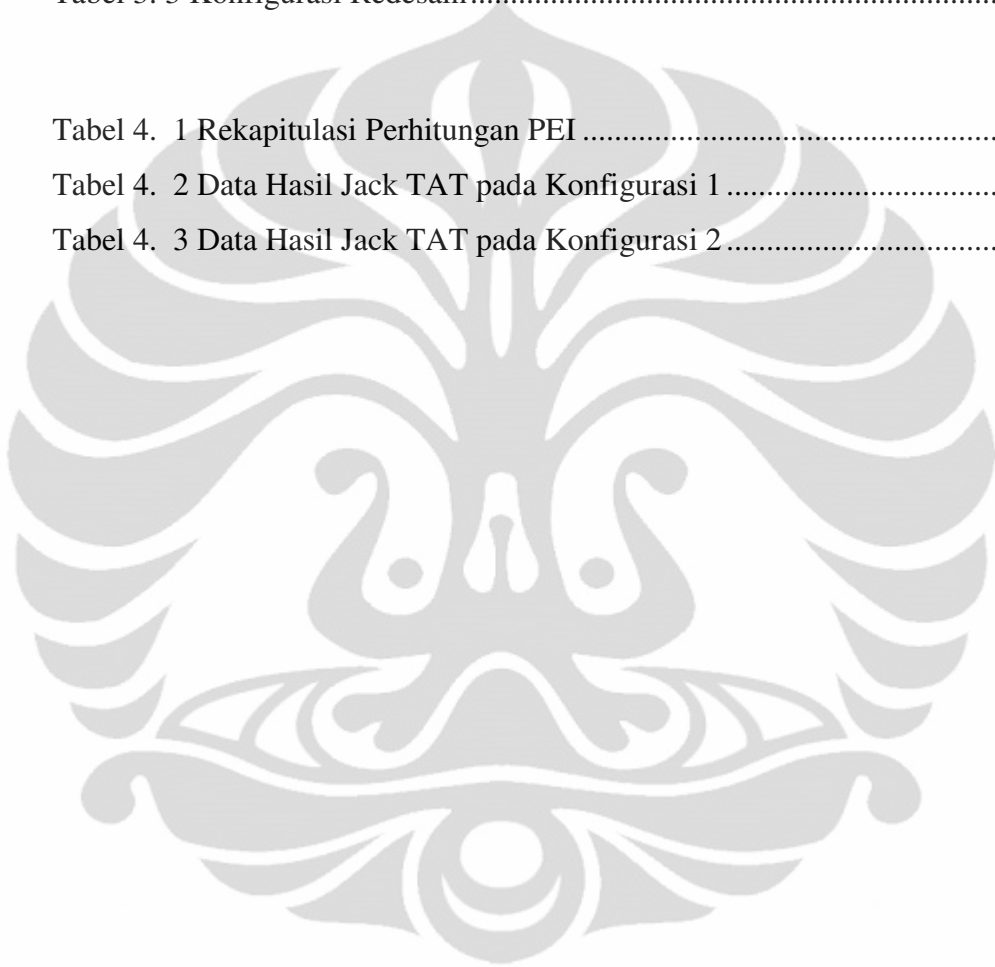
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva Normal Distribusi Persentil.....	29
Gambar 2. 2 <i>Median Motion Strategy</i> Pada Pergerakan Ingress.....	31
Gambar 2. 3 <i>Forward Motion Strategy</i> .....	32
Gambar 2. 4 <i>Trunk Motion Strategy</i> .....	32
Gambar 2. 5 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack.....	36
Gambar 2. 6 Animasi Manekin Manusia yang dibuat menggunakan motion capture pada <i>jack Channelset</i> .....	37
Gambar 2. 7 Kotak Dialog <i>Lower Back Analysis (LBA)</i> pada Software <i>Jack</i> .....	41
Gambar 2. 8 Kategori Postur Pada Tiap Bagian Tubuh dan Beban yang Diterima .....	42
Gambar 2. 9 Contoh Dialog Owas Pada <i>Jack</i> .....	44
Gambar 2. 10 Contoh Kotak Dialog RULA Pada <i>Software Jack</i> .....	45
Gambar 2. 11 Kendaraan Tempur tank.....	49
Gambar 2. 12: 4x4 Wheeled Armoured Vehicle.....	50
Gambar 2. 13: 6x6 <i>Wheeled Armoured Vehicle</i> .....	51
Gambar 2. 14: 8x8 Wheeled Armoured Vehicle.....	51
Gambar 3. 1 Anggota TNI Dikumpulkan Untuk Bersiap Melakukan Pengukuran .....	53
Gambar 3. 2 Anggota TNI Diukur Anggota Badannya .....	54
Gambar 3. 3 Layout Virtual Pada Proses <i>Motion Capture</i> .....	55
Gambar 3. 4 Pintu Masuk Panser Keadaan Sebenarnya .....	56
Gambar 3. 5 Proses Kalibrasi Dengan <i>Wand</i> .....	57
Gambar 3. 6 Tampilan <i>Wand</i> Pada Vicon Nexus .....	57
Gambar 3. 7 <i>L-Frame</i> Pada Area Perekaman .....	58
Gambar 3. 8 Ilustrasi Penempatan <i>Markers</i> .....	60
Gambar 3. 9 Rekontruksi <i>Markers</i> Pada Vicon .....	61
Gambar 3. 10 <i>Blueprint</i> Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.....	63
Gambar 3. 11 Hasil <i>Computer Aided Design</i> .....	63

Gambar 3. 12 Hasil <i>Computer Aided Design</i> .....	64
Gambar 3. 13 Tampilan <i>Nexus</i> Setelah Dijalankan <i>Pipeline</i> .....	65
Gambar 3. 14 Tampilan <i>Pipeline</i> yang sudah dijalankan .....	65
Gambar 3. 15 Ilustrasi <i>Advance Scalling</i> pada Jack .....	67
Gambar 3. 16 Ilustrasi Manekin Mengikuti <i>Vicon</i> .....	68
Gambar 3. 17 Object Kendaraan Tempur dan Manekin Pada <i>Virtual Environment</i> .....	69
Gambar 3. 18 Tampilan <i>channelset</i> Pada Jack.....	70
Gambar 3. 19 Grafik Hasil LBA.....	71
Gambar 3. 20 Grafik Hasil OWAS .....	71
Gambar 3. 21 Grafik Hasil RULA .....	72
Gambar 3. 22 Ilustrasi Perancangan Konfigurasi .....	74
Gambar 4. 1 Desain Aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.....	76
Gambar 4. 2 Grafik SSP Desain Aktual.....	77
Gambar 4. 3 Grafik LBA Konfigurasi 1 .....	78
Gambar 4. 4 Gambaran Deskripsi OWAS .....	79
Gambar 4. 5 Hasil OWAS Desain Aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja APC..	80
Gambar 4. 6 Hasil RULA Desain Aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja .....	82
Gambar 4. 7 Hasil SSP konfigurasi 1 .....	84
Gambar 4. 8 Hasil LBA Konfigurasi 1 .....	85
Gambar 4. 9 Hasil OWAS Konfigurasi 1.....	86
Gambar 4. 10 Hasil Rapid Upper Limb Assesment Konfigurasi 1.....	87
Gambar 4. 11 Rancangan Konfigurasi 2 Pintu Kendaraan Tempur Lapis Baja APC .....	89
Gambar 4. 12 Grafik SSP Konfigurasi 2.....	89
Gambar 4. 13 Hasil LBA Konfigurasi 1 .....	90
Gambar 4. 14 Hasil OWAS Konfigurasi 2 .....	91
Gambar 4. 15 Hasil Rapid Upper Limb Assesment Konfigurasi 2.....	93

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Susunan <i>Markers</i> .....	60
Tabel 3. 2 Data Hasil Jack TAT Pada Konfigurasi Aktual.....	70
Tabel 3. 3 Konfigurasi Redesain.....	73
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Perhitungan PEI.....	83
Tabel 4. 2 Data Hasil Jack TAT pada Konfigurasi 1.....	88
Tabel 4. 3 Data Hasil Jack TAT pada Konfigurasi 2.....	94



## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Teknik Industri adalah suatu cabang teknik yang mencakup bidang desain, perbaikan, dan pemasangan dari sistem integral yang terdiri dari manusia, bahan-bahan, informasi, peralatan dan energi. Hal ini digambarkan sebagai pengetahuan dan keterampilan yang spesifik pada matematika, fisika, dan ilmu-ilmu sosial bersama dengan prinsip dan metode dari analisis keteknikan dan desain untuk mengkhususkan, memprediksi, dan mengevaluasi hasil yang akan dicapai dari suatu sistem (<http://id.shvoong.com/internet-and-technologies/1901719-sekilas-tentang-teknik-industri/>). Berkaitan dengan itu semua Teknik Industri tentunya berkenaan dengan proses untuk memperbaiki performansi keseluruhan dari sistem yang dapat diukur dari ukuran-ukuran ekonomi, pencapaian kualitas, dampak terhadap lingkungan, dan bagaimana semua hal tersebut dapat memberikan manfaat pada kehidupan manusia. Ergonomi memainkan peranan penting dalam mempelajari bagaimana manusia berinteraksi dengan komponen lain dalam suatu sistem terintegrasi.

Dengan adanya ergonomi dalam teknik industri, sistem yang dikelola akan menjadi maksimal. Hal ini dikarenakan ilmu ergonomi merupakan suatu ilmu yang mempelajari tingkah laku manusia dalam kaitannya dengan pekerjaan mereka. Target dari penelitian ergonomi yaitu manusia pada saat bekerja dalam lingkungannya. Dengan kata lain dapat diartikan bahwa ergonomi adalah penyesuaian pekerjaan dengan kondisi tubuh manusia. Ruang lingkup ergonomi sangatlah luas. Salah satu ruang lingkup ergonomi yaitu design. Design memiliki peran yang besar dalam meningkatkan nilai tambah pada barang ataupun jasa yang menjadi objek yang dikelola oleh teknik industry tersebut. Design yang ergonomi akan membuat suatu pekerjaan lebih efisien dan tepat guna,. Hal ini



sesuai dengan salah satu definisi ergonomi yaitu untuk “*fitting the job to the worker*”.

Perkembangan ergonomi modern dimulai kurang lebih seratus tahun yang lalu pada saat Taylor (1880-an) dan Gilberth (1890-an) secara terpisah melakukan studi tentang waktu dan gerakan. Penggunaan ergonomi secara nyata dimulai pada perang dunia I untuk mengoptimasikan interaksi antara produk dengan manusia. Kemajuan ergonomi semakin terasa setelah Perang Dunia II dengan adanya bukti nyata bahwa penggunaan peralatan yang sesuai dapat meningkatkan kemauan manusia untuk bekerja lebih efektif. Hal tersebut banyak dilakukan pada perusahaan-perusahaan senjata perang. (Arianto Sam, “Pengertian Ergonomi”, 26 Maret 2010 <http://www.sobatbaru.blogspot.com/2010/03/pengertian-ergonomi.html+ergonomi+pada+perang+dunia>)



**Gambar 1. 1: Frank Bunker Gilberth “motion for a unit of work”**

Dewasa ini Perkembangan ilmu ergonomi khususnya pada peralatan tempur sudah sangat berkembang dengan pesat. Tidak bisa lagi kita memisahkan ergonomi dengan sarana prasarana militer dalam hal penyediaan alat-alat tempur yang canggih, serta ergonomis. Di Indonesia, PT. PINDAD adalah industri manufaktur Indonesia yang mengkhususkan diri dalam produk-produk militer dan komersial. Perusahaan ini meliputi desain, pengembangan, rekayasa dan fabrikasi serta pemeliharaan. Didirikan pada tahun 1808 sebagai bengkel peralatan militer di Surabaya dengan nama Artillerie Constructie Winkel (ACW), bengkel ini

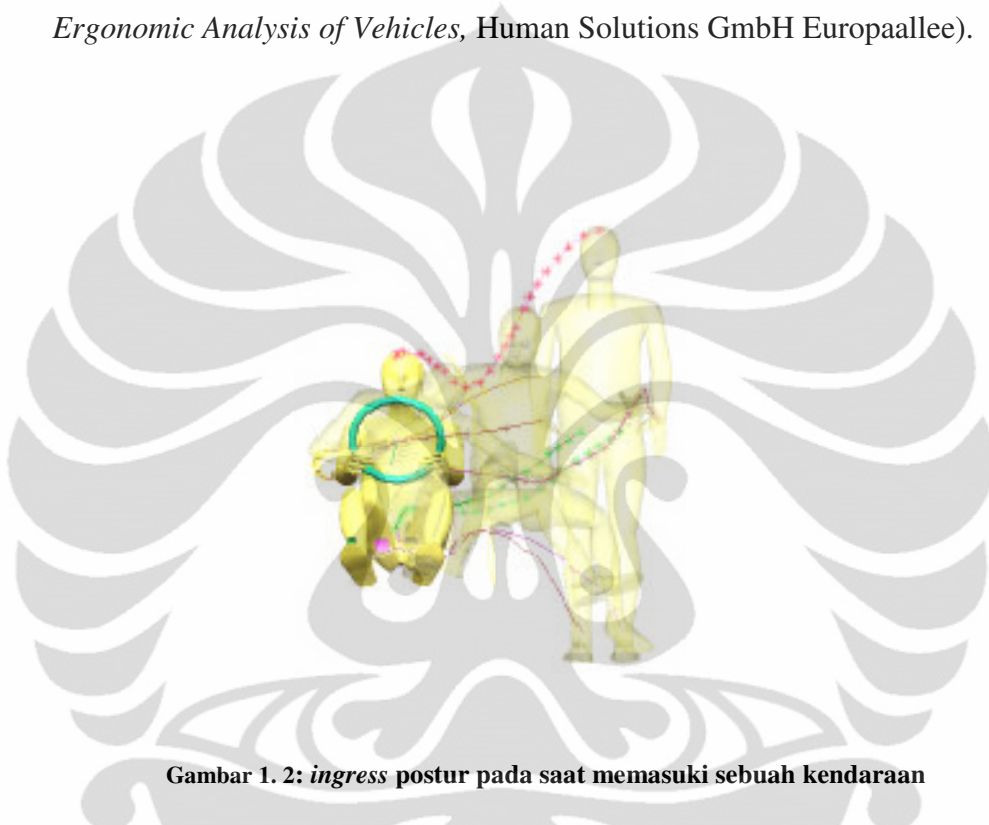
berkembang menjadi sebuah pabrik dan sesudah mengalami perubahan nama yang sama, ia pindah ke Bandung pada tahun 1923. Belanda menyerahkan pabrik kepada Pemerintah Indonesia pada tanggal 29 April 1950. PT. PINDAD telah berubah menjadi sebuah industri alat peralatan militer dan di bawah pengelolaan Angkatan Darat Indonesia. (<http://www.pindad.com/korporate1800.php?bahasa>).

Kendaraan tempur pengangkut personel (APC : Armoured personel carrier) dengan sistem penggerak 6 roda simetris merupakan produk asli PT. PINDAD, dirancang khusus untuk kebutuhan alutista TNI-AD khususnya satuan kavaleri dirancang dan di produksi oleh anak bangsa khusus TNI. Panser ini dapat mengangkut 10 personel dengan 3 orang kru, 1 driver 1 commander dan 1 gunner. Dilengkapi dengan mounting senjata 12,7 mm yang dapat berputar 360 derajat.

Akan tetapi, tingkat kenyamanan desain kendaraan tempur ini masih sangat perlu dipertanyakan, mengingat Dari segi desain, panser ini memang “menyadur ” desain panser VAB besutan GIAT Perancis. Tentunya banyak hal yang dapat kita kaji dari sisi ergonomis. Pertimbangan ergonomis sangat penting dalam sebuah desain panser karena, dibutuhkan tingkat fokus yang tinggi dalam sebuah medan peperangan supaya terciptanya keakuratan dan mengurangi tingkat keletihan dan *stress* dalam menjalankan tugas. tujuan memperkenalkan gagasan ergonomis dalam desain panser adalah untuk meningkatkan efisiensi dalam operasi dan daya semangat berjuang prajurit dalam medan peperangan, selain itu gagasan ergonomis ini juga dapat mengurangi biaya yang tidak perlu disebabkan oleh kesalahan dalam perakitan.

Desain pintu masuk yang mengurangi *accessibility*, Pengendalian kemudi yang tidak optimal, tidak nyamannya posisi berkendara, dan tidak presisinya desain kabin dll merupakan akibat dari desain yang jauh dari nilai ergonomis dibanding nilai aerodinamis dan estesisnya. Hal inilah yang kemudian melatarbelakangi perlunya penulis untuk melakukan penelitian terhadap panser. Sejatinya, Untuk memasuki atau meninggalkan suatu kendaraan mobil adalah tindakan yang kompleks yang membutuhkan koordinasi gerakan artikular tubuh manusia ( Jean-Francois Debril. (2007). ), *Human Articulation Efforts Estimation in the Automobile Vehicle Accessibility Movement – A Pilot Study*

*Ingress/egress* merupakan pergerakan keluar dan masuk pada sebuah kendaraan. Orang menggunakan berbagai strategi ingress, seperti kepala-pertama, kaki-pertama atau buttocksfirst. Strategi ingress seseorang berkorelasi dengan geometri pintu yang ada, atau dimensi tubuh, serta kursi, usia, dan kebiasaan (Peter van der Meulen and Andreas Seidl (2007), *Ramsis – The Leading Cad Tool for Ergonomic Analysis of Vehicles*, Human Solutions GmbH Europaallee).

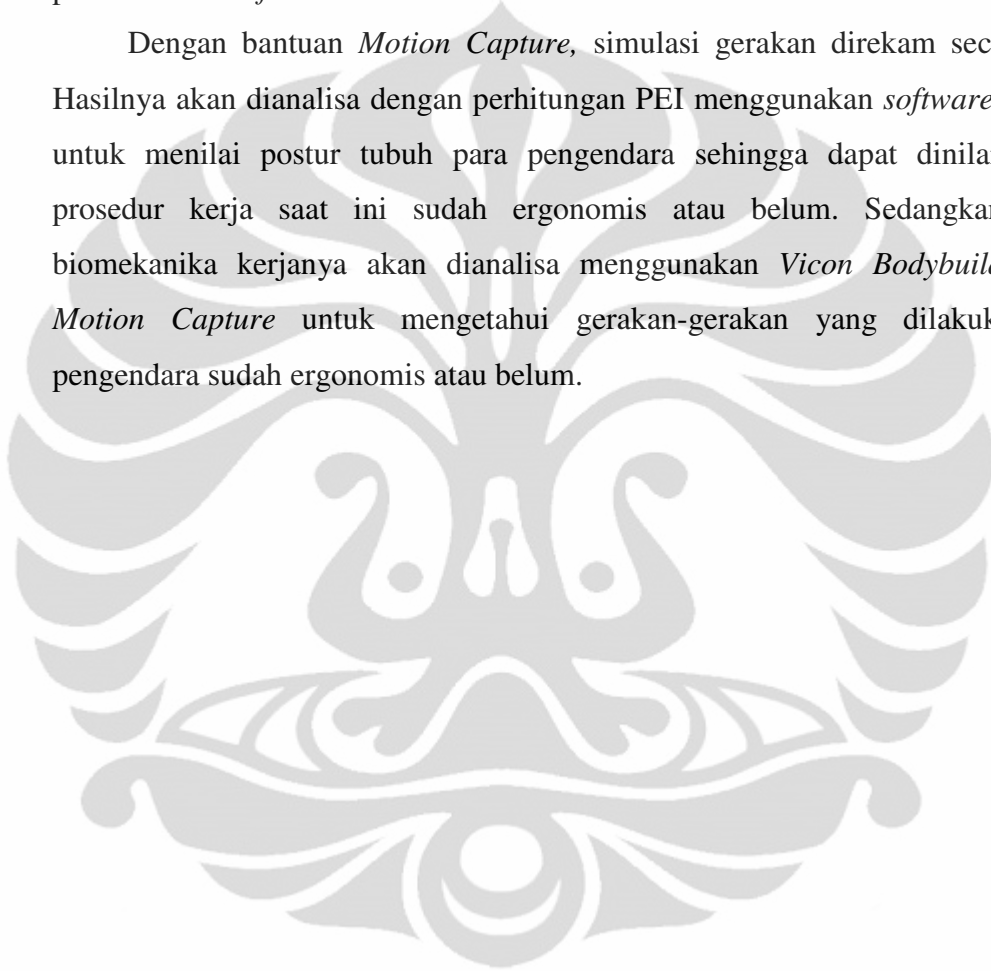


**Gambar 1. 2: *ingress* postur pada saat memasuki sebuah kendaraan**

Analisis aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap panser ini mempertimbangkan satu komponen penting dalam desain kendaraan tempur yang berhubungan erat dengan pintu masuk sebagai jalur *accessibility* pengendaranya, yaitu bentuk pintu sebagai posisi masuk atau keluar kendaraan. Pintu Sebagai satu-satunya jalur *accessibility* oleh pengguna panser menjadi sangat penting penggunaannya jika dalam kondisi yang sangat *extreeme* seperti: perang. Nilai ergonomis dari desain panser yang diteliti dapat diketahui dengan menganalisis evaluasi postur dan gerakan seseorang saat melakukan kegiatan keluar dan masuk (*ingress*) panser ini pada keadaan berhenti. Postur, dan gerakan dalam kendaraan memiliki kaitan dengan kenyamanan seseorang dalam melakukan tugasnya di medan pertempuran. Hal ini memiliki implikasi terhadap *accessibility*, akurasi, tingkatan cedera dari pengemudi.

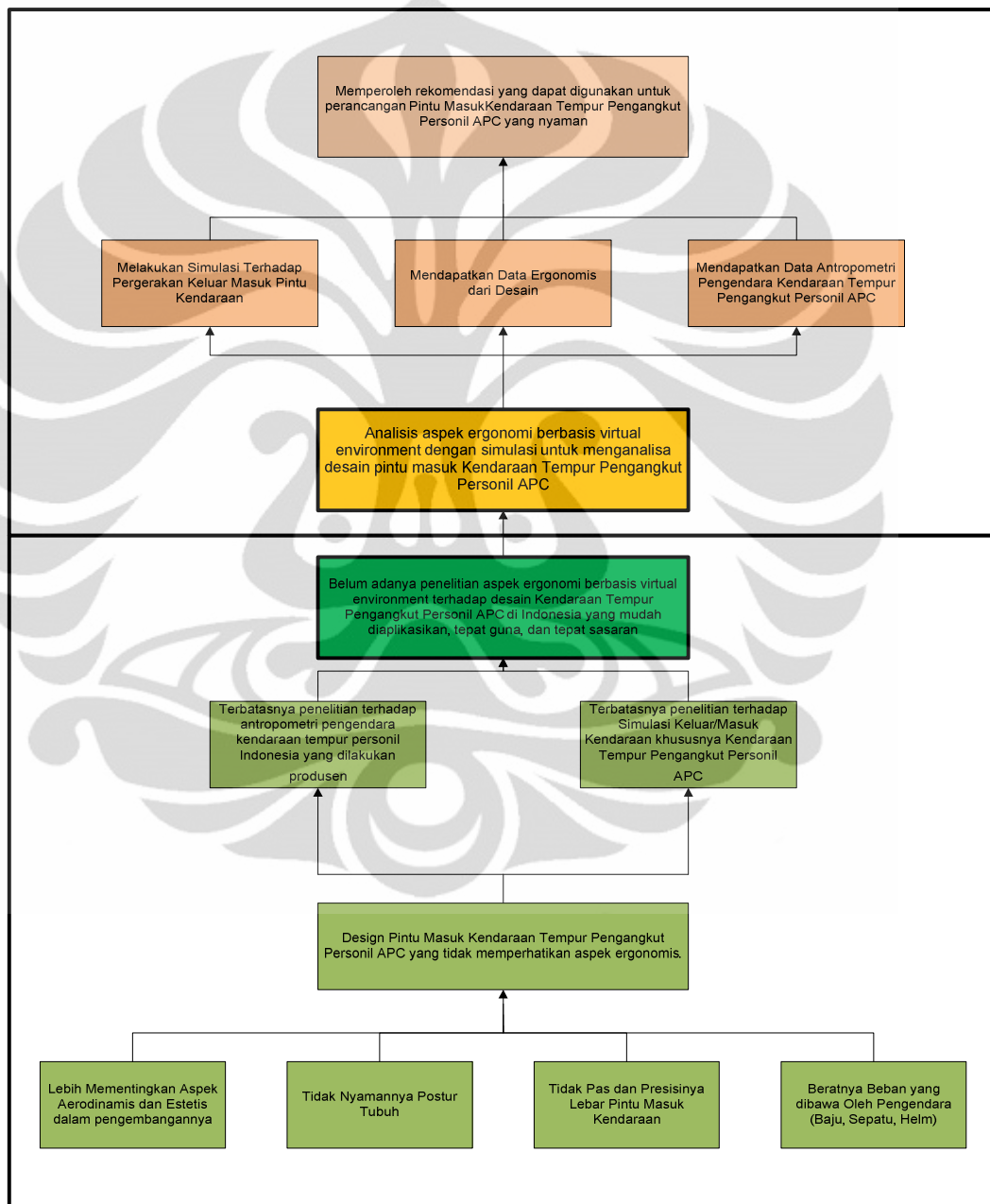
Cara yang akan ditempuh dalam melakukan analisis ini adalah dengan menggunakan sebuah *software human modeling and simulation* bernama Jack 6.0 dan *Motion Capture*. Laboratorium Faktor Manusia (*Ergonomic Center*) Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang merupakan laboratorium ergonomi tercanggih di Indonesia karena hanya laboratorium Ini yang memiliki peralatan dan *software* tersebut.

Dengan bantuan *Motion Capture*, simulasi gerakan direkam secara detil. Hasilnya akan dianalisa dengan perhitungan PEI menggunakan *software* Jack 6.0 untuk menilai postur tubuh para pengendara sehingga dapat dinilai standar prosedur kerja saat ini sudah ergonomis atau belum. Sedangkan, untuk biomekanika kerjanya akan dianalisa menggunakan *Vicon Bodybuilder* pada *Motion Capture* untuk mengetahui gerakan-gerakan yang dilakukan oleh pengendara sudah ergonomis atau belum.



## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

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



Gambar 1. 3: Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah belum adanya penelitian ergonomis dengan simulasi terhadap Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC sehingga perlu dilakukan analisis terhadap desain pintu masuk Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC aspek ergonomis yang mudah diaplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.

### 1.4 Tujuan Penelitian

- Adapun tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dalam penelitian ini adalah untuk menghasilkan desain pintu masuk yang tepat pada kendaraan tempur pengangkut personil APC. Tujuan ini dicapai dengan analisis aspek ergonomis PEI dari desain pintu masuk kendaraan tempur pengangkut personil melalui simulasi model manusia berbasis *virtual environment* yang mudah untuk diaplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.
- Mendapatkan rekomendasi desain pintu masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.

### 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 Pengangkut Personil APC yang digunakan oleh Militer, buatan Indonesia dengan kondisi standar keluaran pabrik.
2. Penelitian dilakukan pada pengendara pria dengan ukuran tubuh persentil 95.
3. Pengukuran antropometri dilakukan terhadap Tentara Nasional Indonesia.
4. Kendaraan Tempur yang diukur adalah Kendaraan Tempur dalam Posisi Berhenti
5. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa desain pintu masuk Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC yang merupakan analisis dengan menggunakan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual*

*environment* secara static dan juga menggunakan *Motion Capture* secara dinamic. berdasarkan data-data observasi langsung di lapangan dan di laboratorium.

6. Permodelan menggunakan *software* Jack 6.2.1, Autocad, NX6, dan 3DS MAX.
7. Pengambilan data gerakan menggunakan perangkat *Vicon Motion Capture System* yang dilakukan oleh peneliti. yang baru dikembangkan di Laboratorium Faktor-faktor Manusia Departemen Teknik Industri UI. Dengan perangkat ini, semua gerakan tubuh subjek dapat direkam sehingga data pergerakan yang direkam mendekati kondisi yang sebenarnya.

## 1.6 Metodologi Penelitian

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

### 1. Pendahuluan

Adapun topik penelitian ini adalah menganalisis aspek ergonomis dari desain pintu dan melakukan simulasi terhadap pergerakan masuk/keluar pintu Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC melalui simulasi model manusia dalam *virtual environment* dengan menggunakan perangkat *Vicon Motion Capture*.

### 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*
- Pergerakan *Ingres/Egress*
- *Human Articulation in the Automobile Vehicle Accessibility Movement*
- 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 pintu masuk Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC. Kemudian melakukan simulasi keluar/masuk pinntu dengan menggunakan *Vicon Motion Capture*. serta mengumpulkan data antropometri TNI sebagai pengguna Kendaraan ini.

### 5. Pengolahan Data dan Analisis.

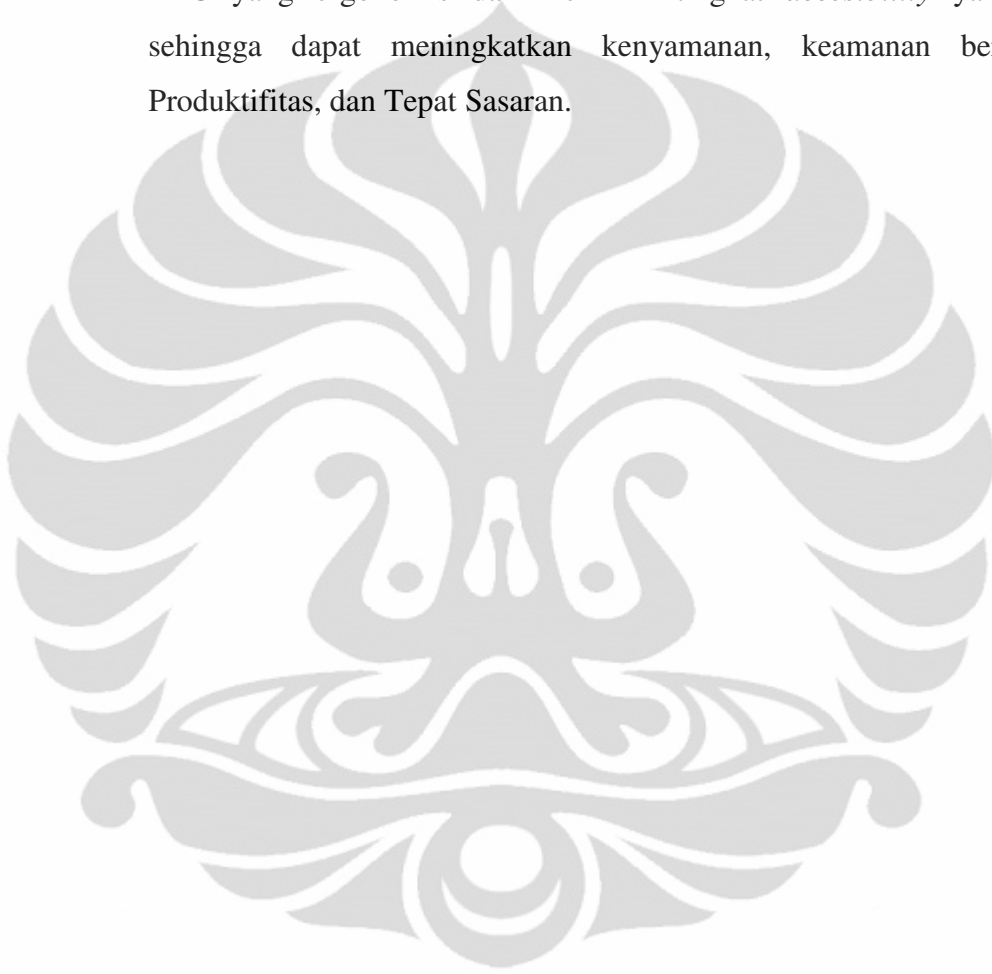
- Membuat model Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC dengan menggunakan *software SketchUp AutoCad dan jack*.
- Membuat manekin TNI (*virtual human*) sebagai pengendara sesuai data antropometri yang diperoleh dari perangkat Antroscan
- Memposisikan manekin ke dalam *environment* sesuai dengan postur dan kondisi sebenarnya melalui perangkat *Vicon Nexus Motion Capture System*
- Mensimulasikan aktivitas keluar masuk (*dynamic*) dengan menggunakan perangkat *Vicon Nexus Motion Capture*
- Melakukan analisis ergonomi terhadap desain pintu masuk dengan bantuan peranti *Motion Capture (dynamic)* dan *Jack 6.2.1 (Static)*.
- Melakukan perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)



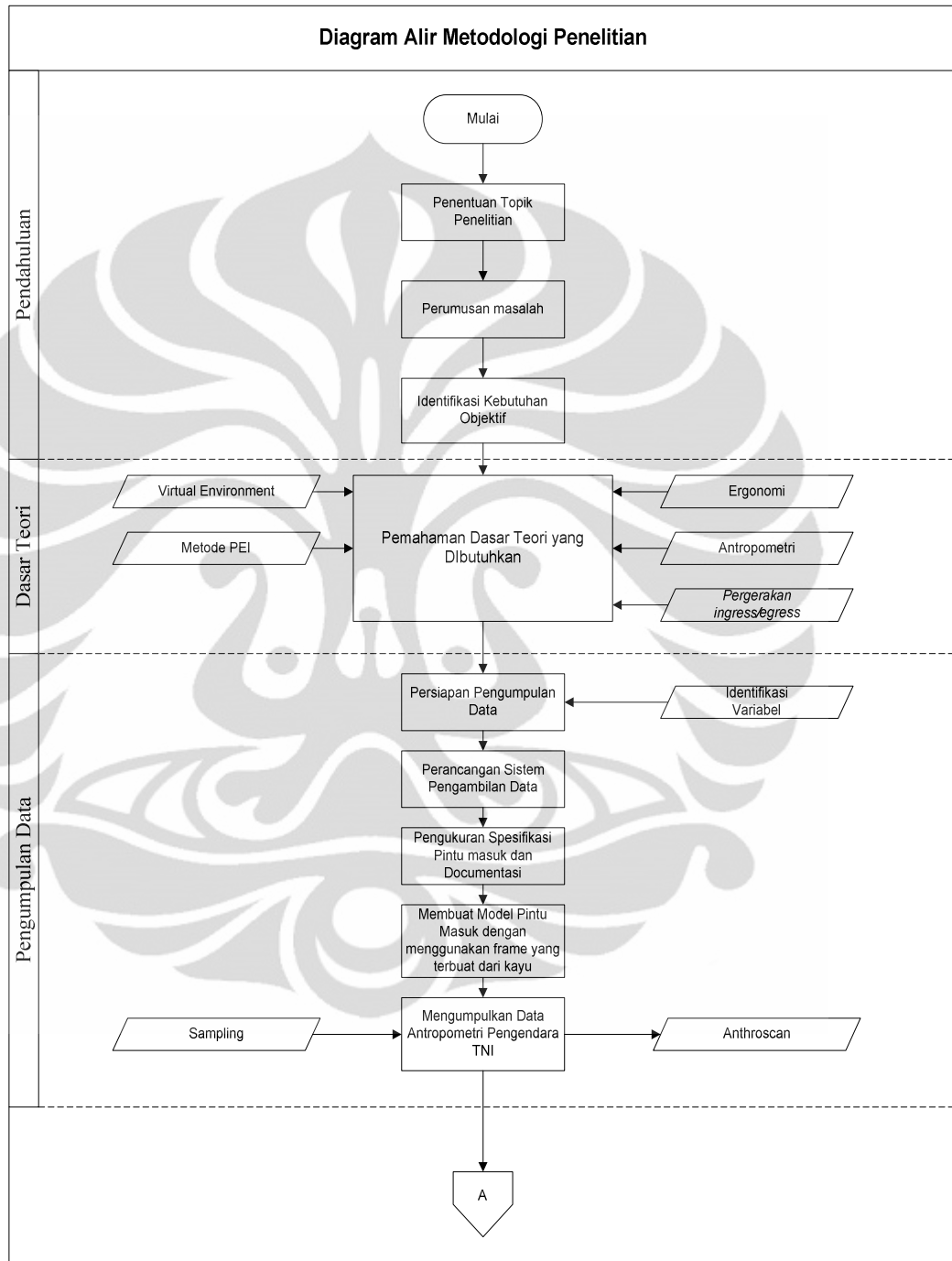
- Menganalisis hasil perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)

#### 6. Penarikan Kesimpulan

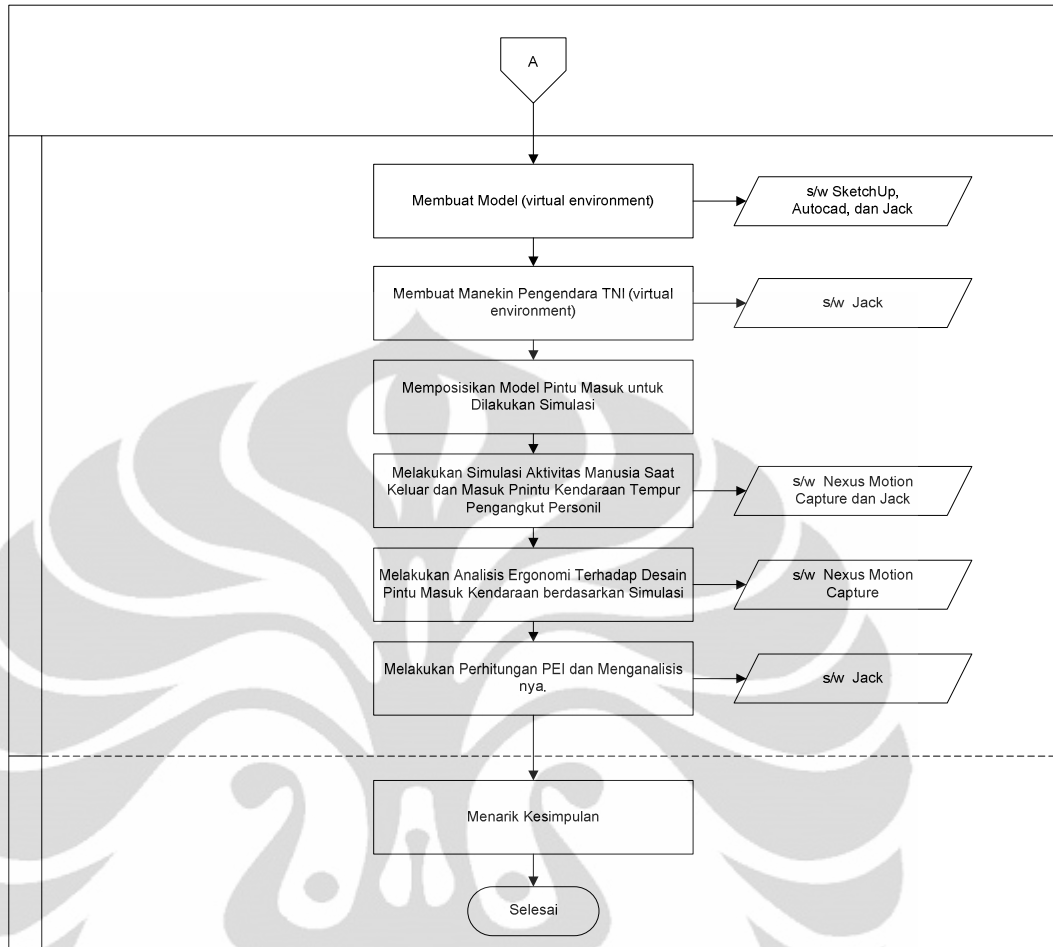
Berdasarkan analisis yang dibuat maka akan dapat disimpulkan konfigurasi desain pintu masuk Kendaraan Tempur Pengangkut Personil APC yang ergonomis dan memiliki tingkat *accessibility* yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kenyamanan, keamanan berkendara, Produktifitas, dan Tepat Sasaran.



## Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.4 : Diagram Alir Metodologi Penelitian



**Gambar 1. 5 : Diagram Alir Metodologi Penelitian (sambungan)**

## 1.7 Sistematika Penulisan

Untuk dapat menuangkan hasil penelitian ke dalam bentuk penulisan yang teratur dan sistematis, maka laporan penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab. Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

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

Bab 3 adalah bab pengumpulan data dan perancangan model. Pada bab ini akan dibahas mengenai berbagai data yang dikumpulkan selama penelitian berlangsung, seperti data antropometri pengemudi kendaraan tempur pengangkut personel APC, yaitu dalam hal ini adalah TNI, dan data spesifikasi Kendaraan Tempur ini, serta perancangan model berdasarkan data yang ada dengan menggunakan *software Jack*.

Bab 4 adalah bab analisis yang menjelaskan mengenai analisis dari perancangan model yang dibuat sesuai dengan beberapa konfigurasi. Berdasarkan analisis yang dilakukan, maka dibuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

Bab 5 merupakan kesimpulan dan saran dari keseluruhan penelitian ini. Kesimpulan yang diambil meliputi data ergonomis Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Ergonomi

##### 2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi

Kata “ergonomi” berasal dari dua buah kata dalam bahasa Yunani, yaitu *ergon* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti hukum. Ergonomi adalah suatu kajian terhadap interaksi antara manusia dengan mesin yang digunakannya, beserta faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi tersebut. Tujuan dari kajian ergonomi adalah untuk meningkatkan performa dari sistem dengan meningkatkan kualitas hubungan antara manusia dengan mesin yang digunakan. Hal ini bisa dilakukan dengan “mendesain ke dalam” sebuah antar muka (*interface*) yang lebih baik atau dengan “mendesain ke luar” faktor-faktor yang ada di lingkungan (*environment*), kegiatan kerja (*task*), atau organisasi (*organization*)<sup>13</sup>. Implementasi ilmu ergonomi dalam desain sistem seharusnya membuat suatu sistem bekerja lebih baik dengan mengeliminasi aspek-aspek yang tidak diinginkan, tidak terkontrol, dan tidak terukur, seperti:

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

Istilah ergonomi seringkali digantikan atau disandingkan dengan istilah *human factors*. Banyak pakar profesional yang berpendapat bahwa istilah *human factors* merupakan sinonim dari ergonomi. Namun ada pula beberapa pendapat yang mencoba membedakan definisi di antara keduanya. Ergonomi lebih dikaitkan dengan aspek kerja fisik, sementara *human factors* lebih menyangkut aspek kognitif dan persepsi (Karwowski, Waldemar. (2006). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Volume 1*, Attention (hal.32-35) Kentucky: CRC Press.). Pendapat lain membedakan kedua istilah itu berdasarkan lokasi geografis penggunaannya. Istilah *human factors* lebih sering digunakan di

Amerika Serikat dan beberapa negara lain, sementara istilah ergonomi lebih sering digunakan di negara-negara eropa.

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

Ergonomi memiliki fungsi dimana dapat memberikan kemudahan bagi manusia dalam melakukan suatu pekerjaan. Dengan begitu kendala keterbatasan yang dimiliki oleh manusia dapat diatasi. Fungsi lainnya, ergonomi mampu mengurangi penggunaan energi lebih pada saat seseorang melakukan pekerjaan. Selin itu, ergonomi dapat membuat seseorang menjadi lebih baik dalam melakukan suatu pekerjaan juga pruktivitas menjadi lebih baik.

Sebagai contoh, posisi antara meja dan kursi ketika kita bekerja atau belajar. Posisi dibuat sedemikian rupa sehingga kita dapat dengan mudah melakukan suatu pekerjaan. Dampaknya terhadap psikologis seseorang mampu membuat produktivitas meningkat karena posisinya yang ergonomis mampu mengurangi tingkat kelelahan pada saat bekerja.

Ergonomi mayoritas diterapkan di lingkungan industri dimana lingkungan ini sangat dinamis. Perubahan selalu terjadi di industri terutama akibat adanya perubahan teknologi yang tiada hentinya. Dahulu, Frederic Charless Barlett pernah memprediksi bagaimana tantangan ergonomi pada 40 tahun yang akan datang yang ternyata cukup akurat dan sesuai dengan kondisi sekarang. Barlett memprediksikan perkembangan teknologi otomasi dan komunikasi akan menjadi tantangan yang berarti bagi ergonomi. Perkembangan teknologi tersebut mengakibatkan perubahan di aktivitas dan budaya kerja. Ini artinya ergonomi juga selalu berubah dan ergonomi di era dulu berbeda dengan ergonomi di era sekarang. Prediksi Barlett lebih kurang:

- Isolasi fisik individu di tempat kerja.
- Permintaan teknologi komunikasi yang lebih besar.
- Beban kerja fisik berkurang sementara beban kerja mental bertambah.
- Kombinasi kerja, maksudnya kerja-kerja yang tadinya dilakukan oleh beberapa orang menjadi dilakukan oleh seorang saja.
- Adanya dorongan atau motivasi kerja yang lebih beraneka ragam.
- Tekanan yang lebih besar pada pengambilan keputusan (decision making).
- Jam kerja yang berkurang dan waktu senggang pekerja yang meningkat.

### 2.1.2 Aplikasi Penerapan Ergonomic

Penerapan ergonomic kalau kita kaji lebih mendalam memiliki penggunaan yang sangat luas. Pada subbab ini kita akan sedikit penggunaannya dalam beberapa contoh seperti:

1. Posisi Kerja terdiri dari posisi duduk dan posisi berdiri, posisi duduk dimana kaki tidak terbebani dengan berat tubuh dan posisi stabil selama bekerja. Sedangkan posisi berdiri dimana posisi tulang belakang vertikal dan berat badan tertumpu secara seimbang pada dua kaki.
2. Proses Kerja. Para pekerja dapat menjangkau peralatan kerja sesuai dengan posisi waktu bekerja dan sesuai dengan ukuran anthropometrinya. Harus dibedakan ukuran anthropometri barat dan timur.
3. Tata letak tempat kerja. Display harus jelas terlihat pada waktu melakukan aktivitas kerja. Sedangkan simbol yang berlaku secara internasional lebih banyak digunakan daripada kata-kata.
4. Mengangkat beban. Berbagai macam cara dalam mengangkat beban yakni, dengan kepala, bahu, tangan, punggung dsbnya. Beban yang terlalu berat

Contoh paling sederhana dan umum adalah kursi kerja dengan manusia yang memakainya (mendudukinya). Penjelasan sederhananya: Jika kita duduk

dikursi yang nyaman, maka kita bisa bekerja dengan lebih nyaman dan santai sehingga konsentrasi tetap terjaga, akibatnya hasil kerja kita juga baik.

Banyak hal lain dalam kehidupan kita sehari-hari yang dapat diterapkan dengan ilmu ergonomi ini namun seringkali dikorbankan karena permasalahan model/gaya/desain yang jelek. Misalnya: pengendara sepeda motor yang mencopot spion kiri atau mengganti kedua spion dengan spion yang kecil dan lebih bergaya padahal dengan spion yang kecil, pengendara jadi kesulitan sehingga mengharuskan si pengendara menoleh ke belakang dengan gerakan yang kurang stabil.

Posisi kita saat menggunakan laptop di lantai/tempat tidur, posisi kita saat mengangkat galon air minum, dan terutama berbagai posisi saat kita melakukan kerja merupakan banyak kasus pada ilmu ergonomi. Perhitungan, analisis dan perancangan ergonomi bertujuan untuk membuat alat kerja yang nyaman saat digunakan sehingga meningkatkan produktivitas kerja pemakai. Kesalahan posisi kerja memungkinkan seseorang menjadi mudah lelah, kurang konsentrasi dan bahkan pegal-pegal atau sakit pada bagian tertentu.

### 2.1.3 Lingkup Kajian Ergonomi

Sebelum masuk ke apa saja yang menjadi lingkup kajian ergonomi terlebih dahulu dijelaskan bahwa ergonomi merupakan ilmu yang muncul dari ilmu-ilmu lain atau bisa disebut sebagai salah satu ilmu yang multidisipliner. Terdapat 6 ilmu yang secara garis besar mendominasi dalam ergonomi yakni:

1. Antropometri, berkembang dari ilmu anatomi
2. Biomekanik, berkembang dari ilmu ortopedi
3. Fisiologi manusia kerja, berkembang dari ilmu fisiologi
4. Kesehatan dan keselamatan kerja (K3), berkembang dari ilmu kedokteran / medis
5. Manajemen dan psikologi kerja, berkembang dari ilmu psikologi
6. Hubungan kerja, berkembang dari ilmu sosiologi



Sedangkan lingkup yang menjadi kajian ergonomi bisa merupakan turunan atau bagian dari salah satu dari enam ilmu di atas atau bisa merupakan gabungan dari dua atau lebih dari turunan ilmu di atas. Adapun lingkup kajian Ergonomi dapat dibagi menjadi empat bidang utama yakni:

### **1. Ergonomi fisik**

Berkaitan dengan aktifitas fisik manusia kerja. Topik-topik yang relevan dalam ergonomi fisik antara lain: anatomi tubuh manusia, antropometri, karakteristik fisiologi dan biomekanika, kekuatan fisik manusia kerja, postur kerja, beban fisik kerja, pemindahan material, studi gerakan dan waktu kerja, MSD, tata letak tempat kerja, keselamatan kerja, kesehatan kerja, ukuran / dimensi tempat atau alat kerja, fungsi indra dalam kerja, control & display dsb.

### **2. Ergonomi kognitif**

Berkaitan dengan proses mental manusia kerja. Topik-topik yang relevan dalam ergonomi kognitif antara lain: persepsi dalam kerja, ingatan dalam kerja, reaksi dalam kerja, beban kerja, pengambilan keputusan, performa kerja, human-computer interaction, kehandalan manusia, motivasi kerja, stres kerja dsb.

### **3. Ergonomi organisasi**

Berkaitan dengan sosioleknik dalam sistem kerja. Topik-topik yang relevan dalam ergonomi organisasi antara lain: struktur organisasi kerja, kebijakan dan proses, komunikasi kerja, manajemen SDM, alokasi fungsi kerja, task analysis, perancangan waktu kerja, teamwork, participatory approach, komunitas kerja, kultur organisasi, organisasi virtual, produktivitas kerja tim / individu dsb.

### **4. Ergonomi lingkungan**

Berkaitan dengan hal-hal di sekitar orang berkerja, biasanya berupa lingkungan fisik. Topik yang relevan dalam ergonomi organisasi antara lain: pencahayaan di tempat kerja, temperatur di tempat kerja, kebisingan di tempat kerja, getaran di tempat kerja, desain interior tempat kerja termasuk bentuk dan warna dsb.

Semua lingkup kajian di atas digunakan untuk medesain atau merancang sistem kerja. Oleh karena itu ergonomi juga sering diasosiasikan dengan perancangan sistem kerja, karena ilmu ergonomi dipakai unruk merancang atau memperbaiki sistem kerja dengan manusia sebagai orientasi utamanya.

Perlu diketahui bahwa dalam perancangan sebuah sistem kerja atau dalam penelitian kerja, keempat bidang di atas seringkali tidak berdiri sendiri-sendiri, sebagai contoh: penelitian untuk mengetahui seberapa jauh efek pencahayaan di tempat kerja (ergonomi lingkungan) maka dalam penelitian tersebut juga melibatkan performa kerja (ergonomi kognitif) sebagai indikatornya. Contoh lain pada penelitian tentang pengaruh getaran di tempat kerja (ergonomi lingkungan) bisa melibatkan performa kerja (ergonomi kognitif) sebagai indikatornya dan/atau melibatkan karakteristik fisik manusia misalnya dalam hal kerusakan telinga / pendengaran (ergonomi fisik) yang disebabkan dari kebisingan tersebut.

#### 2.1.4 Ergonomi dan Design Product

Produk-produk yang dihasilkan oleh perusahaan, pada dasarnya merupakan perwujudan terhadap pemenuhan keinginan manusia (*customers needs*) sebagai konsumen. Keinginan konsumen tersebut dilahirkan dari keinginan manusia yang secara alamiah akan memunculkan keinginan dan harapan yang akan selaras dengan konsep ergonomi.

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

Dalam aplikasi ergonomi, secara ideal dapat diterapkan “*to fit the job to the man*” dalam perancangan sistem kerja begitu juga dalam pengembangan desain produk (Bridger, 1995; Kroemer, 200; Pulat, 1992), sehingga desain produk yang dihasilkan diharapkan akan memenuhi keinginan konsumen dan diharapkan memiliki nilai tambah, dimana manfaat (*tangible & intangible benefits*) yang akan dirasakan konsumen memiliki totalitas manfaat yang lebih dibandingkan biaya pengorbanan yang harus dikeluarkan. Dengan demikian, desain produk tersebut telah memiliki *superior customer value* dibandingkan pesaingnya (Kotler & Armstrong, 2006). Keunggulan bersaing harus diciptakan sejak desain produk dan diwujudkan dengan produk jadi (*finished goods*) sebagai indikator performansi nyata (*tangible*) yang akan dilihat dan dirasakan oleh konsumen. Penilaian konsumen terhadap produk merupakan perwujudan tingkat performansi dari produk yang dihasilkan perusahaan (Kotler & Keller, 2006), apakah konsumen akan merasakan puas (*satisfied*)-jika performansi produk sesuai dengan harapan dari keinginan konsumen, atau tidak puas (*dissatisfied*)-jika performansi produk dibawah harapan dari keinginan konsumen, atau sangat puas (*delighted*)-jika performansi produk melebihi harapannya.

Konsep ergonomi harus juga dijadikan sebagai kerangka dasar dalam perancangan *control device* dari sebuah mesin sehingga diharapkan operator dapat mengoperasikan mesin tersebut secara benar dan dapat mengurangi kecelakaan kerja. Sebagaimana dijelaskan oleh Sanders & McCormick (1993) bahwa terdapat beberapa jenis *control device*, seperti *hand control*, *foot control* dan *data entry devices*.

Jenis *foot control* dapat mempengaruhi postur dari operator sehingga perancangan dari jenis ini harus didasarkan beberapa aspek, seperti lokasi engsel pedal, sudut telapak kaki dengan betis, dan peletakan pedal tersebut terhadap operator. Dengan demikian, diperlukan konsiderasi ergonomi pada desain produk sehingga kegunaan dan pemakaian produk tersebut sudah sesuai dengan faktor manusia dari penggunaannya.

### 2.1.5 Bagaimana Ergonomi Bisa Menguntungkan

Telah diketahui bersama bahwa penerapan ergonomi yang tepat di lingkungan kerja akan memberikan efek positif pada semua pihak. Bagi perusahaan mendapatkan keuntungan karena terdapat penghematan dan adanya perbaikan produktivitas yang nantinya akan memberikan efek positif terhadap profit. Bagi pekerja juga mendapatkan keuntungan yakni safety meningkat, kesehatan lebih terjamin, lebih “nyaman” dalam bekerja, usability alat kerja meningkat (semakin mudah digunakan dan optimal) dan pada akhirnya kualitas kehidupan saat bekerja menjadi lebih baik.

Keuntungan bagi pihak pekerja memang sudah tidak diragukan lagi kebenarannya namun keuntungan untuk pihak perusahaan masih banyak yang meragukannya. Banyak pihak yang bertanya, bagaimana ergonomi dapat menguntungkan perusahaan? Jawabannya sudah disebutkan yakni ergonomi akan memberikan penghematan dan adanya perbaikan produktivitas yang nantinya akan memberikan efek positif terhadap profit. Jawaban tersebut sudah sangat jelas dan banyak terbukti namun banyak pihak terutama mereka yang awam yang belum puas dengan jawaban tersebut. Mereka mempertanyakan bagaimana proses detailnya ergonomi bisa menguntungkan.

Pada dasarnya, pada sebuah perusahaan/industri terutama di lantai produksi, terdapat hal-hal yang membuat jadi tidak untung. Hal-hal tersebut dinamakan waste. Waste secara kasar dapat diartikan sebagai ‘sampah’ atau hal-hal yang tidak berguna, tidak member nilai tambah, tidak bermanfaat, dan merupakan pemborosan.

Waste ada 12 jenis dan terbagi menjadi dua yakni 7 waste yang diidentifikasi oleh Taiichi Ohno sebagai bagian dari sistem produksi Toyota dan 5 additional waste yakni jenis waste yang ditambahkan oleh referensi atau sumber lain. 12 waste meliputi:

1. **Produksi berlebih (overproduction).** Overproduction adalah produksi produk dengan jumlah lebih banyak dari permintaan konsumen atau melebihi jumlah yang dibutuhkan. Overproduction

merupakan jenis waste yang paling parah dibandingkan yang lain, karena diperlukan tambahan usaha penanganan bahan, tempat tambahan untuk menyimpan persediaan, dan tenaga tambahan untuk memantau persediaan, dokumen tambahan, dan lain-lain. Overproduction juga bisa disebabkan oleh produksi yang dikerjakan sebelum waktunya. Jika hal ini terjadi, maka biaya material dan upah pekerja bertambah sedangkan nilai hasil kerja tidak bertambah.

2. **Waktu tunggu (waiting).** Waiting meliputi seluruh waktu yang membuat proses produksi terhenti. Beberapa referensi menyebutkan bawah waiting waste juga terjadi pada operator yang hanya mengamati jalannya mesin otomatis. Pemborosan ini terjadi karena pekerjaan dilakukan sepenuhnya oleh mesin dan operator tidak melakukan pekerjaan apapun.
3. **Transportasi berlebih (inefficient transportation).** Transportation atau transportasi merupakan pergerakan barang, baik material, work in progress (WIP), atau barang jadi yang memiliki resiko kerusakan, kehilangan, penundaan, dan lain sebagainya, serta menambah biaya tanpa memberikian nilai lebih. Transportasi pasti ada di setiap produksi, namun jika transportasi tersebut berlebihan atau tidak efisien maka harus diminimalkan.
4. **Proses yang tidak sesuai (inappropriate processing).** Inappropriate processing meliputi semua aktivitas dalam proses produksi yang seharusnya tidak perlu ada. Inappropriate processing umumnya terjadi jika peralatan produksi tidak terawat, kurang siap pakai, atau kurang sempurna baik tingkat akurasi, fleksibilitas, integrasi otomatisasi dan sebagainya, sehingga operator harus mengeluarkan usaha lebih banyak.
5. **Persediaan yang tidak perlu / berlebih (unnecessary inventory).** Bentuk waste ini bisa berupa persediaan material, barang work in progress (WIP), maupun barang jadi yang menambah pengeluaran dan belum menghasilkan pemasukan, baik oleh produsen maupun untuk

konsumen. Ketiga jenis bentuk inventory di atas tidak diproses dengan segera hingga menghasilkan nilai tambah.

6. **Gerakan yang tidak perlu (unnecessary motion).** Bentuk unnecessary motion berupa gerakan manusia / individu (operator, foreman dan orang-orang yang berhubungan langsung dengan produksi) atau peralatan yang berlebihan, tidak efektif, dan tidak memberikan nilai tambah bagi jalannya proses produksi.
7. **Produk cacat (defects).** Defects merupakan kecacatan kualitas yang terjadi dalam proses maupun produk akhir akan menghambat pengiriman produk. Selain itu, dibutuhkan usaha dan biaya tambahan untuk penanganan produk cacat seperti rework dan pembuangan. Diperlukan proses tambahan dalam usaha untuk memperoleh kembali nilai dari produk yang cacat tersebut.
8. **Underutilized people.** Underutilized people merupakan waste karena pekerja yang tidak mengeluarkan seluruh kemampuan yang dimilikinya baik mental, kreativitas, ketrampilan, dan kemampuan fisik.
9. **Danger.** Danger merupakan ketidakamanan (unsafe) area kerja. Danger berkaitan dengan resiko kecelakaan kerja akibat hazard. Setiap pekerjaan pasti memiliki resiko bahaya dan resiko tersebut harus diminimalkan.
10. **Poor information.** Poor information merupakan wujud dari buruknya aliran informasi dalam proses produksi.
11. **Loss of materials.** Loss of materials merupakan ketidaksesuaian jumlah material yang digunakan dengan output produksi yang diharapkan.
12. **Breakdown.** Breakdown merupakan kerusakan pada mesin atau alat produksi.

Waste-waste di atas dapat diatasi dengan mengoptimalkan empat elemen yakni 1) sistem dan proses manufaktur 2) teknik produksi 3) riset operasi dan 4) ergonomi. Pada dasarnya, semua elemen dalam industri tersebut saling berkaitan dan agar waste tersebut dapat diatasi secara optimal maka keempat elemen tersebut harus bersinergi satu sama lain. Namun, secara umum dapat disebutkan

bahwa ada beberapa waste dimana untuk mengatasinya diperlukan peran bidang ergonomi yang paling signifikan. Waste tersebut antara lain:

- **Transportasi berlebih (inefficient transportation).** Waste ini dipelajari dalam bidang desain alat kerja (misal untuk kasus material handling dan poor close coupling), analisis postur kerja (misal untuk kasus manual material handling) dsb.
- **Gerakan yang tidak perlu (unnecessary motion).** Waste ini dipelajari dalam bidang motion and time study.
- **Underutilized people.** Waste ini dipelajari dalam bidang produktivitas manusia dan hubungannya bisa melebar ke bidang lain seperti ergonomi lingkungan, ergonomi organisasi, ergonomi kognitif, manajemen shift, human error dsb.
- **Danger.** Waste ini dipelajari dalam bidang occupational safety and health atau kesehatan dan keselamatan kerja (K3).
- **Poor information.** Waste ini dipelajari dalam bidang ergonomi kognitif, ergonomi organisasi dsb.

Dari informasi diatas dapat dilihat bahwa hampir separuh dari waste yang ada dapat diatasi dengan ergonomi.

## 2.2 Antropometri

### 2.2.1 Definisi Antropometri

Antropometri berasal dari bahasa Yunani yakni kata anthropos yang berarti manusia dan metron yang berarti mengukur. Jadi, antropometri secara literal adalah pengukuran manusia. Antropometri adalah pengetahuan mengenai dimensi tubuh manusia serta aplikasi yang berkaitan dengan geometri fisik, massa dan kekuatan tubuh manusia. Variasi dimensi tubuh manusia sering kali menjadi faktor utama untuk menghasilkan rancangan sistem/alat yang sesuai untuk pengguna.

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 abaru 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.

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

Kini, antropometri berperan penting dalam bidang perancangan industri, perancangan pakaian, ergonomik, dan arsitektur. Dalam bidang-bidang tersebut, data statistik tentang distribusi dimensi tubuh dari suatu populasi diperlukan untuk menghasilkan produk yang optimal. Perubahan dalam gaya kehidupan sehari-hari, nutrisi, dan komposisi etnis dari masyarakat dapat membuat perubahan dalam distribusi ukuran tubuh (misalnya dalam bentuk epidemik kegemukan), dan membuat perlunya penyesuaian berkala dari koleksi data antropometrik.

Antropometri dapat dibagi menjadi 2 yaitu,

1. Antropometri Statis (struktural) : Pengukuran manusia pada posisi diam, dan linier pada permukaan tubuh.



2. Antropometri Dinamis (fungsional) : Yang dimaksud dengan antropometri dinamis adalah pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan-gerakan yang mungkin terjadi saat pekerja tersebut melaksanakan kegiatannya.

Hal-hal yang memengaruhi dimensi antropometri manusia adalah sebagai berikut,

- Umur

Ukuran tubuh manusia akan berkembang dari saat lahir sampai sekitar 20 tahun untuk pria dan 17 tahun untuk wanita. Ada kecenderungan berkurang setelah 60 tahun.

- Jenis kelamin

Pria pada umumnya memiliki dimensi tubuh yang lebih besar kecuali bagian dada dan pinggul.

- Rumpun dan Suku Bangsa
- Sosial ekonomi dan konsumsi gizi yang diperoleh

Kondisi ekonomi dan gizi juga berpengaruh terhadap ukuran antropometri meskipun juga bergantung pada kegiatan yang dilakukan.

- Pekerjaan, aktivitas sehari-hari juga berpengaruh
- Kondisi waktu pengukuran

### 2.2.2 Variabilitas Manusia

Manusia mempunyai ukuran-ukuran tubuh yang berbeda-beda. Perbedaan etnis, suku dan bangsa mempunyai cirri-ciri psikologi yang membuat mereka berbeda beda satu sama lain. Perbedaan bahkan muncul dalam kelompok yang sama menurut karakteristik dari gen yang dimiliki.

Perbedaan antara satu populasi dengan populasi yang lain adalah dikarenakan oleh factor-faktor yang mempengaruhi dimensi tubuh. Para perancang harus mempertimbangkan factor-faktor tersebut dan menyesuaikan rancangan dengan faktor tersebut. Faktor-faktor yang paling penting adalah :

### 1. 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.

### 2. 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.

### 3. Posisi Tubuh (posture)

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

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.

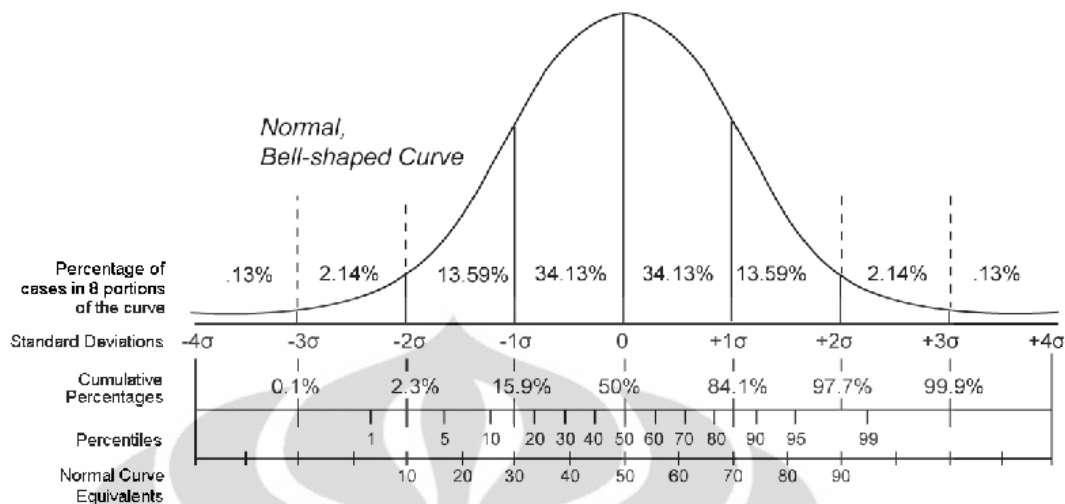
### 2.2.3 Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan

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.

### 2.2.4 Perancangan Antropometri Untuk Kondisi Ekstrim

Karena sulit untuk dapat mengakomodasi kebutuhan seluruh populasi, maka digunakan prinsip maksimum atau minimum (ekstrim) dalam perancangan. Perancangan dengan menggunakan nilai populasi maksimum digunakan apabila nilai maksimum dari suatu fasilitas dapat mengakomodasi sejumlah besar populasi. Contohnya adalah perancangan lebar dan tinggi pintu, meja kerja, lebar kursi, dll, menggunakan persentil 95 untuk dimensi tubuh yang bersesuaian dengan rancangan yang dibuat.

Strategi nilai populasi minimum diberikan kepada peralatan atau fasilitas dengan tujuan yang sama yaitu agar sebagian besar populasi dapat menggunakan fasilitas tersebut dengan nyaman. Misalnya perancangan tinggi kursi atau jarak panel-panel kontrol, menggunakan persentil 5 untuk dimensi tubuh yang bersesuaian dengan kebutuhan rancangan. Keterbatasan dari konsep perancangan ini adalah bahwa ada sebagian kecil populasi yang tidak terakomodasi oleh rancangan yang dibuat.



**Gambar 2.1 Kurva Normal Distribusi Persentil**

Dalam antropometri, angka *95-th* akan menggambarkan ukuran manusia yang “terbesar” dan *5-th percentile* sebaliknya akan menunjukkan ukuran terkecil. Bilamana diharapkan ukuran yang mampu mengakomodasi 95% dari populasi yang ada, maka disini diambil rentang 13.59%.

Prinsip perancangan produk bagi individu dengan ukuran yang ekstrim. Disini rancangan produk dibuat agar bisa memenuhi 2 (dua) sasaran produksi, yaitu :

- Bisa sesuai ukuran tubuh manusia yang mengikuti klasifikasi ekstrim dalam arti terlalu besar atau kecil bila dibandingkan dengan rata-ratanya.
- Tetap bisa digunakan untuk memenuhi ukuran tubuh yang lain (mayoritas dari populasi yang ada).
- Untuk dimensi minimum yang harus ditetapkan dari suatu rancangan produk umumnya didasarkan pada nilai persentil terbesar seperti 90, 95, atau 99 persentil.
- Untuk dimensi maksimum yang harus ditetapkan diambil berdasarkan nilai persentil yang paling rendah (persentil 1, 5, 10) dari distribusi data antropometri yang ada.

Secara umum aplikasi data antropometri untuk perancangan produk ataupun fasilitas kerja akan menetapkan nilai 5 persentil untuk dimensi maksimum dan 95 persentil untuk dimensi minimumnya.

#### 2.2.5 Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata.

Problem pokok yang dihadapi dalam hal ini justru sedikit sekali mereka yang berbeda dalam ukuran rata-rata. Berdasarkan dengan aplikasi data antropometri yang diperlukan dalam proses perancangan produk ataupun fasilitas kerja, maka ada beberapa langkah-langkah yang perlu diperhatikan yaitu :

- Anggota tubuh mana yang nantinya akan difungsikan untuk mengoperasikan rancangan tersebut.
- Menentukan dimensi tubuh yang penting dalam proses perancangan tersebut.
- Menetapkan prinsip ukuran yang harus diikuti semisal apakah rancangan tersebut untuk ukuran individual yang ekstrim, rentang ukuran yang fleksibel (*adjustable*) atau ukuran rata-rata.
- Pilih persentase populasi yang diikuti ; 90 , 95, 99 th atau nilai persentil yang lain yang dikehendaki.
- Untuk setiap dimensi tubuh yang telah diidentifikasi selanjutnya tetapkan nilai ukurannya dari tabel data antropometri yang sesuai. Aplikasikan data tersebut dan tambahkan faktor kelonggaran (*allowance*) bila diperlukan.

Data antropometri untuk penggunaan teknik paling baik digambarkan dalam persentil. Nilai-nilai ekstrim menggambarkan data keluar dan akan diabaikan dalam aplikasinya. Dengan sekumpulan data besar yang diberikan pada katateristik antropometri khusus persentil dapat diketemukan dengan mengikuti prosedur:

- Menghitung *mean* (rata-rata)
- Menghitung standar deviasi
- Menemukan faktor yang berhubungan dengan angka persentil.

Aplikasi data untuk kasus desain sesuai dengan prosedur yang berikut :

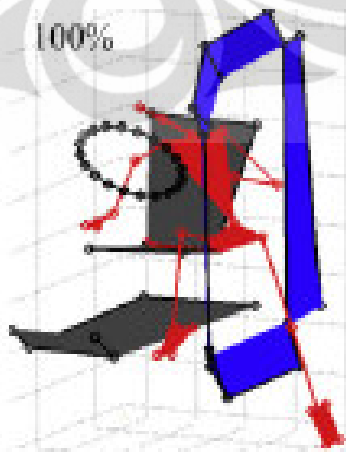
- Menemukan dimensi-dimensi tubuh yang penting dari dalam desain
- Menetapkan populasi pengguna
- Memilih perentase populasi yang akan direkomendasikan

### 2.3 Ingress dan Egress

Untuk memasuki atau meninggalkan suatu kendaraan adalah tindakan yang kompleks yang membutuhkan koordinasi gerakan artikular tubuh manusia yang kompleks. Proses ingress dan egress tergantung dari geometri dan besarnya pintu masuk. Strategi ini dapat diterapkan dalam pembuatan SOP pada suatu pekerjaan. Yang berhubungan dengan tindakan ingress dan egress.

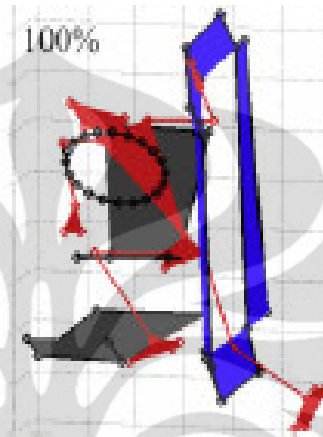
Ada berbagai cara dalam proses ingress dan egress diantaranya yaitu:

- *Median Motion Strategy*: median motion strategy merupakan sebuah gerakan masuk pintu kendaraan yang hal ini terjadi karena pintu masuk tersebut memiliki ketinggian diatas lutut rata-rata manusia dan memiliki tinggi yang tidak mencapai 1 meter. Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi pada *Median Motion Strategy*.



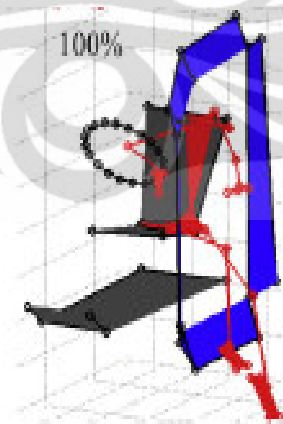
Gambar 2. 2 *Median Motion Strategy* Pada Pergerakan Ingress

- *Forward Motion Strategy* : Merupakan gerakan masuk pintu kendaraan yang terjadi karena pintu masuk tersebut memiliki ketinggian sejajar lutut rata-rata manusia dan memiliki cukup ruangan untuk melangkah pada interior sebuah pintu. Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi *Forward Motion Strategy*.



Gambar 2.3 *Forward Motion Strategy*

- *Trunk Motion Strategy* : Merupakan gerakan masuk pintu kendaraan yang terjadi karena pintu masuk tersebut memiliki ketinggian dibawah lutut rata-rata manusia. sehingga bagian belakang tubuh yang dimasukkan dalam *motion* ini. Gambar 2.4 Menunjukkan ilustrasi *Trunk Motion Strategy* pada proses inggres.



Gambar 2.4 *Trunk Motion Strategy*

## 2.4 Virtual Environment

*Virtual environment* (VE) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu representasi yang memungkinkan

penggunanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintetis sesuai dengan keadaan lingkungan nyata (Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company, h. 396). Menurut Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb *Virtual Environment* memiliki atribut seperti di bawah ini:

Dalam bidang arsitektur, VE digunakan untuk mengevaluasi desain dari struktur baru.

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

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

- Penilaian ergonomis tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja.



- Pelatihan teknisi pemeliharaan, misalnya untuk bekerja di lingkungan yang berbahaya.
- Perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi
- Pelatihan umum untuk industri, termasuk prosedur untuk pergerakan material dan penggunaan mesin pelindung.
- Diagnosa kesalahan (*error*) yang terjadi dan perbaikan dalam proses yang berlangsung di pabrik.

## 2.5 Vicon Motion Capture System

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

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

### 2.5.1 Cara Kerja Vicon System.

Sebuah ruangan *motion capture* biasanya merupakan sebuah area (*capture volume*) yang dikelilingi oleh beberapa kamera beresolusi tinggi. Setiap kamera memiliki pemancar LED yang mengelilingi lensa kamera. Sedangkan subjek yang gerakannya akan direkam, pada tubuhnya ditempelkan sejumlah markers yang reflektif terhadap cahaya di posisi yang telah ditentukan. Ketika subjek bergerak di dalam area *capture volume*, cahaya dari pemancar dipantulkan kembali ke lensa kamera, melewati pelat yang sensitif terhadap cahaya, dan kemudian menghasilkan sinyal video. *Software* Vicon Nexus mengontrol kamera dan

pemancar serta mengumpulkan sinyal-sinyal tersebut bersamaan dengan data-data lain yang terekam, seperti besaran gaya yang di dapat dari *force plate*

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

## 2.6 Software Siemens Jack

Menurut Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli dalam seminarnya Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. *In: Proceed of The 7<sup>th</sup> International Conference on “The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process” – ATA 2001, Florence* Jack adalah produk ergonomi dan faktor manusia yang memungkinkan penggunaanya untuk memposisikan model biomekanikal manusia secara akurat dalam *virtual environment*, memberikan model tersebut sebuah set tugas yang akan dikerjakan, dan menganalisis kinerja dari pelaksanaan tugas.

Beberapa kegunaan dari *software* Jack adalah sebagai berikut:

- Membuat dan memvisualisasikan *digital mock-up* dari sebuah desain
- Membuat analisis ergonomi pada desain yang dibuat
- Mempelajari manusia dalam tempat kerja yang disimulasikan
- Mengevaluasi operasi pemeliharaan
- Sebagai alat bantu dalam proses pelatihan

Model manekin pada Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan. Jack telah memperhatikan keseimbangan tubuh, mampu melakukan kegiatan berjalan, dan dapat diberikan perintah untuk mengangkat suatu benda. Model pada Jack juga memiliki “kekuatan” dan jika telah melebihi batas tertentu, maka Jack

dapat memberikan peringatan pada penggunaannya. Selain itu, pengguna Jack dapat membuat model pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran tubuh, berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Jack 6.1 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 untuk membuat model. Namun, Jack juga menyediakan formulir khusus jika pengguna ingin membuat model manekin berdasarkan data antropometri yang ingin diteliti. Gambar 2.2 menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



**Gambar 2. 5 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack**

Sumber: [http://www.siemensplmcommunity.com/featuretoctnt\\_all.php](http://www.siemensplmcommunity.com/featuretoctnt_all.php)

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

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

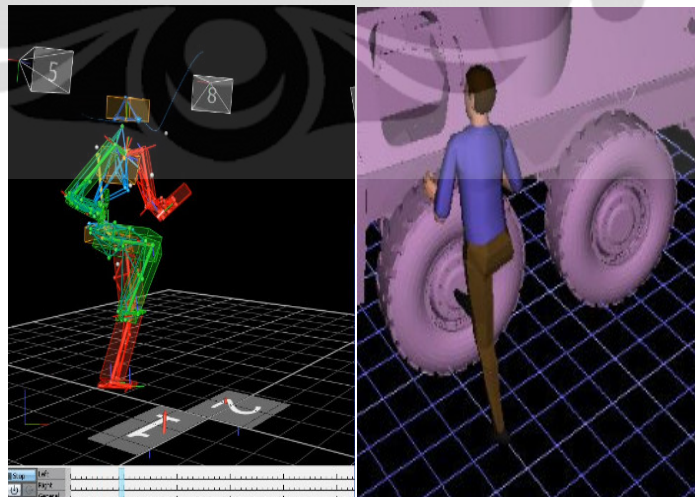
Secara umum, ada tujuh langkah yang digunakan dalam melakukan simulasi pada Jack, yaitu:

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

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

### 2.6.1 Jack Motion Capture Modules

Pada Jack versi 6.1 terdapat modul tambahan *Motion Capture* yang dapat menghubungkan peralatan *virtual reality* (VR) seperti Vicon System dengan Jack. Data-data dari peralatan VR tersebut digunakan untuk menggerakkan manekin manusia di dalam Jack. Pergerakan manekin tersebut kemudian dapat direkam sebagai *Jack channelset* dan dapat diputar ulang. Animasi manekin manusia yang dibuat menggunakan modul *Motion Capture* akan memiliki postur manusia yang realistis. Hal ini dapat memberikan pengertian mendalam mengenai bagaimana manusia mengerjakan pekerjaan atau berinteraksi dengan sebuah desain produk. Gambar 2.3 menunjukkan gambar animasi manekin manusia yang dibuat menggunakan *motion capture*.



Gambar 2. 6 Animasi Manekin Manusia yang dibuat menggunakan motion capture pada *jack Channelset*

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

1. Membuat *virtual environment* pada Jack.
2. Menghubungkan peralatan VR dengan manekin Jack
3. Membuat *virtual human*
4. Merekam gerakan *virtual human*
5. Menganalisis kinerja dari tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* dengan *Task Analysis Toolkit*.

#### 2.6.2 Jack Task Analysis Toolkit

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

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

- *Low Back Compression Analysis*, yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan yang bekerja pada tulang belakang dalam kualitas postur dan kondisi beban tertentu.

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

## 2.7 Lower Back Analysis (LBA)

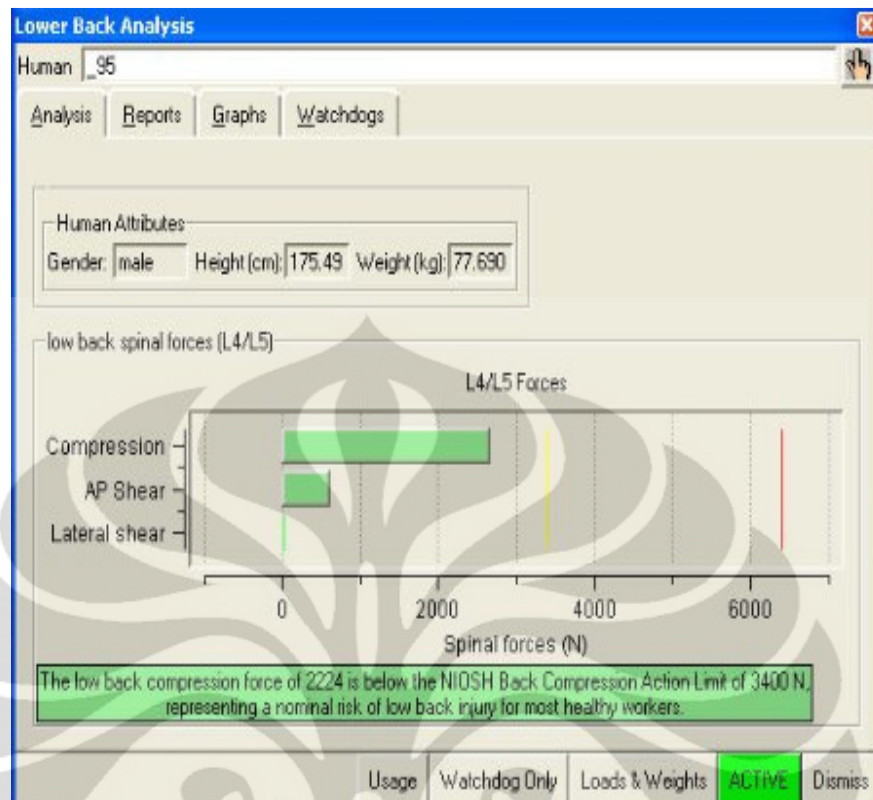
*Low Back Analysis* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan yang bekerja pada bagian tulang belakang manusia, dalam berbagai macam postur kerja, dan kondisi beban. Secara rinci, LBA

menghitung tekanan pada *vertebral disc* L4/L5 dan membandingkan pada batasan tekanan yang ada pada standar NIOSH, yaitu 3400 N.

Metode LBA dapat digunakan untuk membantu:

- Menentukan apakah kegiatan atau sub-kegiatan yang telah ada atau baru akan diterapkan pada suatu stasiun kerja telah sesuai dengan pedoman yang ada pada standar NIOSH.
- Memberikan informasi terjadinya peningkatan resiko cedera pada bagian tulang belakang manusia.
- Memperbaiki tata letak sebuah stasiun kerja beserta tugas-tugas yang akan dilakukan di dalamnya sehingga resiko cedera pada bagian tulang belakang pekerja dapat dikurangi.
- Memprioritaskan jenis-jenis kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

Sebuah contoh kotak dialog metode LBA pada *software* Jack terlihat pada gambar 2.4.

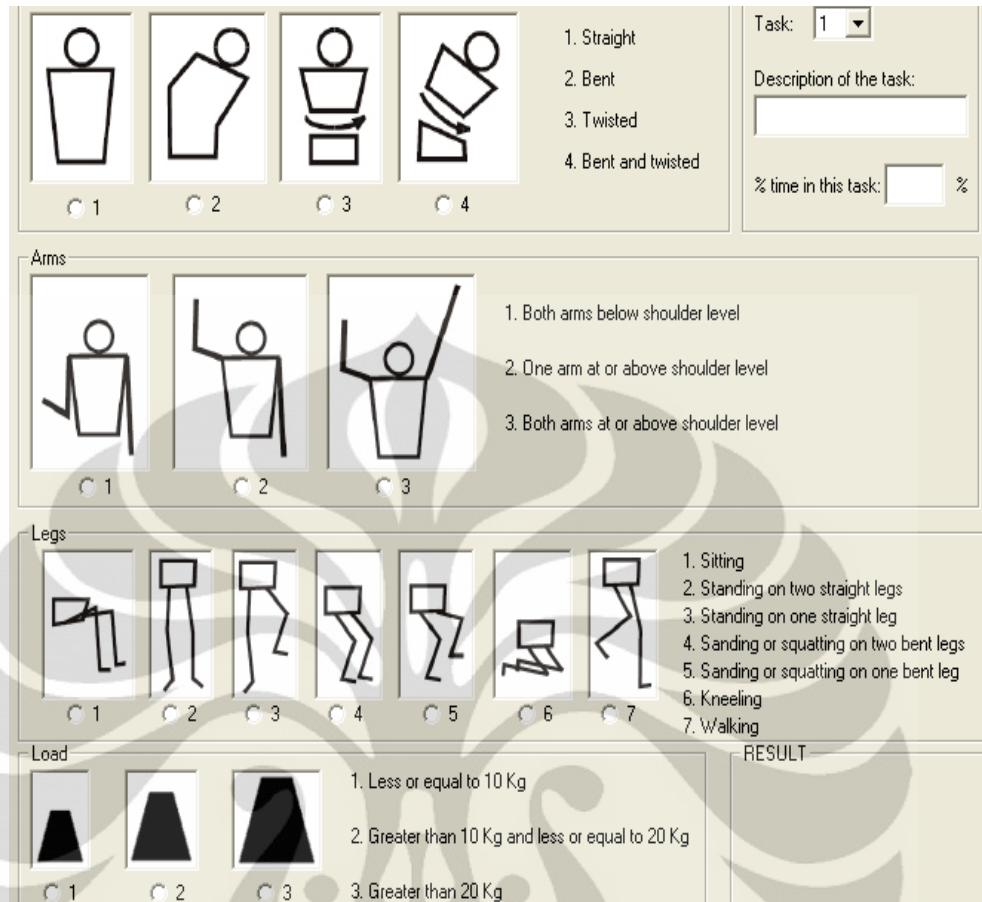


Gambar 2. 7 Kotak Dialog *Lower Back Analysis (LBA)* pada Software *Jack*

## 2.8 Ovako Working Posture Analysis (OWAS)

*Ovako Working Posture Analysis* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengecek tingkat kenyamanan pada postur kerja dan kemudian menentukan langkah-langkah koreksi yang dibutuhkan. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Ovako Oy, salah satu perusahaan industri baja di negara Finlandia pada era 1970-an. Analisis OWAS menghasilkan kode 4 digit yang digunakan untuk menilai posisi dari batang tubuh, kedua tangan, tubuh bawah, dan beban yang diterima. Sebagai contoh, jika kode yang dihasilkan analisis OWAS adalah 3241, maka kegiatan kerja yang dianalisis terdiri dari postur batang tubuh kategori 3, postur kedua tangan kategori 2, postur tubuh bawah kategori 4, dan beban kategori 1. Kategori postur pada tiap bagian tubuh dan beban yang diterima terlihat pada gambar 2.11





Gambar 2. 8 Kategori Postur Pada Tiap Bagian Tubuh dan Beban yang Diterima

Sumber <http://www.fbfsistemas.com/english/owas3.gif>

OWAS menggunakan nilai *ranking* sebagai bentuk penilaiannya akhirnya. Nilai ini menunjukkan tingkat kualitas postur secara kuantitatif dan tingkat kepentingan dari langkah-langkah koreksi yang harus dilakukan. Empat nilai yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Level 1

Postur dalam kondisi normal, tidak dibutuhkan langkah koreksi.

#### 2. Level 2

Postur memungkinkan untuk menimbulkan rasa sakit, tidak diperlukan langkah koreksi yang harus segera dilakukan, tetapi langkah koreksi mungkin dibutuhkan di masa yang akan datang.

### 3. Level 3

Postur memberikan rasa sakit, langkah koreksi harus dilakukan secepat yang dapat dilakukan.

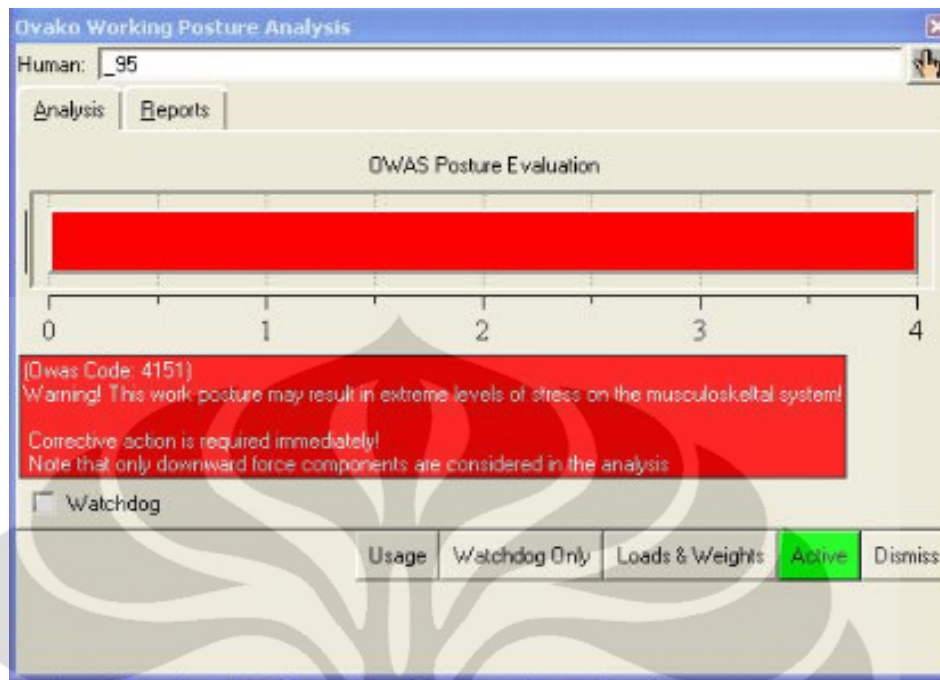
### 4. Level 4

Postur memberikan rasa sakit yang sangat, langkah koreksi harus dilakukan dengan segera. Metode OWAS dapat memberikan manfaat bagi penggunaannya yaitu:

- Memberikan penilaian terhadap suatu postur kerja dengan cepat sehingga dapat diketahui resiko-resiko cedera yang dapat terjadi.
- Membantu dalam pembuatan desain kegiatan kerja atau perbaikan dari kegiatan yang telah ada sehingga dapat tercipta suatu stasiun kerja yang lebih nyaman.
- Mengidentifikasi dan memprioritaskan postur kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

OWAS memiliki keterbatasan dalam analisis yang dihasilkannya. Metode ini mengklasifikasikan postur berdasarkan suatu evaluasi terhadap tingkat

kenyamanan dan efek kesehatan yang subjektif. Dalam melakukan hal tersebut, OWAS tidaklah memperhatikan ritme kejadian dari postur kerja yang berbeda dan juga dampak dari mempertahankan postur kerja dalam jangka waktu yang lama. Gambar di bawah menunjukkan contoh dialog OWAS pada *software* Jack:



Gambar 2. 9 Contoh Dialog Owas Pada Jack

Sumber Jack TAT Manual

## 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 penggunaanya untuk:

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

Gambar 2.7 menunjukkan contoh kotak dialog RULA pada *software jack*

Gambar 2. 10 Contoh Kotak Dialog RULA Pada *Software Jack*

Sumber: Jack TAT Manual

## 2.10 Metode Posture Evaluation Index (PEI)

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

### 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.

#### 2.10.4 Fase Keempat: *Low Back Analysis*

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

#### 2.10.5 Fase Kelima: Ovako Working Posture Analysis

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

#### 2.10.6 Fase Keenam: Rapid Upper Limb Assessment

Dari skenario konfigurasi yang diajukan, prosedur mengeliminasi secara progresif kegiatan kerja pada konfigurasi yang: 1) tidak memungkinkan untuk mengakses titik-titik kritis, 2) tidak mampu dilakukan oleh populasi pekerja yang ada 3) sangat memungkinkan memberikan bahaya dan cedera pada bagian tulang

belakang. Pada fase kelima, kualitas dari postur kerja dianalisis. Analisis ini mengacu pada keberadaan resiko terjadinya penyakit dan atau bahaya yang dapat timbul pada tubuh bagian atas. Resiko tersebut diberikan nilai antara 1 s.d. 7. Nilai tersebut mengindikasikan tingkat bahaya dari resiko beserta langkah korektif yang harus dilakukan.

#### 2.10.7 Fase Ketujuh: Evaluasi PEI

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").

$$PEI = I_1 + I_2 + mr.I_3$$

dimana:

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

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

Untuk memastikan tingkat kenyamanan dari kerja, dengan memperhatikan standar keamanan dan keselamatan, sebuah postur yang nilai *T1*-nya lebih dari atau sama dengan 1 akan diasumsikan tidak absah. Berdasarkan hal ini, nilai maksimal yang dapat diterima adalah 3 (kekuatan tekanan yang bekerja pada *lumbar disc* L4/L5 sama dengan batas pada standar NIOSH 3400 N, nilai dari sudut sendi tidak dapat diterima). Dengan mengulangi semua fase di atas untuk tiap konfigurasi, maka nilai ergonomi dari tiap konfigurasi dapat ditentukan, dan akhirnya, kegiatan kerja yang paling optimal dalam konfigurasi dapat dipilih.

## 2.11 Kendaraan Tempur

### 2.11.1 Tank

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



Gambar 2. 11 Kendaraan Tempur tank

### 2.11.2 Panser / Kendaraan Tempur Beroda (*Wheeled Armoured Vehicles*)

Sesuai dengan namanya Kendaraan Tempur Beroda (Panser) merupakan kendaraan lapis baja yang bergerak menggunakan ban berbentuk roda biasa. Dengan adanya spesifikasi seperti ini menjadikan kendaraan ini lebih lincah dalam medan pertempuran. Jika armada tank cenderung dikerahkan untuk perang konvensional. *Wheeled Armoured Vehicle* lebih diset untuk perang kota dan misi-



misi antigerilyawan. Maka ketika dalam sepuluh tahun terakhir potensi perang konvensional menyusut, sementara perang kota kian merebak di berbagai tempat, sang panser ranpur beroda ban menjadi kian banyak diperbaharui dan diproduksi.

Dari segi jumlah *wheeled* yang ada. Kendaraan Tempur Beroda ini dapat dibedakan menjadi tiga.

- *4x4 Wheeled Armoured Vehicle* : Kendaraan ini memiliki total roda 4 (gambar 2.9). Biasanya dapat mengangkut personel sebanyak 5-8 orang.



**Gambar 2. 12: 4x4 Wheeled Armoured Vehicle**

Sumber:

[http://www.resims.net/data/media/61/cobra\\_photo\\_007.jpg&imgrefurl=http://z3.invisionfree.com/Defense\\_Philippines/](http://www.resims.net/data/media/61/cobra_photo_007.jpg&imgrefurl=http://z3.invisionfree.com/Defense_Philippines/)

- *6x6 Wheeled Armoured Vehicle* : Kendaraan ini memiliki total roda sebanyak 6. Biasanya dapat mengangkut 10-12 personel. Merupakan tipe panser yang berukuran sedang. Panser anoa buatan pindad sekarang ini merupakan panser tipe 6x6 (Gambar 2.10)



**Gambar 2. 13: 6x6 Wheeled Armoured Vehicle**

- **8x8 Wheeled Armoured Vehicle** : Kendaraan ini memiliki total roda sebanyak 8. Biasanya dapat mengangkut 15-20 personel. Merupakan tipe panser yang berukuran besar.



**Gambar 2. 14: 8x8 Wheeled Armoured Vehicle**

## BAB 3

### PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA

#### 3.1 Pengumpulan Data

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

##### 3.1.1 Data Spesifikasi Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

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

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

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

### 3.1.2 Data Antropometri Tentara Nasional Indonesia

Data antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) adalah data mahasiswa Tentara Nasional Indonesia dari Batalyon Infanteri Mekanis 201/Jaya Yudha. Pemilihan Batalyon ini representatif dengan penelitian dikarenakan batalyon ini merupakan Batalyon Mekanis satu-satunya yang ada di satuan jajaran TNI. Adapun perbedaan yang paling menonjol dari Batalyon Infanteri ini adalah penggunaan Kendaraan Tempur berupa panser. mempunyai tugas pokok untuk melaksanakan pertempuran jarak dekat di darat dengan menggunakan kendaraan tempur angkut lapis baja guna mencari, mendekati, menghancurkan dan menawan musuh serta merebut, menguasai dan mempertahankan medan baik berdiri sendiri maupun dalam hubungan yang lebih besar dalam rangka mendukung tugas pokok Brigade Infanteri ataupun Komando Utama.

Data Antropometri tersebut diperoleh dengan cara melakukan pengukuran langsung terhadap anggota Tentara Nasional Indonesia.

Gambar 3. 1 dan 3. 2 Menunjukkan Proses Pengukuran Antropometri TNI.



Gambar 3. 1 Anggota TNI Dikumpulkan Untuk Bersiap Melakukan Pengukuran



Gambar 3. 2 Anggota TNI Diukur Anggota Badannya

Pengambilan data antropometri TNI ini diambil oleh 5 orang operator. Untuk mempersingkat waktu pengambilan data, dimensi antropometri diambil dalam satuan sentimeter (cm) dan untuk berat badan diukur dalam satuan kilogram (kg).

### 3.1.3 Data Postur dan Perekaman Ingress Pengendara Kendaraan Tempur

Perekaman postur dan gerakan pengguna dalam memasuki pintu masuk kendaraan tempur ini dilakukan dengan peralatan *motion capture* dari Vicon. Data postur dan gerakan yang didapat dari perekaman memasuki pintu masuk kendaraan tempur ini akan dijadikan *input* untuk mensimulasikan manekin (*virtual human*) dalam memasuki *virtual* Panser pada simulasi menggunakan *software* Jack 6.1. Dengan demikian, *virtual human* akan bergerak persis dengan apa yang dilakukan manusia sebenarnya. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal ada beberapa tahap yang harus dilakukan dalam proses *motion capture* yaitu :

1. *Layout Setting*
2. Mengkalibrasi System
3. Mempersiapkan Subjek
4. Melakukan Proses *motion capture*
5. Melakukan Editing Pada Hasil *Motion Capture*

### 3.1.3.1 Layout Setting

Ini merupakan tahapan pertama dalam melakukan proses *motion capture* untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada *virtual environment* subjek harus dibuat seolah-olah melakukan tindakan seperti pada keadaan aslinya yang dalam hal ini adalah masuk panser. Untuk membentuk gerakan ini pintu yang ada pada panser dibuat dari frame kayu dan tinggi dan kemiringannya diukur sedemikian mungkin hingga seperti pada keadaan sebenarnya. Gambar 3. 3 merupakan gambaran layout virtual pada proses *motion capture*.



**Gambar 3. 3 Layout Virtual Pada Proses *Motion Capture***

Design pintu ini dibuat dengan cara melakukan pengukuran pada design pintu sebenarnya yang terdapat pada kendaraan tempur ini. Tingginya pun disesuaikan dengan tinggi kendaraan tempur yang ada. Sehingga model yang akan dikerjakan menjadi sangat representatif. Gambar 3. 4 merupakan gambar asli dari pintu masuk yang telah diukur



Gambar 3. 4 Pintu Masuk Panser Keadaan Sebenarnya

Dengan melakukan settingan layout seakan-akan terlihat seperti keadaan sebenarnya langkah selanjutnya dalam melakukan proses *motion capture* dapat dilakukan.

#### 3.1.3.2 Mengkalibrasi System

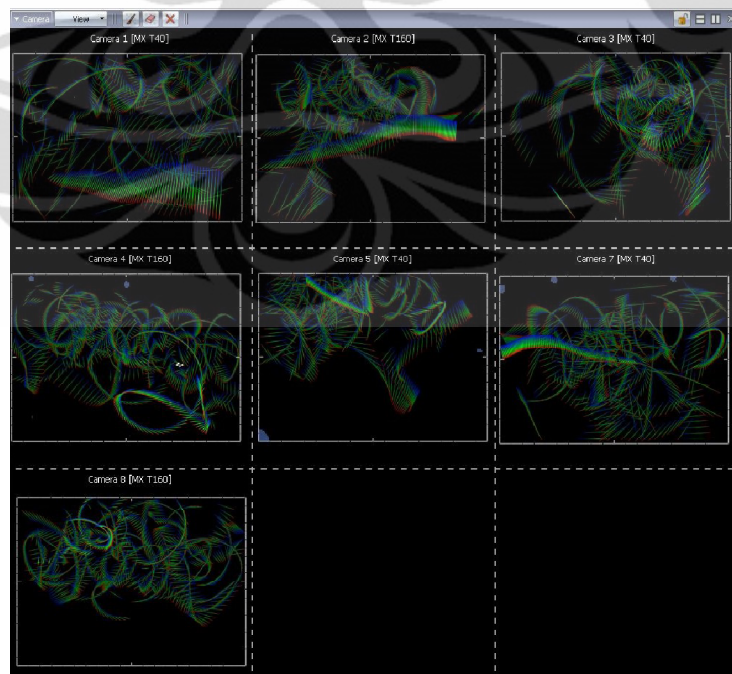
Proses Kalibrasi digunakan agar peralatan vicon dapat berjalan baik dan proses perekaman dapat terjadi seperti keadaan nyatanya. Kalibrasi Vicon Sistem menggunakan 2 jenis alat, yaitu *wand* dan *L-frame*. Jenis *wand* yang dipakai adalah *3-marker wand (240mm)* dan untuk *L-frame* adalah *ErgoCal L-Frame (14mm)*.

Kalibrasi Dimulai dengan melakukan penutupan-penutupan cahaya pada ruangan *vicon*. Cahaya-cahaya ini dianggap sebagai *noise* karena dapat mengganggu proses perekaman. Semakin sedikit *noise* yang ada, semakin bagus hasil rekaman pada *vicon*. Setelah melalui proses *masking*, dilanjutkan dengan kalibrasi kamera MX dengan menggunakan *3-marker wand (240mm)*. *Wand* tersebut diputar-putar seperti Gambar 3.5 mengelilingi area perekaman sehingga kamera MX dapat mengenali

*markers* dalam area perekaman. Pada *software* Vicon Nexus 1.5.1 akan terlihat seperti Gambar 3.6 ketika dilakukan proses kalibrasi kamera MX.



**Gambar 3. 5 Proses Kalibrasi Dengan Wand**



**Gambar 3. 6 Tampilan Wand Pada Vicon Nexus**



Setelah dilakukan kalibrasi kamera MX, dilakukan proses *Set Volume Origin*. Hal ini dilakukan untuk menetapkan arah X, Y, dan Z pada *virtual environment*. Pada Gambar 3.7 dapat dilihat peletakan *ErgoCal L-Frame (14mm)* sebagai titik awal (*origin*) dan pada Gambar 3.8 dapat dilihat tampilan sebelum dan sesudah proses *Set Volume Origin*.



**Gambar 3. 7 L-Frame Pada Area Perekaman**

### 3.1.3.3 Mempersiapkan Subjek

Subjek ini merupakan subjek manusia yang akan direkam gerakannya pada kamera vicon nexus. Subjek manusia yang akan direkam akan ditempel *markers* pada titik-titik tertentu sehingga gerakannya dapat terdeteksi oleh Vicon Nexus, untuk selanjutnya dianalisa pada *software jack*. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat titik-titik tempat *markers* ditempelkan dan penamaannya. Sedangkan ilustrasi penempatan *markers* pada subjek manusia dapat dilihat pada Gambar 3.8.

NO	Label	Penempatan
1	TopHead	ubun-ubun
2	BackHead	bagian tengah belakang kepala
3	FrontHead	kening bagian atas
4	LHead	atas telinga kiri
5	RHead	atas telinga kanan sedikit ke depan
6	RShoulder	tengah bahu kanan
7	LShoulder	tengah bahu kiri

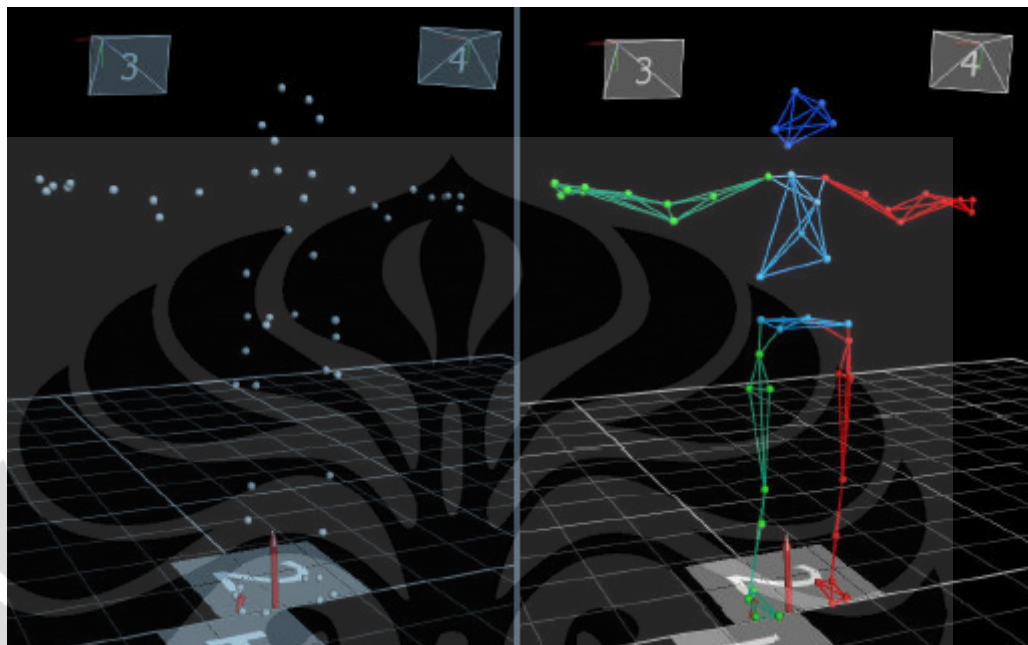
8	BNeck	belakang leher
9	Sternum	ujung tulang dada dekat perut
10	LBack	tonjolan belikat kiri
11	RBack	ujung tulang rusuk bagian belakang
12	RBicep	tengah lengan kanan
13	RElbow	siku kanan bagian luar
14	RPostElbow	siku kanan bagian dalam
15	RForeArm	tengah tangan kanan
16	RRadius	pergelangan tangan kanan searah ibu jari
17	RUlna	pergelangan tangan kanan searah kelingking
18	Rthumb	pangkal ibu jari tangan kanan
19	RMHand	tengah metakarpal kanan
20	Rpinky	pangkal jari kelingking tangan kanan
21	LBicep	tengah lengan kiri
22	LElbow	siku kiri bagian luar
23	LPostElbow	siku kiri bagian dalam
24	LForearm	tengah tangan kiri
25	LRadius	pergelangan tangan kiri searah ibu jari
26	LUlna	pergelangan tangan kiri searah kelingking
27	LThumb	pangkal ibu jari tangan kiri
28	LMHand	tengah metakarpal kiri
29	LPinky	pangkal kelingking tangan kiri
30	Clav	pangkal tulang dada dekat leher
31	RASIS	tonjolan depan tulang panggul kanan
32	LASIS	tonjolan depan tulang panggul kiri
33	RPSIS	tonjolan belakang tulang panggul kanan
34	LPSIS	tonjolan belakang tulang panggul kiri
35	Sacrum	punggung sejajar RPSIS dan LPSIS
36	Rhip	pangkal paha kanan
37	LHip	pangkal paha kiri
38	RThigh	paha kanan bagian depan
39	RPostThigh	paha kanan bagian belakang
40	RKnee	lutut kanan
41	RShank	betis kanan
42	RAnkle	mata kaki kanan
43	RHeel	tumit kanan
44	RToe	pangkal ibu jari kaki kanan
45	RLatFoot	pangkal kelingking kaki kanan
46	LThigh	paha kiri bagian depan
47	LPostThigh	paha kiri bagian belakang
48	LKnee	lutut kiri
49	LShank	betis kiri
50	LAnkle	mata kaki kiri

51	LToe	pangkal ibu jari kaki kiri
52	LHeel	tumit kiri
53	LlatFoot	pangkal keliling kaki kiri

Tabel 3. 1 Susunan *Markers*Gambar 3. 8 Ilustrasi Penempatan *Markers*

Setelah semua *marker* diletakkan pada subjek Vicon siap dijalankan dan dikalibrasi untuk mengenal *markers* pada subjek. Pada proses ini Vicon Nexus akan merekam posisi statis dari subjek yang akan direkam gerakannya. Posisi statis subjek yaitu dengan berdiri di tengah area perekaman dengan posisi huruf T (*T-Pose*). Hal ini dilakukan agar ketika dilakukan perekaman gerakan yang dinamis, *software* Vicon Nexus dapat mengenali masing-masing *markers* yang dilekatkan pada titik-titik tubuh.

Selanjutnya Vicon mulai merekam *T-Pose* selama 1-5 detik yang berfungsi sebagai pengenalan vicon terhadap *marker-marker* yang ingin disatukan. Data posisi tersebut kemudian di rekonstruksi dan disatukan. Gambar 3.9 merupakan ilustrasi rekonstruksi *markers* pada vicon.



Gambar 3. 9 Rekontruksi *Markers* Pada Vicon

#### 3.1.3.4 Melakukan Proses *motion capture*

Setelah layout disusun, subjek pun siap direkam dan sistem telah dikalibrasi, maka saatnya untuk melakukan proses *motion capture* Masuk Pintu Kendaraan Tempur ini Tipe APC. Perekaman dapat dilakukan sebanyak-banyaknya secara cepat karena secara otomatis sesi perekaman akan berganti ketika tombol *Stop* diklik. proses perekaman memang sebaiknya direkam secepat mungkin karena pada saat-saat tertentu terkadang Vicon mengalami beberapa masalah dalam perekaman. Sehingga sebanyak apapun proses perekaman boleh dilakukan.

#### 3.1.3.5 Melakukan Editing Pada Hasil *Motion Capture*

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

Data gerakan tersebut direkonstruksi dan dilabel secara otomatis. Pada Prosesnya terkadang terdapat *markers* yang salah penempatan dan hilang sehingga kerangka manusia menjadi aneh. Disinilah perlunya proses *Labelling* secara manual dimana *markers* yang hilang dan salah penamaan dibetulkan sehingga kerangka manusia menjadi semestinya dan dapat diolah lebih lanjut di *software* Jack. Setelah proses *Labelling* ini, data postur dan gerakan mengendarai sepeda motor berupa kerangka manusia telah siap untuk diolah menjadi *virtual human* pada *software* Jack 6.1.

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

1. Membuat lingkungan virtual (*virtual environment*).
2. Memasukkan data postur statis manusia
3. Membuat manekin (*virtual human*)
4. Menyatukan manekin dengan data postur statis manusia
5. Menjalankan simulasi dalam *virtual environment*
6. Menganalisis performa manekin manusia
7. Melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI)

#### 3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual (*virtual environment*)

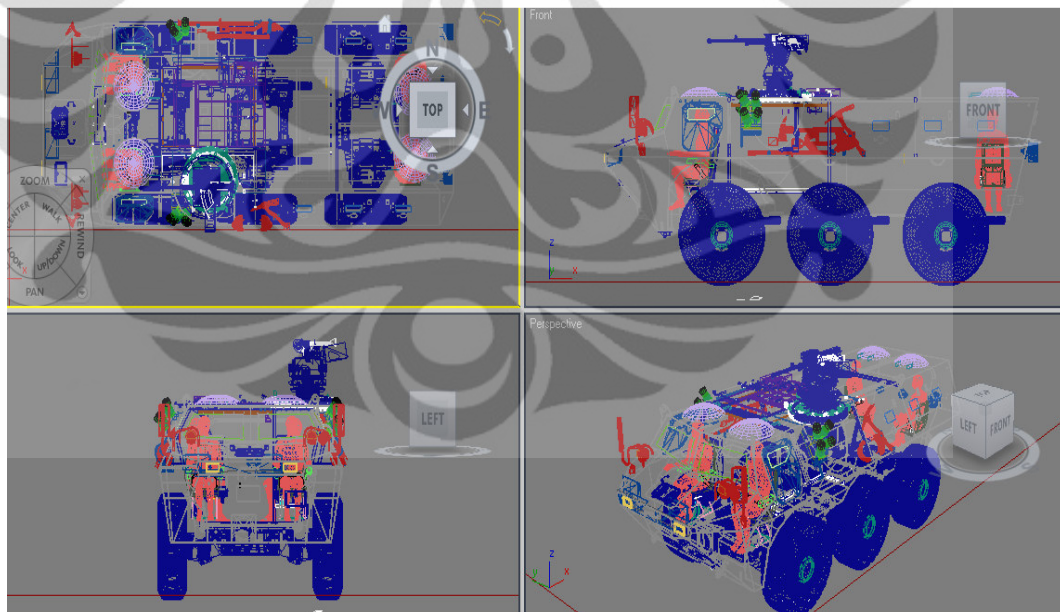
Tahapan awal dari pengolahan data menggunakan *software* Jack 6.1 adalah membangun lingkungan virtual. Lingkungan virtual yang ada pada penelitian ini adalah model Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.

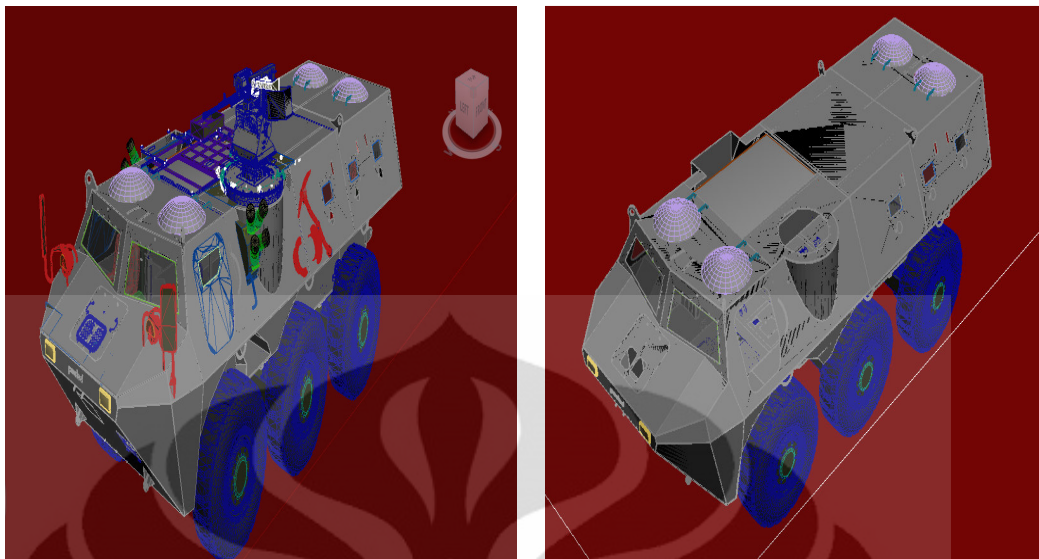
Model Kendaraan Tempur ini dibuat dengan menjadikan data spesifikasi Kendaraan Tempur yang telah diukur langsung dan *blueprint* (gambar 3.1) sebagai acuan. Pembuatan kedua model tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* 3 DS Max, NX 6, Autocad. Pemilihan *software* ini dikarenakan banyaknya fitur-fitur yang harus dimuat pada setiap *software*. Banyaknya desain grafis yang berbasis vektor sehingga perlu ada penambahan pada setiap *software*. Selain itu untuk memudahkan proses pemasukkan model ke *software* jack, Sehingga *software* ini digunakan.

#????????????????????#

**Gambar 3. 10 *Blueprint* Kendaraan Tempur Lapis Baja APC**

Gambar 3.11, 3.12, merupakan gambar hasil design pada software *Computer Aided Design*.

**Gambar 3. 11 Hasil *Computer Aided Design***

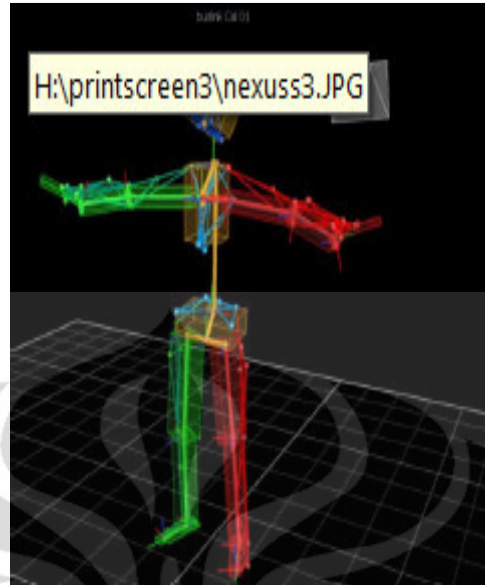


Gambar 3. 12 Hasil *Computer Aided Design*

Setelah model kendaraan tempur dibuat, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan model tersebut ke dalam *software* Jack 6.1. Sebelum dimasukkan, model kendaraan tempur tersebut harus dikonversi menjadi berformat stl (\*.stl). Konversi dimulai pada *software* Autocad dikonversi ke format 3DS MAX (\*.max). Setelah itu file tersebut kembali dikonversi ke format stl (\*.stl) dalam *software* 3DS Max agar dapat dibuka dalam Jack 6.1. Pada prosesnya beberapa bagian dari design harus dilepas karena faktor beratnya design ketika melakukan konversi ke format stl (\*.stl).

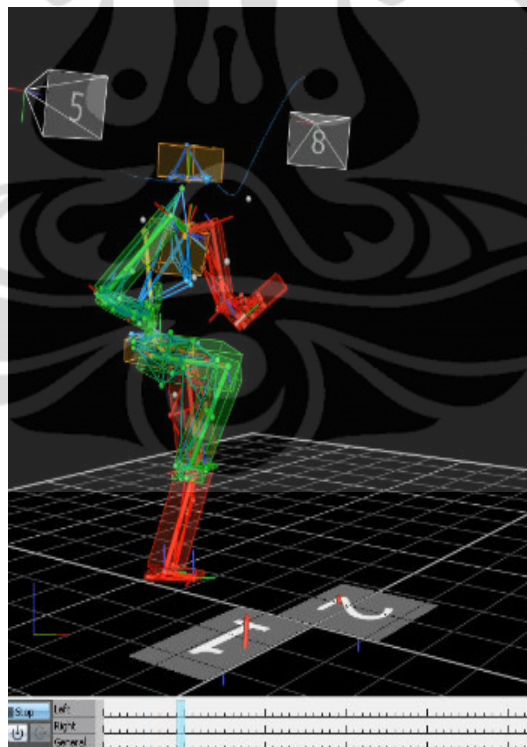
### 3.2.2 Memasukkan Data Postur Statis Manusia

Data postur statis manusia digunakan sebagai kunci bagi manekin agar dapat bergerak sesuai gerakan sebenarnya. Pada proses ini, *software* Vicon Nexus dan Jack saling berhubungan. Pada *software* Vicon Nexus pertama kali dibuka data postur *T-pose* yang telah dilabel. Pada *tab Processing* dijalankan *pipeline Static Subject Calibration* dan *Fit Subject Motion* dan klik *Play*. Setelah *pipeline* dijalankan, maka data postur siap untuk ditranslasikan ke *software* Jack 6.1 dengan menggunakan modul *motion capture* untuk Vicon. Jika *software* Vicon Nexus dan Jack berhasil terkoneksi maka akan terlihat segmen-segmen tubuh menyerupai *T-pose* pada Jack. Segmen-segmen tersebut dapat diganti menjadi tampilan *markers* ataupun dihilangkan tergantung kemauan.



Gambar 3. 13 Tampilan *Nexus* Setelah Dijalankan *Pipeline*

Gambar 3.14 merupakan gambar *pipeline* yang sudah dijalankan untuk selanjutnya dapat di gunakan pada *jack*.



Gambar 3. 14 Tampilan *Pipeline* yang sudah dijalankan



### 3.2.3 Membuat Manekin (Virtual Environment)

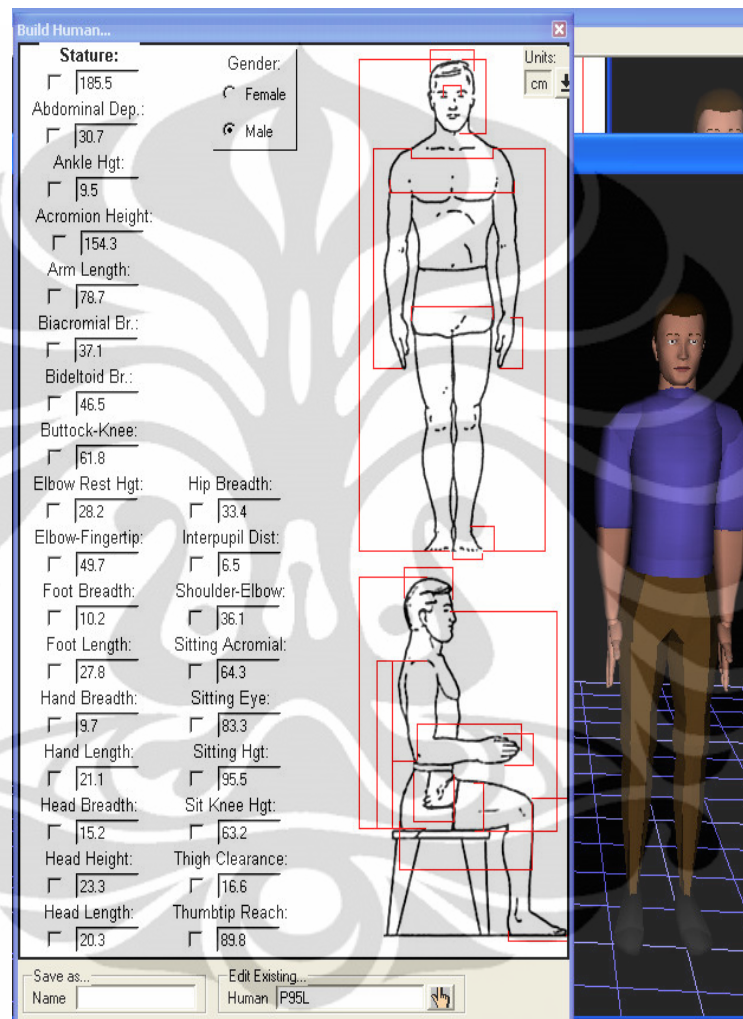
Setelah postur tubuh *T-pose* telah dimasukkan, maka langkah selanjutnya adalah membuat manekin (*virtual human*). Membuat manekin akan berdasarkan data antropometri mahasiswa yang sudah ada. Manekin pada *software* Jack 6.1 terdiri dari 71 segmen, 69 persendian, serta 135 derajat kebebasan. Dalam mendefinisikan bentuk dan ukuran dimensi tubuh manekin manusia, *software* Jack 6.1 menyediakan *database* antropometri yang mengacu pada ANSUR (*Army Natick Survey User Requirement*) sebagai *default*. Namun demikian *software* Jack 6.1 juga menyediakan menu tersendiri yang memungkinkan pengguna untuk membuat manekin dengan data antropometri tertentu.

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

Selain dengan metode *basic scaling*, *software* Jack 6.1 juga menyediakan metode *advanced scaling* dalam mendefinisikan dimensi dan bentuk tubuh manekin. Perbedaannya bila dibandingkan dengan *basic scaling* adalah *advanced scaling* memungkinkan pengguna untuk memasukkan data ukuran tubuh secara lebih detail, seperti tampilan yang tercantum pada gambar 3.15.

Manekin pada simulasi ini dibuat dengan cara *basic scaling*, yaitu dengan memasukkan nilai tinggi badan dan berat badan. Nilai tinggi dan berat badan untuk untuk persentil 95 memiliki tinggi 174 cm dan 66,05 kg. persentil tersebut berdasarkan data antropometri TNI yang sudah dikumpulkan. Pemilihan persentil 95 sebagai data antropometri yang dimasukkan dilakukan dengan pertimbangan bahwa desain untuk Pintu masuk erat kaitannya dengan akses masuk (*accessibility*) yang diasumsikan jika orang dengan persentil 95 dapat masuk maka persentil 5 juga akan semakin mudah untuk melakukan proses masuk pintu kendaraan ini. Dengan demikian, pemilihan persentil 95 dilakukan untuk mengatasi kesulitan pengguna dengan persentil 5. Setelah dilakukan perubahan pada antropometri manekin maka manekin akan memiliki bentuk dan dimensi tubuh yang lengkap dan sesuai karena kemampuan *software* Jack 6.1 dalam

memprediksi ukuran tubuh manusia seutuhnya secara regresi berdasarkan tinggi badan dan berat badan dengan mengacu pada *database* antropometri yang dimiliki oleh *software* Jack 6.1.

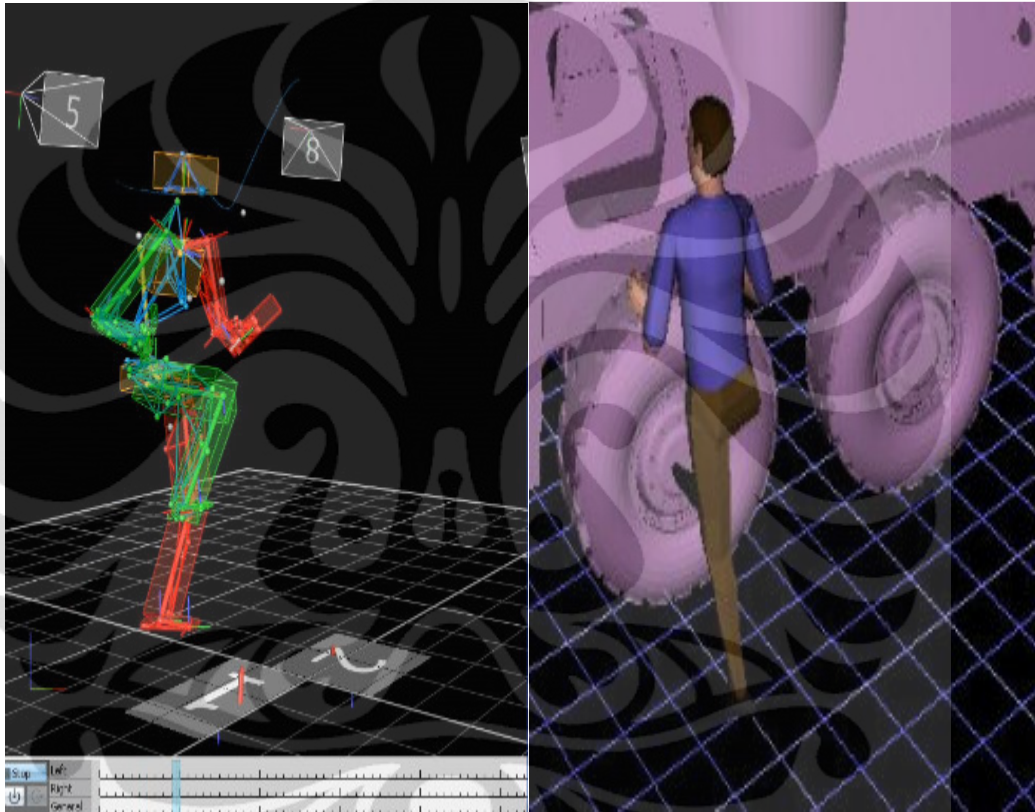


**Gambar 3. 15** Ilustrasi *Advance Scalling* pada Jack

### 3.2.4 Menyatukan manekin dengan data postur statis manusia

Pada proses ini manekin yang telah dibuat akan digabungkan dengan segmen Vicon yang juga telah dimasukkan. Pertama adalah dengan memasang manekin pada segmen yang akan disatukan melalui *Add Pair*, yaitu hanya dengan memilih manekin mana yang akan dipasang.

Manekin akan otomatis mengikuti pose huruf T sesuai segmen dengan menekan *Capture T-pose Offset* pada *tab Subject* menu modul Vicon. Pose T tersebut akan mengunci pada manekin dengan menekan *Constraint*. Setelah kembali ke *tab Device* dan menekan *Start*, maka manekin akan mengikuti gerakan-gerakan sesuai yang diputar pada Vicon Nexus seperti pada Gambar 3.16.



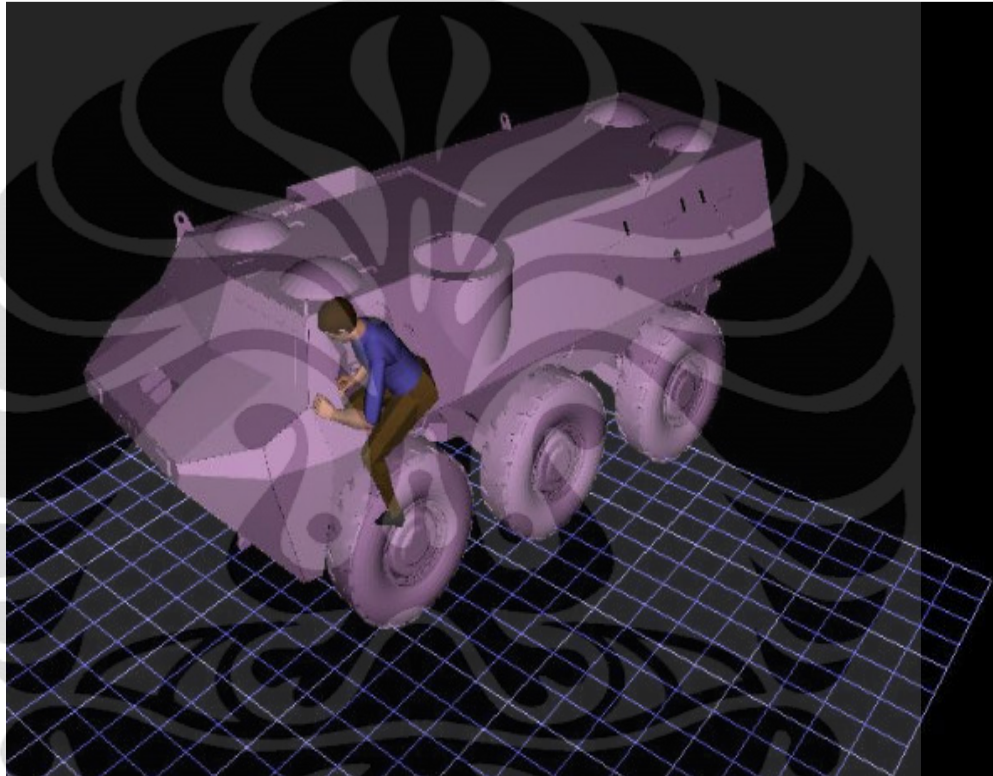
Gambar 3. 16 Ilustrasi Manekin Mengikuti Vicon

### 3.2.5 Menjalankan simulasi dalam *virtual environment*

Simulasi dimulai membuka data gerakan yang akan dijalankan pada *Data Management* Vicon Nexus. Setelah dibuka, pipeline *Fit Subject Motion* dijalankan dan data gerakan juga dijalankan sehingga manekin pada Jack akan mengikuti gerakan tersebut. Selanjutnya dimasukkan objek kendaraan tempur ke dalam *virtual environment*. diposisikan seperti keadaan sebenarnya dan kemudian dikunci sehingga akan mengikuti gerakan manekin.

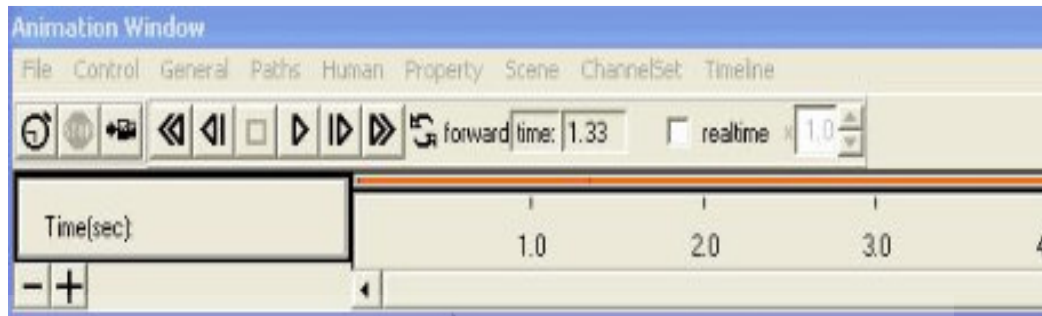
Simulasi secara *online* antara Vicon Nexus dan Jack telah dilakukan. Selanjutnya agar mempermudah menganalisis gerakan tersebut, maka simulasi

*online* ini disimpan dalam bentuk animasi dengan modul *Recording*. Simulasi tersebut akan tersimpan dalam bentuk *virtual environment* dan *channelset*. *Channelset* merupakan animasi yang secara otomatis terbuat dari gerakan-gerakan manekin tersebut. Simulasi yang telah disimpan dapat diputar kembali lewat modul *Playback* tanpa harus online dengan *software* Vicon Nexus seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Object Kendaraan Tempur dan Manekin Pada *Virtual Environment*

Gambar 3.18 menunjukkan tampilan *channelset Data* pada Jack. Tampilan ini akan menunjukkan berapa lama durasi perekaman dari perekaman vicon yang dilakukan.



Gambar 3. 18 Tampilan *channelset* Pada Jack

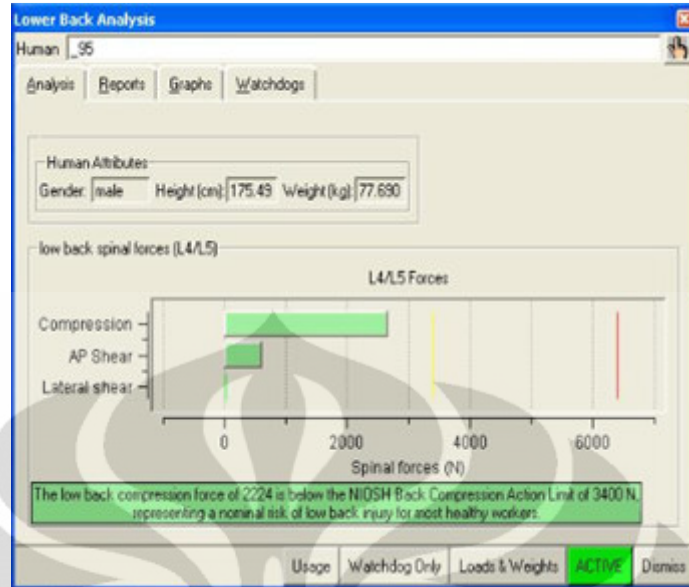
### 3.2.6 Menganalisis performa manekin manusia

Analisis postur dan gerakan manekin dilakukan menggunakan *Task Analysis Toolkits* (TAT) bersamaan dengan menjalankan animasi. Karena keluaran yang dihasilkan TAT merupakan grafik atau bagan yang menunjukkan nilai *Static Strength Prediction* (SSP), *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) secara *realtime*, maka perlu diperhatikan dengan seksama perubahan nilai-nilai tersebut saat simulasi dijalankan. Nilai paling kritis (paling membahayakan) selama simulasi dijalankan kemudian dicatat untuk dimasukkan ke dalam perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI).

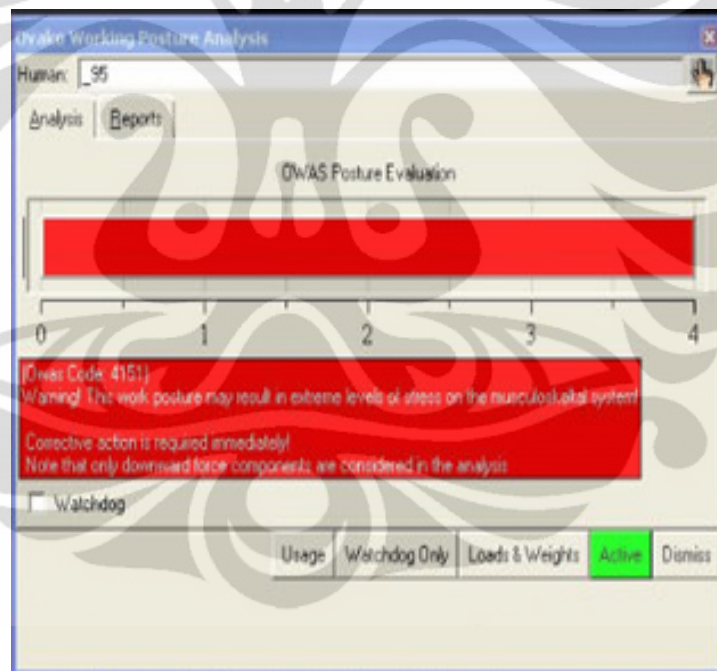
Dari hasil *Task Analysis Toolkits* untuk konfigurasi, diperoleh nilai seperti yang terlihat pada Tabel 3.2 di bawah ini. Gambar 3.31 sampai dengan Gambar 3.38 merupakan tampilan keluaran *Task Analysis Toolkits* (TAT) untuk konfigurasi 1.

NO	LBA	OWAS	RULA	PEI
1	2224	4	7	3,074

Tabel 3. 2 Data Hasil Jack TAT Pada Konfigurasi Aktual



Gambar 3. 19 Grafik Hasil LBA



Gambar 3. 20 Grafik Hasil OWAS

Gambar 3. 21 Grafik Hasil RULA

### 3.2.7 Melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI)

langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). Hanya nilai paling kritis (paling membahayakan) yang akan dimasukkan dalam perhitungan ini. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan untuk mengevaluasi postur dan gerakan paling membahayakan yang mungkin terjadi pada saat melakukan pergerakan masuk kendaraan tempur lapis baja APC berdasarkan simulasi dalam *virtual environment* yang telah dibuat. Dengan memfokuskan analisis pada titik kritis, maka dengan begitu hasil analisis terhadap simulasi dapat mengukur resiko terburuk yang dialami oleh pengendara ditinjau dari aspek ergonominya.

Menurut Persamaanya jika dihitung secara manual maka nilai PEI nya adalah:

Nilai PEI dari konfigurasi 1

$$\begin{aligned} \text{PEI} &= 2224 \text{ N}/3400\text{N} + 4/4 + 7/7 \cdot 1,42 \\ &= 3,074 \end{aligned}$$

Nilai PEI ini selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai PEI untuk konfigurasi lainnya. Setelah itu akan diambil konfigurasi yang memiliki nilai PEI terkecil sebagai dasar pertimbangan dalam membuat rekomendasi desain Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.

### 3.3 Perancangan Konfigurasi

Perancangan konfigurasi model diperlukan untuk menentukan desain pintu masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja APC seperti apa yang lebih ergonomis berdasarkan nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI dari masing-masing konfigurasi nantinya akan dibandingkan satu sama lain, lalu dicari konfigurasi yang memiliki nilai PEI terkecil sebagai acuan pemilihan design pintu terbaik.

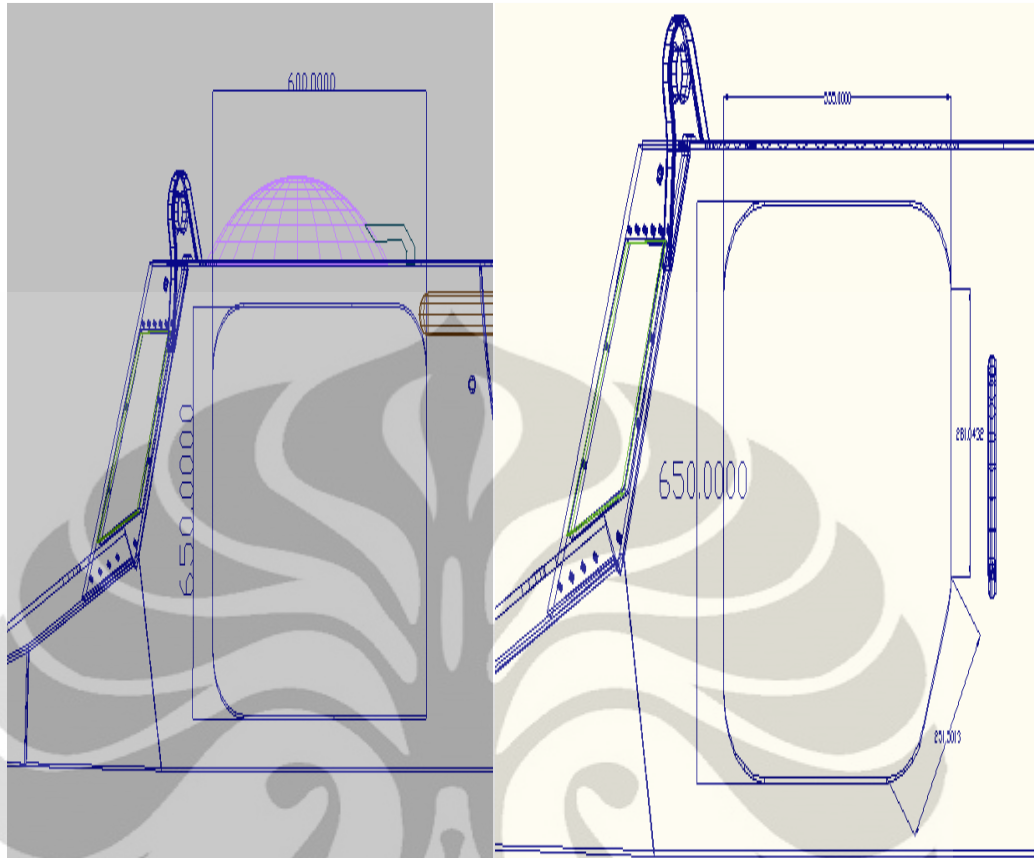
Perancangan konfigurasi ini dilakukan berdasarkan wawancara terhadap pengguna panser dan terhadap variabel-variabel yang sudah ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan ada dua, yaitu tinggi dan lebar.

Konfigurasi	Panjang	Lebar	Keterangan
1	55 cm	65 cm	AKTUAL
2	60 cm	65 cm	REDESAIN
3	Mengikuti Keseluruhan Kerangka Dengan Menggunakan <i>Wingdoor</i>		REDESAIN

Tabel 3. 3 Konfigurasi Redesain

Dalam Perancangan konfigurasi ini yang selanjutnya dilihat adalah Panjang, Lebar dan Tinggi Kendaraan Tempur ini Secara Aktual. Gambar 3.22 merupakan ilustrasi perancangan konfigurasi yang akan dibuat.





Gambar 3. 22 Ilustrasi Perancangan Konfigurasi

### 3.3 Verifikasi dan Validasi

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat berhasil disimulasikan. Sementara validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi model bernilai tepat. Dengan kata lain, verifikasi model lebih berorientasi pada proses yang dapat berlangsung, sedangkan validasi model lebih berorientasi pada hasil.

Permodelan interaksi antara manekin manusia terhadap lingkungan virtual dengan menggunakan *software* Jack 6.1 ini telah dilakukan verifikasi. Verifikasi dilakukan dengan menjalankan animation system yang telah dibuat sambil memperhatikan output yang dihasilkan dari Task Analysis Toolkits berupa nilai SSP, OWAS, dan RULA. Ternyata selama simulasi dijalankan, perubahan postur yang terjadi menyebabkan perubahan nilai pada LBA, OWAS, maupun RULA. Ini berarti, model yang dibuat telah berhasil disimulasikan dan bisa dikatakan telah diverifikasi.

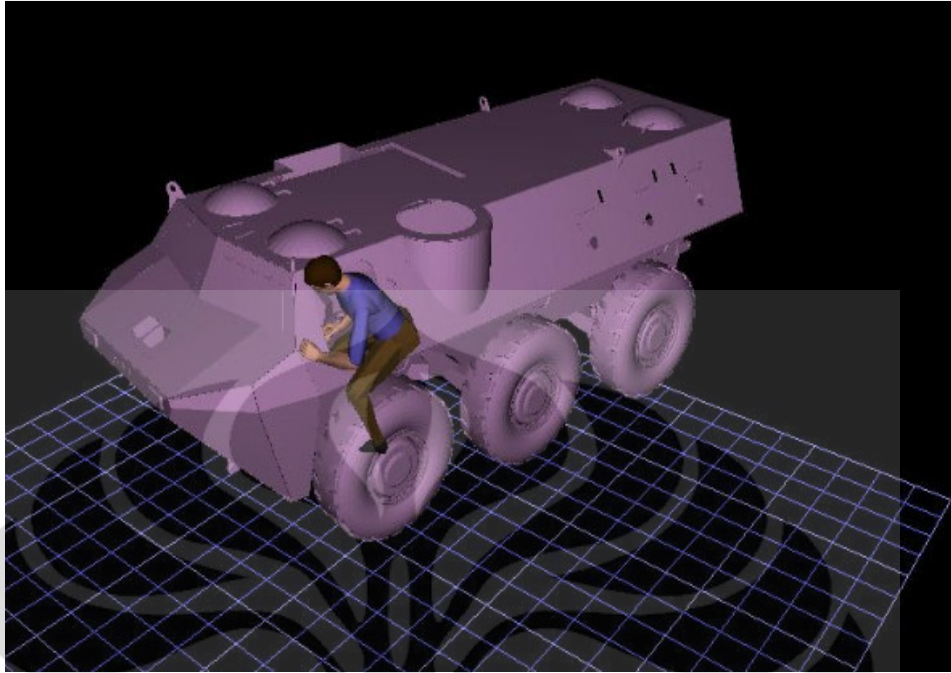
## BAB 4

### ANALISIS

Bab keempat ini membahas analisis ergonomi desain pintu masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja APC yang digunakan saat ini dan beberapa konfigurasi desain yang diusulkan dengan mengacu pada hasil dari *Task Analysis Toolkits* yang terdapat dalam *software* Jack 6.1. Semua konfigurasi desain yang ada akan dihitung besar nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) dan dibandingkan satu sama lain untuk mendapatkan rekomendasi desain pintu masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja APC yang paling ergonomis bagi penggunaannya khususnya TNI AD. Pada bagian akhir bab ini, konfigurasi-konfigurasi yang paling optimal ditetapkan. Berdasarkan analisis tersebut, maka kesimpulan akhir dapat ditarik.

#### **4.1 Analisis Desain Aktual Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja APC**

Analisis desain aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja APC dijabarkan pada pembahasan berikut.

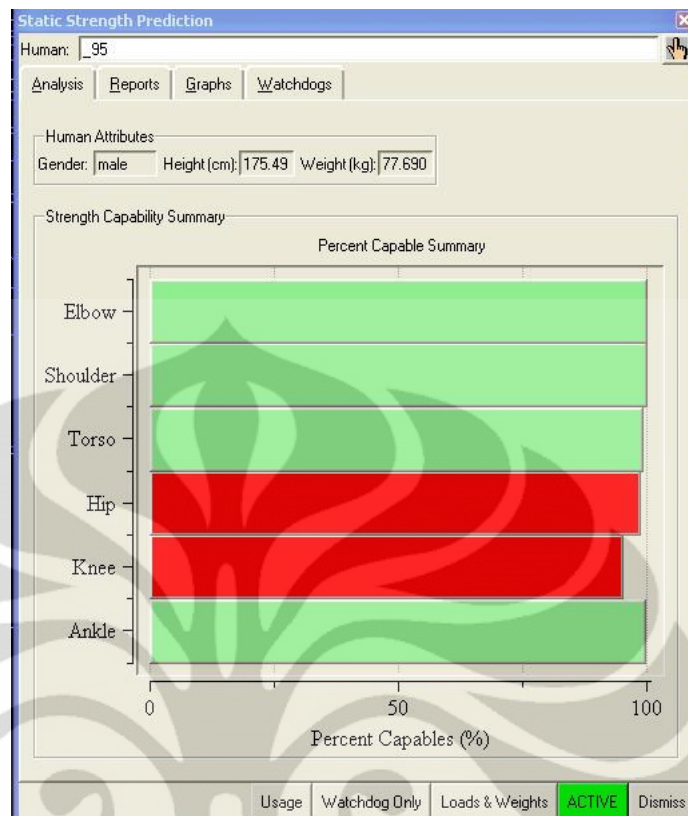


Gambar 4. 1 Desain Aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

#### 4.1.1 Hasil Static Strength Prediction (SSP)

Analisis *Static Strength Prediction* dilakukan sebagai tahap awal sebelum dilakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). Tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk melihat berapa persentase populasi manusia yang memiliki kapabilitas untuk melakukan postur atau gerakan yang disimulasikan. Ada enam bagian tubuh yang diukur kapabilitasnya, yaitu siku (*elbow*), bahu (*shoulder*), batang tubuh (*torso*), pinggul (*hip*), lutut (*knee*), serta pergelangan kaki (*ankle*).

Jika diperhatikan hasil yang diperoleh dari *Task Analysis Toolkits* untuk konfigurasi pertama ini, Dapat dilihat pada Gambar 4.2, bahwa warna hijau pada grafik menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas untuk konfigurasi aktual ini masih dalam batas aman. Warna merah menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas dari pengguna ini hampir diambang batas. Dari sini kami menyimpulkan bahwa tanda ini masih dalam bentuk kewajaran melihat pekerjaan yang dilakukan oleh manekin ini merupakan pekerjaan yang tidak semua orang dapat melakukannya.



Gambar 4. 2 Grafik SSP Desain Aktual

Pada bagian pinggul (*hip*) dan lutut (*knee*) diagramnya berwarna merah hal ini dikarenakan gerkan yang dilakukan pada pintu masuk kendaraan ini memang benar-benar *extreeme* dan cuma tentara yang terlatih lah yang mampu mengerjakan ini.

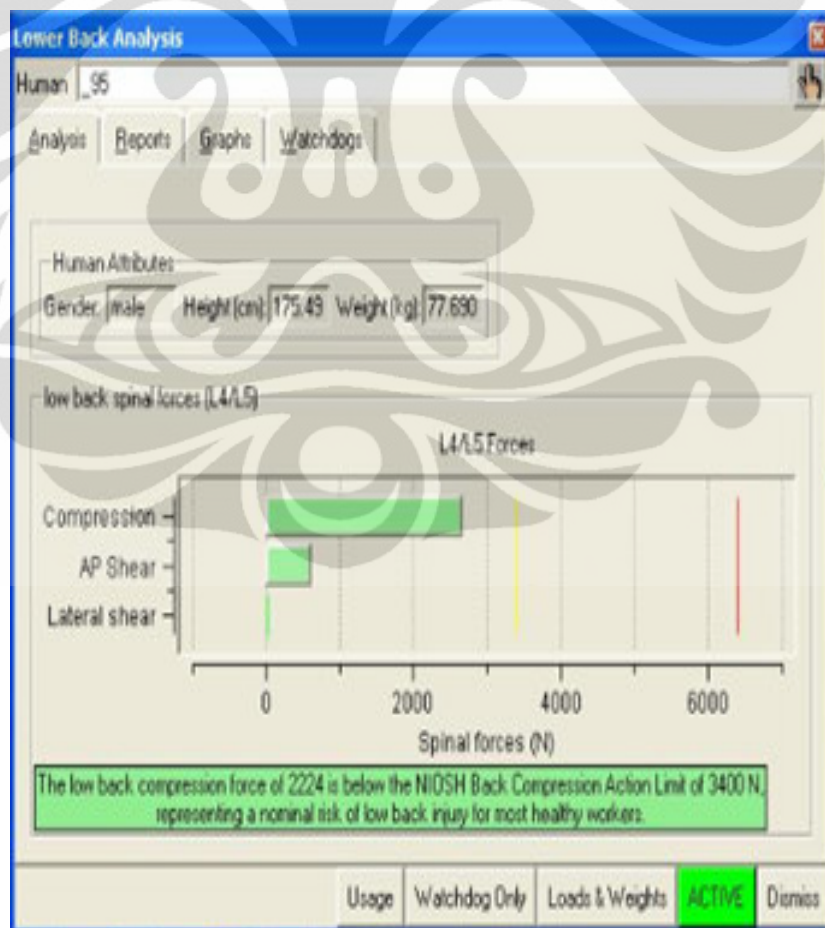
#### 4.1.2 Hasil Lower Back Analysis (LBA)

*Low Back Analysis* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan (*compression*) yang bekerja pada bagian tulang belakang manusia, dalam berbagai macam postur kerja dan kondisi beban. Secara rinci, LBA menghitung tekanan pada *vertebral disc L4/L5* dan membandingkan pada batasan tekanan yang diizinkan pada standar NIOSH, yaitu 3400 N.

Nilai LBA yang perlu dicatat adalah nilai LBA pada saat manekin mengalami kondisi paling membahayakan ketika simulasi dijalankan. nilai LBA mengalami perubahan ketika simulasi dijalankan. Perubahan tersebut dikarenakan

pada postur dan gerakan manekin berubah-ubah tiap *frame* mengikuti gerakan aslinya sehingga hanya nilai LBA yang paling tinggi yang dicatat.

Gambar 4.3 merupakan hasil nilai LBA yang diperoleh untuk konfigurasi desain pintu aktual pada kendaraan tempur lapis baja APC. Dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk konfigurasi 1 ini, resiko terjadinya cedera pada tulang belakang relatif kecil. Hal ini dikarenakan nilai *Lower Back Compression Force* yang masih di bawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N. Seperti yang ditunjukkan pada grafik, nilai LBA pada konfigurasi ini adalah 2224 (lebih kecil dibandingkan *Compression Action Limit* menurut standar NIOSH). Walaupun terlihat lebih kecil tetapi angka ini cukup besar untuk mempengaruhi dan membuat resiko terjadinya cedera pada tulang belakang.



Gambar 4. 3 Grafik LBA Konfigurasi 1

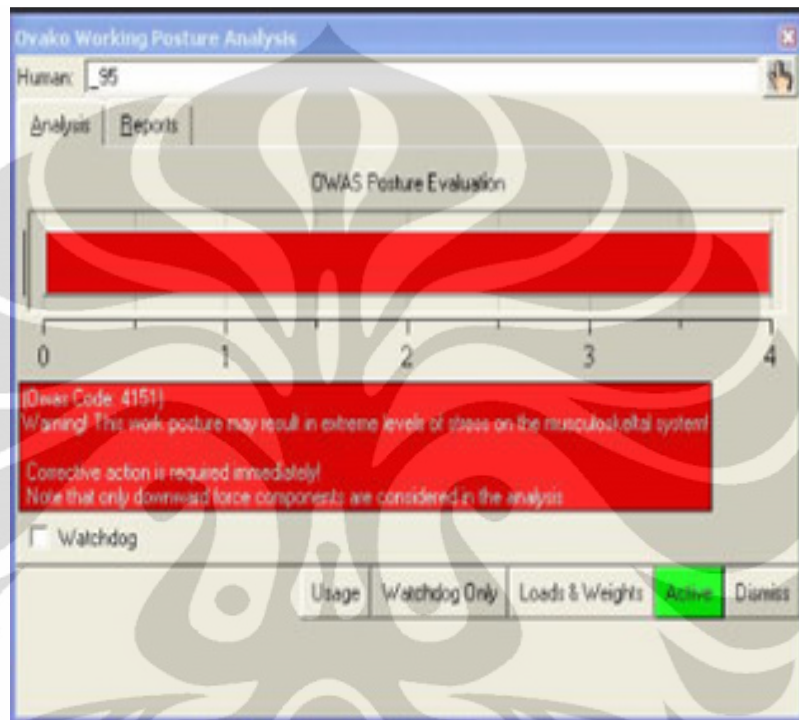
#### 4.1.3 Hasil Ovako Working Analysis System (OWAS)

OWAS merupakan suatu cara untuk mengetahui kenyamanan suatu postur kerja dan dapat digunakan untuk merekomendasikan tingkat urgensi dari dibutuhkannya diambil suatu aksi perbaikan dari posisi kerja yang lama. Evaluasi ketidaknyamanan dinyatakan dalam bentuk kode OWAS. Kode OWAS terdiri dari empat digit angka yang masing-masing angka menggambarkan tingkat kenyamanan punggung (*back*), lengan (*arm*), kaki (*leg*), dan beban angkut (*load handle*). gambar 4.4 merupakan gambar deskripsi OWAS yang lebih jelas.



Gambar 4. 4 Gambaran Deskripsi OWAS

Deskripsi owas akan ditunjukkan berdasarkan apa yang dilakukan oleh manekin. Nomer yang tertera pada owas akan menunjukkan gerakan yang dilakukan oleh manekin. Gambar 4.5 di bawah ini menunjukkan hasil OWAS yang didapat dari simulasi menggunakan *software* Jack 6.1 untuk desain aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.



**Gambar 4. 5 Hasil OWAS Desain Aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja APC**

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa hasil dari nilai OWAS nya adalah 4. Ini merupakan hasil tertinggi dari keseluruhan penilaian pada nilai OWAS. Hal ini merupakan hasil *extreme* pada penilaiannya dan dibutuhkan tindakan perbaikan sesegera mungkin karena secara nyata dapat menyebabkan gangguan pada *musculoskeletal* sistem. Skor OWAS ini memiliki nilai 4151 dimana penjelasannya adalah:

1. Bagian batang tubuh memiliki nilai 4, yang artinya adalah batang tubuh bagian belakang melakukan pekerjaan membungkuk dan berputar. Sebuah pekerjaan yang sulit dan tidak nyaman melakukan pekerjaan yang membutuhkan koordinasi artikulasi gerakan tubuh bagian belakang yang membungkuk dan berputar.

2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Postur bagian kaki memiliki nilai 5, yang menunjukkan bahwa satu kaki dalam kondisi memiliki tumpuan (bertumpu pada satu pijakan kaki seperti melangkah) dan postur lutut dalam keadaan bengkok.
4. Karena tidak adanya beban yang diberikan kepada model. Maka nilai beban ini masuk dalam kategori 1 (<10 kg).

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

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

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

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

RULA juga memiliki kode yang menunjukkan tingkat kenyamanan dari postur-postur yang dilakukan oleh, subject. RULA membagi kelompok tubuh yang dievaluasi menjadi dua bagian, yaitu *Body Group A* yang meliputi lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*lower arm*), pergelangan tangan (*wrist*) dan pergelangan tangan (*wrist twist*) serta *Body Group B* yang terdiri dari leher (*neck*) dan batang tubuh (*trunk*). Kombinasi nilai dan perhitungan khusus yang dihasilkan pada *Body Group A* dan *Body Group B* akan menghasilkan suatu angka



yang menunjukkan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas.

Gambar 4. 6 Hasil RULA Desain Aktual Kendaraan Tempur Lapis Baja

Dari gambar 4. 6 dapat dilihat bahwa nilai RULA untuk konfigurasi 1 bernilai 7. Dengan demikian, dengan besarnya nilai RULA yang berada pada nilai maksimum tersebut, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap kemungkinan resiko cedera yang terjadi. perbaikan desain dibutuhkan untuk mengurangi resiko cedera yang terjadi. Konfigurasi desain aktual ini menghasilkan *upper arm* bernilai 4, *lower arm* bernilai 3, *wrist* bernilai 3, dan *wrist twist* bernilai 1, sehingga untuk total *Body Group 3* adalah senilai 5. Sementara untuk *Body Group B*. *neck* bernilai 2 dan *trunk* bernilai 5.

Informasi yang terdapat pada RULA ini juga meliputi informasi mengenai penggunaan otot (*muscle use*), beban dan frekuensi yang diterima. serta *legs* dan *feet rating*. Pada simulasi ini penggunaan otot dimasukkan dalam kategori tidak ada penggunaan yang ekstrim.

- <2 kg, *intermittent load* untuk *Body Group A* (karena tidak ada pembebanan)
- <2 kg, *intermittent load* untuk *Body Group B* (karena tidak ada pembebanan)

Selanjutnya nilai RULA yang diperoleh dari simulasi ini bersama-sama dengan nilai LBA, dan OWAS dimasukkan ke dalam perhitungan PEI, untuk kemudian dijadikan sebagai pembanding terhadap konfigurasi Kendaraan Tempur Lapis Baja APC.

#### 4.1.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI

Setelah mendapatkan nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PEI dengan persamaan  $PEI = I1 + I2 + mr.I3$ . Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai PEI untuk konfigurasi desain aktual adalah sebesar 3,074. Nilai PEI ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai PEI lainnya. Nilai PEI yang makin kecil menunjukkan bahwa desain Kendaraan Tempur Lapis Baja APC paling ergonomis. Tabel 4.5 di bawah ini menunjukkan hasil rekapitulasi nilai SSP, LBA, OWAS dan RULA serta perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 1.

Konfigurasi	Panjang	Lebar	Keterangan
1	55 cm	65 cm	AKTUAL
2	60 cm	65 cm	REDESAIN
3	Mengikuti Keseluruhan Kerangka Dengan Menggunakan <i>Wingdoor</i>		REDESAIN

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Perhitungan PEI

#### 4.2 Analisa Rancangan Konfigurasi

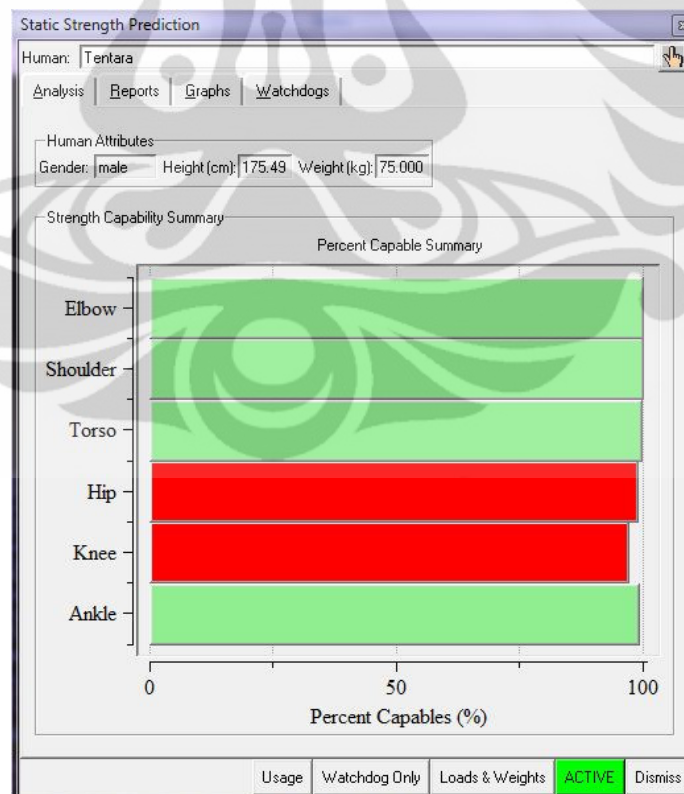
Pembuatan konfigurasi desain ulang kendaraan tempur lapis baja APC dilakukan dengan mengubah dimensi dari geometris pintu. Perubahan yang dilakukan pada posisi *footstep* pada desain aktual berupa penambahan jarak sebesar 5 cm. Penambahan 5 cm didasarkan oleh spasi yang masih tersedia pada bagian pintu itu. Konfigurasi desain yang dibuat merupakan kombinasi dari

perubahan geometris panjang dan lebar dari pintu yang ada. Setiap konfigurasi yang dibuat akan disimulasikan pada Vicon Nexus untuk kemudian diambil PEI nya. Berikut ini adalah masuk kendaraan tempur lapis baja APC.

#### 4.2.1 Analisis Rancangan Konfigurasi 1

Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja konfigurasi 1 merupakan desain pintu masuk yang geometris lebarnya ditambah 5 cm. Penambahan ini didasarkan oleh pengukuran peneliti terhadap bidang yang bersisa pada bagian pintu kendaraan. Dengan ditambahnya lebar 5 cm. Dengan demikian *Median Motion Strategy* dari ingress ini menjadi semakin baik sempurna karena halangan dari pintu kecil pada konfigurasi aktual semakin kecil karena tertutupi oleh lebar 5 cm. Median motion strategy merupakan sebuah gerakan masuk pintu kendaraan yang hal ini terjadi karena pintu masuk tersebut memiliki ketinggian diatas lutut rata-rata manusia. Analisa PEI pada konfigurasi ini adalah.

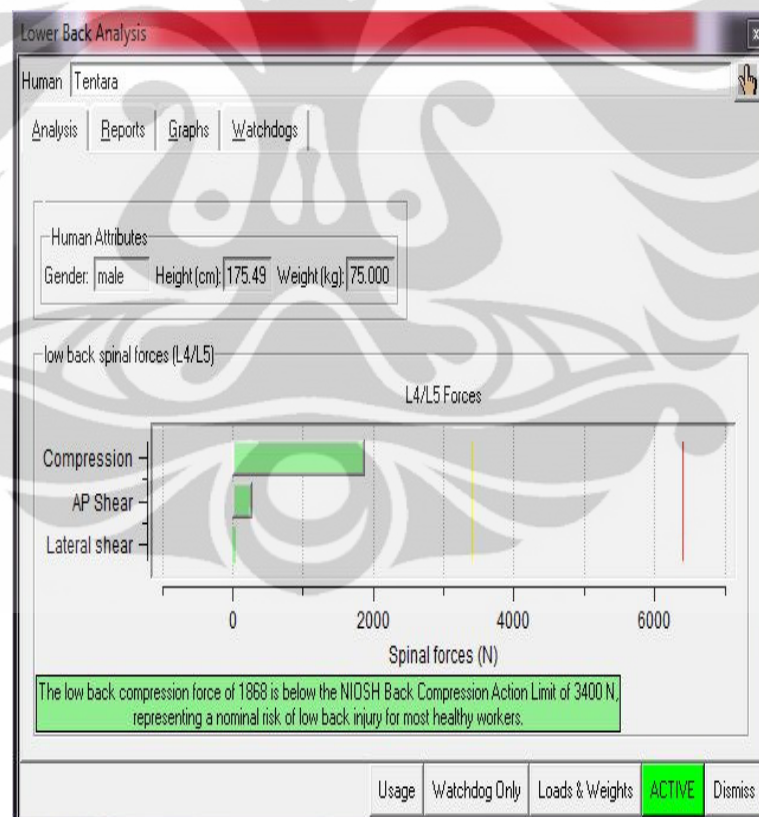
##### 4.2.1.1 Hasil *Static Strength Prediction* (SSP) Konfigurasi 1



Gambar 4. 7 Hasil SSP konfigurasi 1

Jika diperhatikan hasil yang diperoleh dari *Task Analysis Toolkits* untuk konfigurasi pertama ini, Dapat dilihat pada Gambar 4.7, bagian grafik yang berwarna merah masih tetap pada bagian pinggil (*hip*) dan lutut (*knee*). Hal ini menunjukkan bahwa tinggal kapabilitas pengguna yang berada diambang batas ada pada bagian ini. yang bahwa warna hijau pada grafik menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas untuk konfigurasi aktual ini masih dalam batas aman. Warna merah menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas dari pengguna ini hampir diambang batas. Dari sini penulis menyimpulkan bahwa tanda ini masih dalam bentuk kewajaran melihat pekerjaan yang dilakukan oleh manekin ini merupakan pekerjaan yang tidak semua orang dapat melakukannya sama seperti konfigurasi aktual.

#### 4.2.1.2 Hasil *Lower Back Analysis* (LBA) Konfigurasi 1

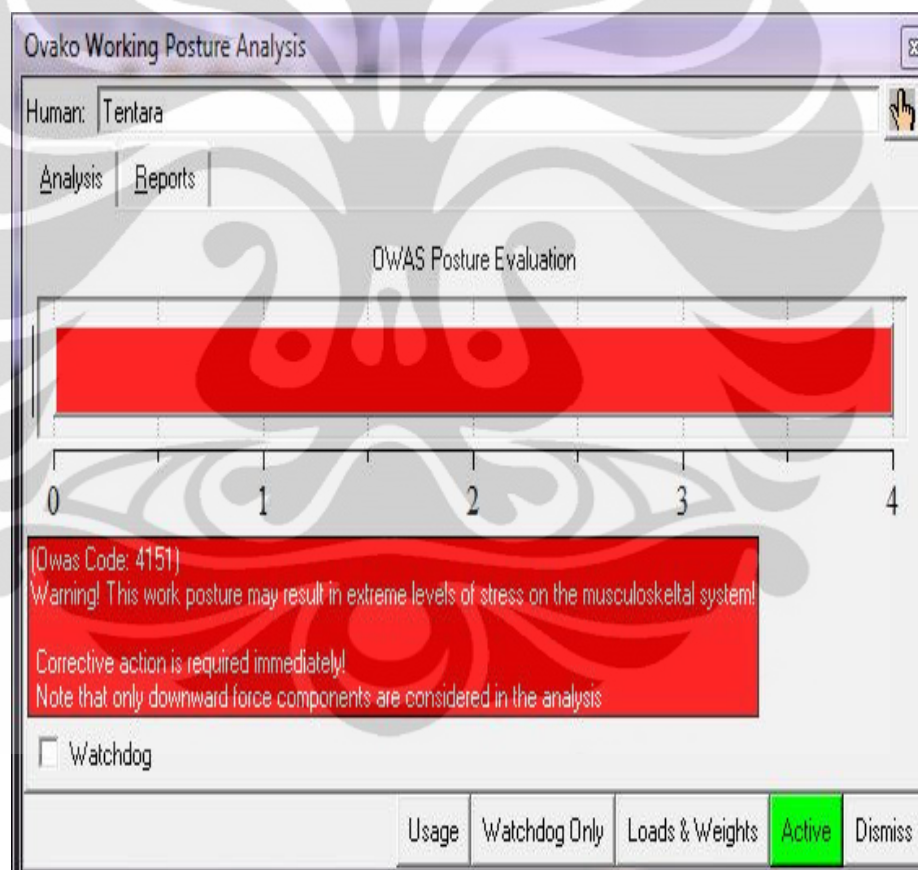


Gambar 4. 8 Hasil LBA Konfigurasi 1

Dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk konfigurasi 1 ini, resiko terjadinya cedera pada tulang belakang relatif kecil. Hal ini dikarenakan nilai *Lower Back Compression Force* yang masih di bawah *Compression Action*

*Limit* berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N. Seperti yang ditunjukkan pada grafik, nilai LBA pada konfigurasi ini adalah 1868 (lebih kecil dibandingkan *Compression Action Limit* menurut standar NIOSH). Jika kita membandingkan dengan nilai LBA pada desain aktual pintu masuk yang memiliki LBA 2224, LBA pada konfigurasi desain 1 ini mengalami penurunan dengan besaran LBA 1868. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya lebar sebanyak 5 cm dapat memperkecil resiko cedera pada tulang belakang.

#### 4.2.1.3 Hasil *Ovako Working Analysis System* (OWAS) Konfigurasi 1

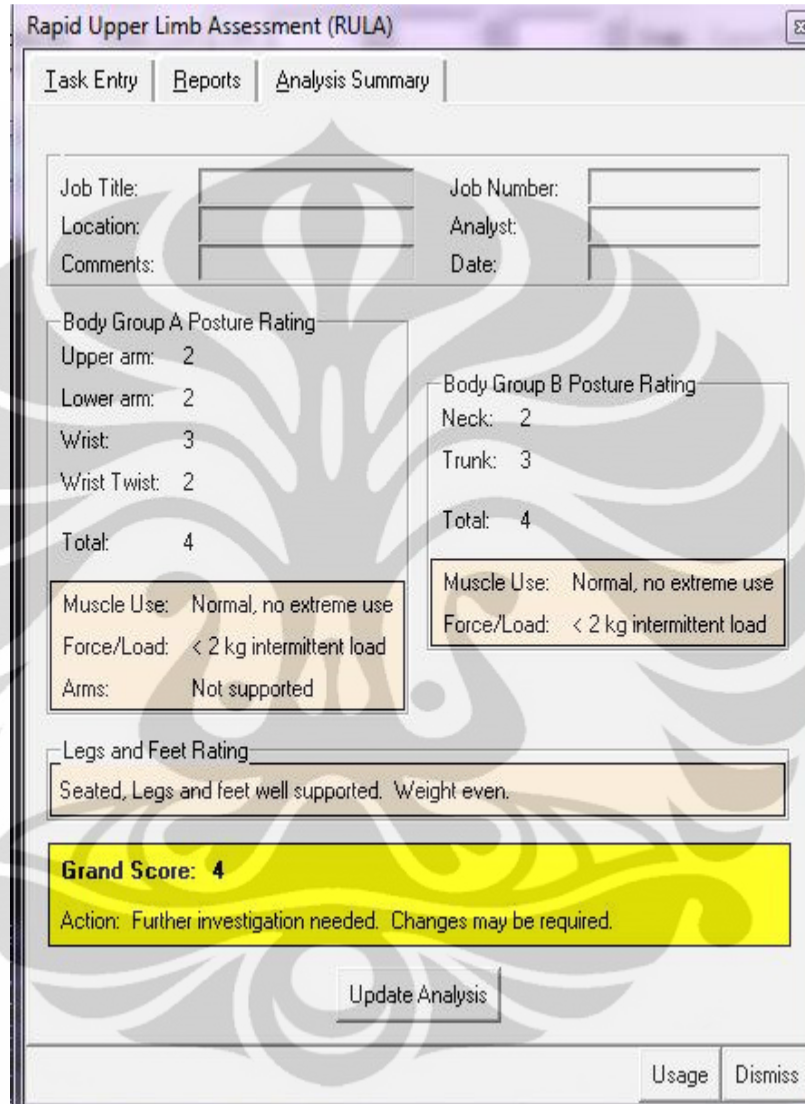


**Gambar 4. 9 Hasil OWAS Konfigurasi 1**

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa hasil dari nilai OWAS nya adalah 4. Ini merupakan hasil tertinggi dari keseluruhan penilaian pada nilai OWAS. Hal ini merupakan hasil *extreme* pada penilaiannya dan dibutuhkan tindakan perbaikan sesegera mungkin karena secara nyata dapat menyebabkan gangguan pada *musculoskeletal* sistem. Skor OWAS pada konfigurasi 1 ini memiliki nilai sama

pada design aktual sebesar 4151. Hal ini dikarenakan perubahan dimensi geometris tidak terlalu merubah cara subjek dalam melakukan pergerakan masuk.

#### 4.2.1.4 Hasil *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) Konfigurasi 1



**Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

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

**Body Group B Posture Rating**  
 Neck: 2  
 Trunk: 3  
 Total: 4

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

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

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

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

Update Analysis

Usage Dismiss

**Gambar 4. 10 Hasil Rapid Upper Limb Assesment Konfigurasi 1**

Dari gambar 4. 10 dapat dilihat bahwa nilai RULA untuk konfigurasi 1 bernilai 4. Dengan demikian, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap kemungkinan resiko cedera yang terjadi. perbaikan desain dibutuhkan untuk mengurangi resiko cedera yang terjadi. Konfigurasi desain aktual ini menghasilkan *upper arm* bernilai 2, *lower arm* bernilai 2, *wrist* bernilai 3, dan *wrist twist* bernilai 2, sehingga untuk total *Body Group 3* adalah senilai 4. Sementara untuk *Body Group B*. *neck* bernilai 2 dan *trunk* bernilai 3. Jika

dibanding dengan konfigurasi aktual nilai rula ini mengalami penurunan, hal ini dikarenakan dalam melakukan proses masuk pintu panser ini subjek agak lebih leluasa dalam melangkah masuk kedalam cockpit. Berbeda sekali dengan pada konfigurasi aktual yang tingkat keluasaannya sangat sedikit.

#### 4.2.1.5 Melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI)

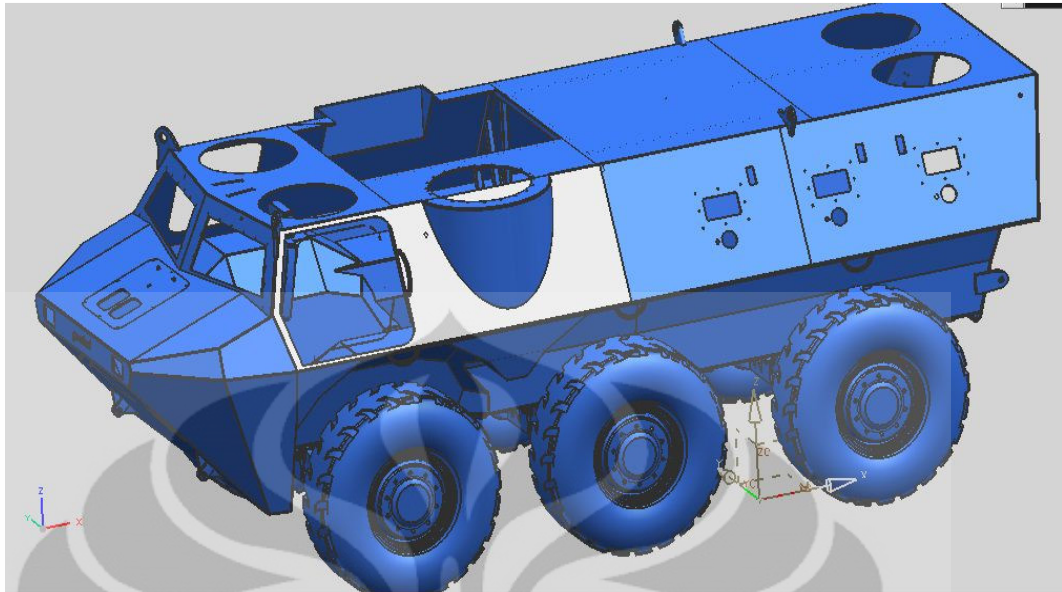
No	LBA	OWAS	RULA	PEI
2	1868	4	4	2,361

**Tabel 4. 2 Data Hasil Jack TAT pada Konfigurasi 1**

Dari tabel 4.2 dapat dilihat nilai PEI dari konfigurasi 1 ini adalah sebesar 2,361. Jika kita bandingkan dengan nilai PEI konfigurasi pertama yang bisa mencapai 3,074. Hal ini menunjukkan bahwa design pintu konfigurai 2 ini relatif lebih ergonomis dari pada design pintu konfigurasi aktual.

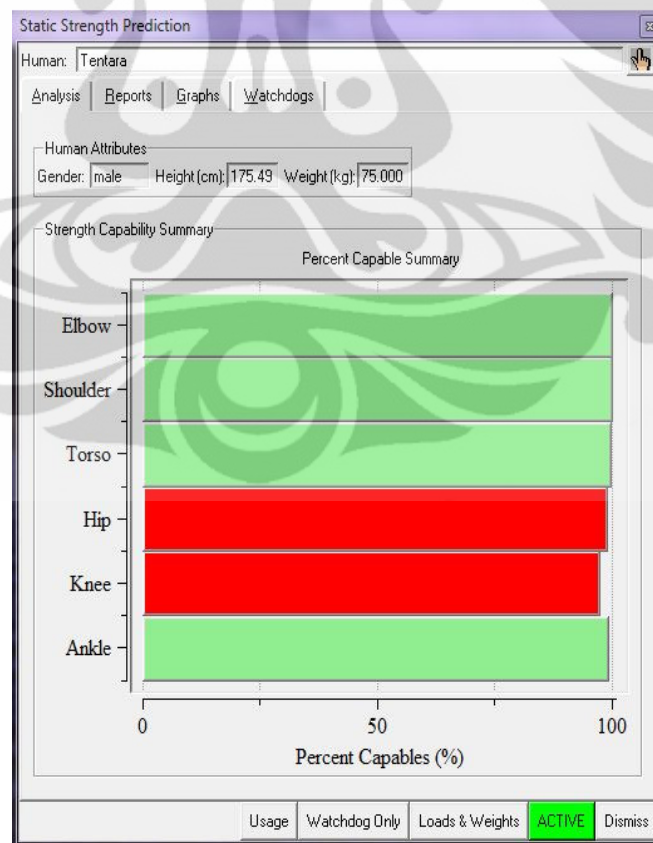
#### 4.2.2 Analisis Rancangan Konfigurasi 2

Pintu Masuk Kendaraan Tempur Lapis Baja konfigurasi 2 merupakan desain pintu masuk yang geometrisnya mengikuti keseluruhan kerangka. Dengan menggunakan geometri seperti ini penggunaan pintu berbentuk wingdoor yang terinspirasi dari pintu mobil volvo. Dengan adanya penambahan yang secara nyata relatif lebih luas, akan membuat aksesibilitas dari pengendara itu semakin cepat.



Gambar 4. 11 Rancangan Konfigurasi 2 Pintu Kendaraan Tempur Lapis Baja APC

#### 4.2.2.1 Hasil *Static Strength Prediction* (SSP) Konfigurasi 1



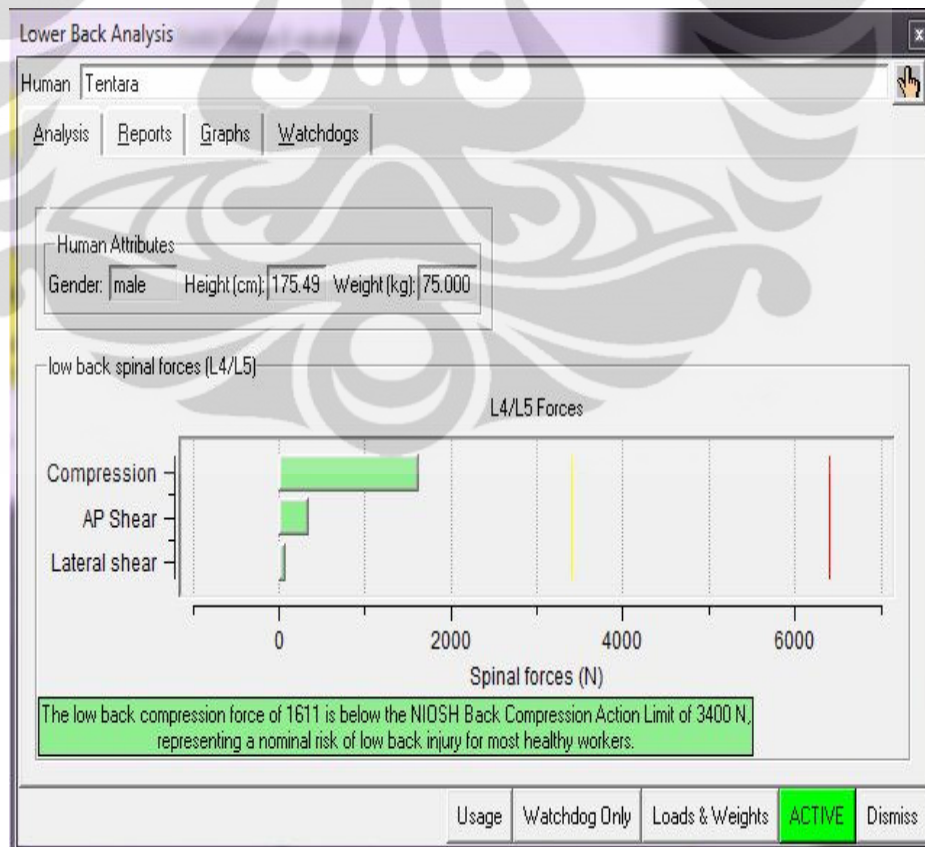
Gambar 4. 12 Grafik SSP Konfigurasi 2



Susunan yang terjadi pada grafik SSP konfigurasi 2 Jika diperhatikan tingkat kapabilitas pengguna yang berada diambang batas mirip dengan Grafik SSP Konfigurasi1. Hal ini dikarenakan secara pergerakan subject melakukan pergerakan yang mirip dengan apa yang dilakukan pada konfigurasi Aktual, pertama, dan kedua. Sama seperti yang telah penulis paparkan sebelumnya hal ini sangat wajar karena tidak semua orang dapat melakukan pekerjaan ini. (pekerjaan militer yang pada kondisi yang ekstrim).

#### 4.2.2.2 Hasil *Lower Back Analysis* (LBA) Konfigurasi 2

pada konfigurasi 2 ini, resiko terjadinya cedera pada tulang belakang sangat kecil dibanding dengan konfigurasi 1 dan desain aktual. Hal ini dikarenakan nilai *Lower Back Compression Force* yang masih di bawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.13, nilai LBA pada konfigurasi ini adalah 1868 (lebih kecil dibandingkan *Compression Action Limit* menurut standar NIOSH).

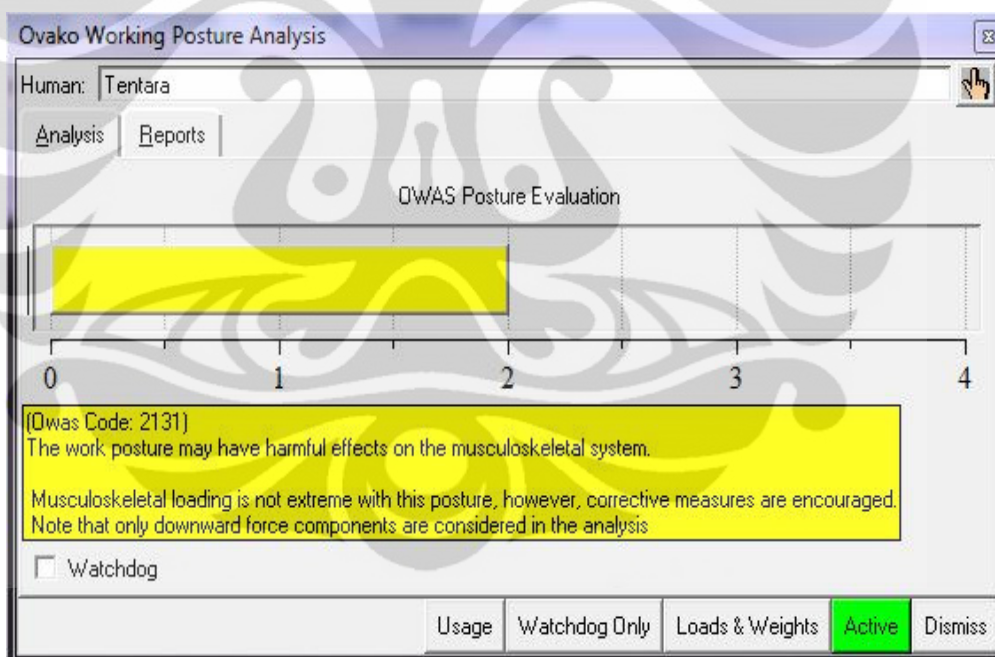


Gambar 4. 13 Hasil LBA Konfigurasi 1

Jika kita membandingkan dengan nilai-nilai LBA pada desain aktual dan konfigurasi 1 pintu masuk berturut-turut memiliki LBA 2224 dan 1868. LBA konfigurasi desain 2 ini mengalami penurunan dengan besaran LBA 1611. Nilai ini merupakan nilai terkecil pada design pintu masuk kendaraan tempur yang telah diujikan. Yang tentunya akan menambah berkurangnya resiko cedera pada tulang punggung belakang.

#### 4.2.2.3 Hasil *Ovako Working Analysis System* (OWAS) Konfigurasi 2

Berbeda dengan desain-desain sebelumnya nilai OVAKO pada design konfigurasi ini adalah bernilai 2. Tentunya hal ini sangat baik jika kita membandingkan dengan desain-desain yang telah diujikan sebelumnya yang rata-rata memiliki nilai OVAKO sebesar 4. Gambar 4.14 menunjukkan hasil OWAS yang telah diujikan.

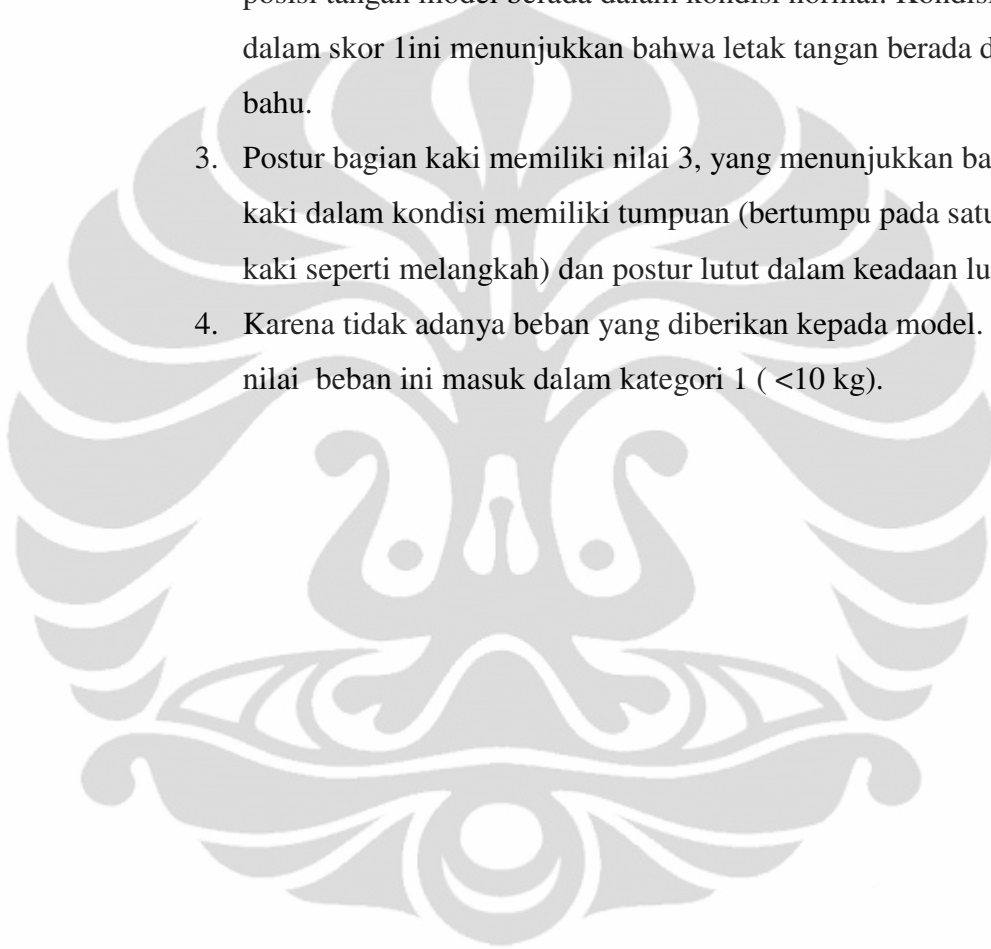


Gambar 4. 14 Hasil OWAS Konfigurasi 2

Skor OWAS pada konfigurasi 2 ini adalah 2. memiliki nilai 2131. Berbeda dari pada design sebelumnya dengan nilai 4151. Hal ini dikarenakan perubahan dimensi dengan mengikuti kerangka pada dimensi kendaraan tempur ini dapat merubah cara subjek dalam melakukan pergerakan masuk.

Skor OWAS ini memiliki nilai 2131 dimana penjelasannya adalah:

1. Bagian batang tubuh memiliki nilai 2, yang artinya adalah batang tubuh bagian belakang melakukan pekerjaan dengan cara membungkuk.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Postur bagian kaki memiliki nilai 3, yang menunjukkan bahwa satu kaki dalam kondisi memiliki tumpuan (bertumpu pada satu pijakan kaki seperti melangkah) dan postur lutut dalam keadaan lurus.
4. Karena tidak adanya beban yang diberikan kepada model. Maka nilai beban ini masuk dalam kategori 1 ( $<10$  kg).



#### 4.2.2.4 Hasil *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) Konfigurasi 1

The screenshot shows the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software window. It has three tabs: 'Task Entry', 'Reports', and 'Analysis Summary'. The 'Task Entry' tab is active, showing fields for Job Title, Location, Comments, Job Number, Analyst, and Date. Below these are two posture rating sections: 'Body Group A Posture Rating' and 'Body Group B Posture Rating'. Body Group A includes Upper arm (2), Lower arm (2), Wrist (3), Wrist Twist (2), and a Total of 4. Body Group B includes Neck (2), Trunk (3), and a Total of 4. A 'Muscle Use' section indicates 'Normal, no extreme use' and 'Force/Load: < 2 kg intermittent load'. 'Arms' are noted as 'Not supported'. A 'Legs and Feet Rating' section states 'Seated, Legs and feet well supported. Weight even.' A prominent yellow box displays the 'Grand Score: 4' and the action: 'Further investigation needed. Changes may be required.' An 'Update Analysis' button is at the bottom, along with 'Usage' and 'Dismiss' buttons.

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

**Gambar 4. 15 Hasil Rapid Upper Limb Assesment Konfigurasi 2**

Dari gambar 4. 15 dapat dilihat bahwa nilai RULA untuk konfigurasi 1 bernilai 4. Sama persis dengan nilai RULA pada konfigurasi sebelumnya. Dengan demikian, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap kemungkinan resiko cedera yang terjadi. perbaikan desain dibutuhkan untuk mengurangi resiko cedera yang terjadi. Tidak berubahnya rula ini diakibatkan karena subjek masih menggunakan metode ingress *median motion strategy* yaitu sebuah gerakan masuk pintu kendaraan yang hal ini terjadi karena pintu masuk tersebut memiliki ketinggian diatas lutut rata-rata manusia dan memiliki tinggi yang tidak mencapai 1 meter.

#### 4.2.2.5 Melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI)

No	LBA	OWAS	RULA	PEI
3	1611	2	4	1,785

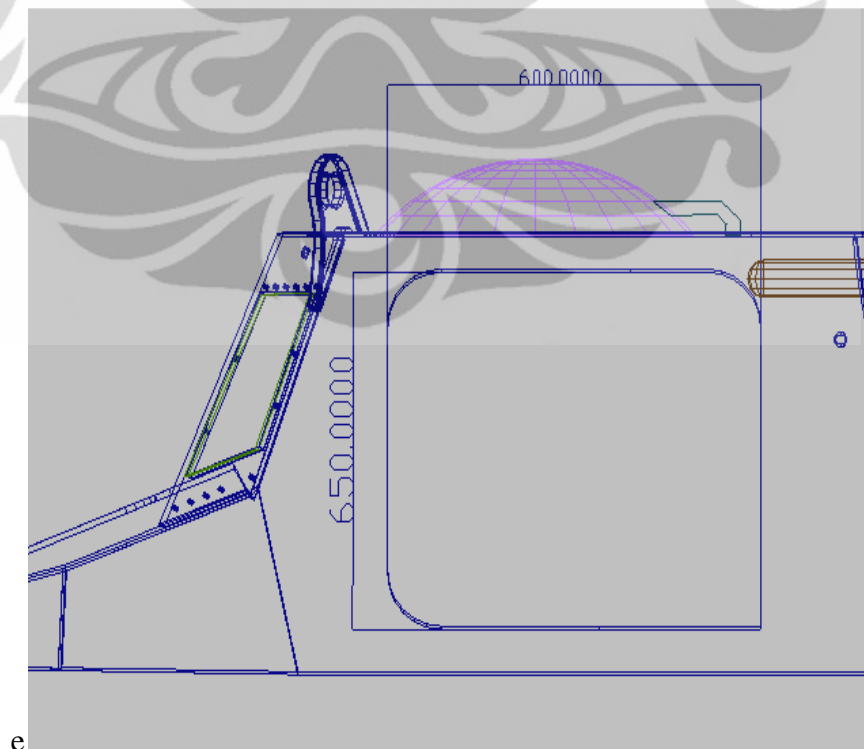
Tabel 4. 3 Data Hasil Jack TAT pada Konfigurasi 2

Dari tabel 4.2 dapat dilihat nilai PEI dari konfigurasi 2 ini adalah sebesar 1,785. Jika kita bandingkan dengan nilai PEI konfigurasi pertama dan aktual berturut-turut bernilai 2,361 dan 3,074. Hal ini menunjukkan bahwa design pintu konfigurasi 2 ini relatif lebih ergonomis daripada design pintu sebelumnya.

### 4.3 Analisis Desain Pintu Konfigurasi yang diajukan

Setelah Mendapatkan Nilai PEI dari setiap pintu yang di ujikan. selanjutnya akan dibahas analisa dari desain pintu konfigurasi yang diajukan dan diusulkan. Desain pintu yang dibuat didasarkan oleh spasi yang masih tersedia pada bagian pintu itu. Konfigurasi desain yang dibuat merupakan kombinasi dari perubahan geometris panjang dan lebar dari pintu yang ada.

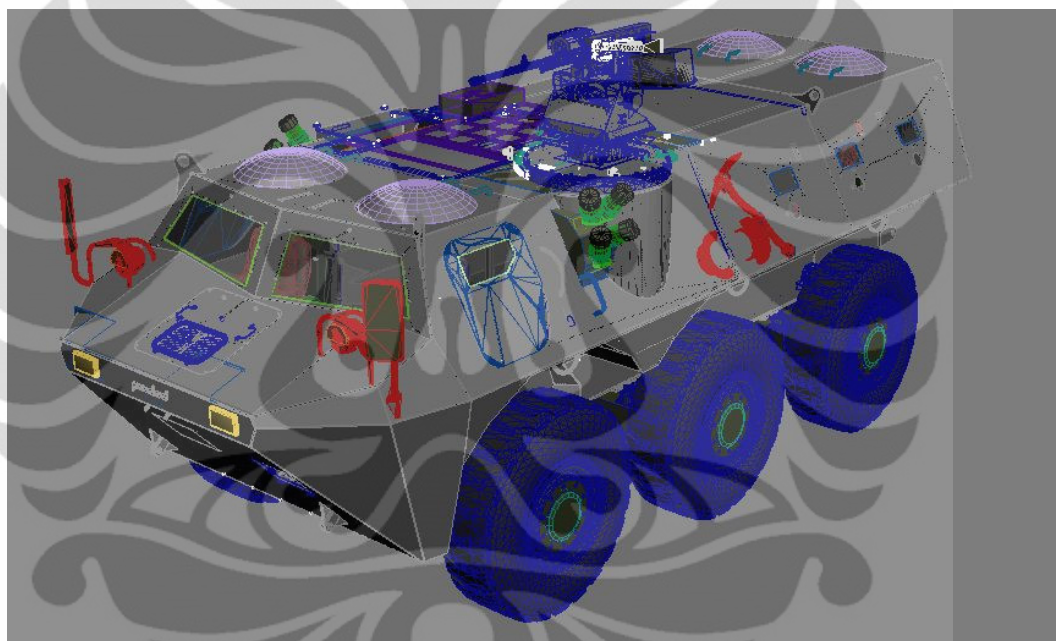
#### 4.3.1 Konfigurasi 1



Gambar 4. 16 Ilustrasi pintu Konfigurasi 1

Konfigurasi 1 pintu yang diajukan pada konfigurasi ini adalah dengan menambah 5 cm dari panjang keseluruhan. Salah satu alasan kenapa harus 5 cm adalah karena penambahan konfigurasi dilihat dari sisa spasi yang masih kosong pada bagian pintu kendaraan tempur ini. Setelah melakukan pengukuran dilapangan ternyata sisa spasi yang masih dapat dipergunakan untuk melakukan pelebaran terhadap desain pintu ini adalah sebesar 5 cm.

Gambar 4.16 dibawah ini menunjukkan desain keseluruhan dari kendaraan tempur yang telah dibuat pada *computer aided design (CAD)*.



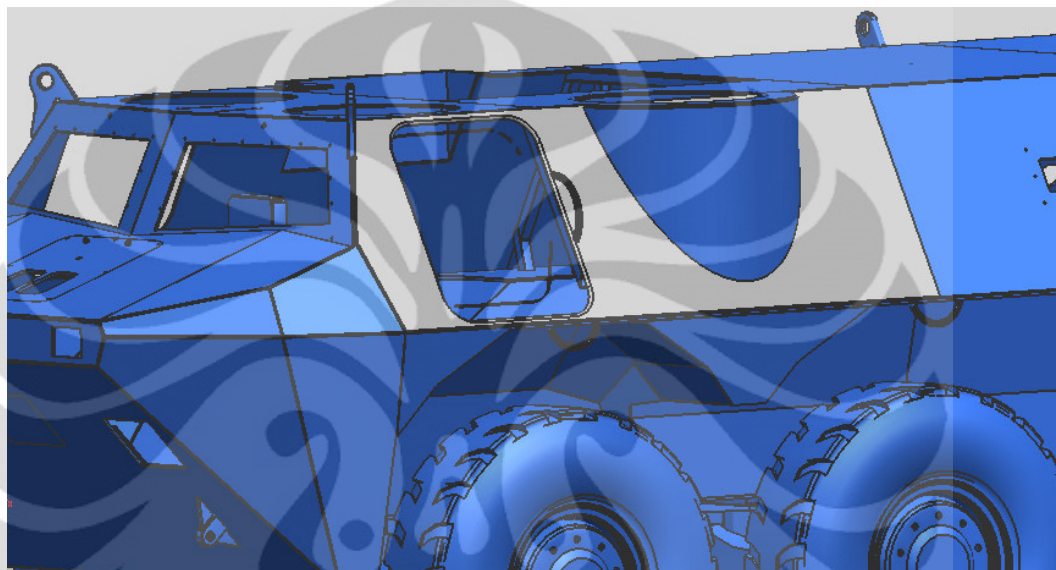
**Gambar 4. 17 Design Keseluruhan Kendaraan Tempur Lapis Baja**

Dapat dilihat bahwa ada banyak fitur yang berada pada sisi pintu Kendaraan Tempur Ini. Setelah dilakukan pengukuran dan setelah melihat dari berbagai sisi, untuk pelebaran hanya dapat visibel dilakukan pelebaran sebesar 5 cm. Dengan pelebaran 5 cm ternyata dapat mengurangi nilai pei sebesar 2,361. Hal ini menunjukkan bahwa design dengan menambah lebar 5 cm kesamping dapat mengurangi nilai PEI pada pintu masuk ini.

Pada Design pintu kali ini penulis juga melakukan design dengan menambahkan sebuah busa dengan ketebalan 1 cm dengan tujuan agar kepala si

pengemudi ini tidak mengalami cedera yang cukup serius ketika membentur pintu saat masuk.

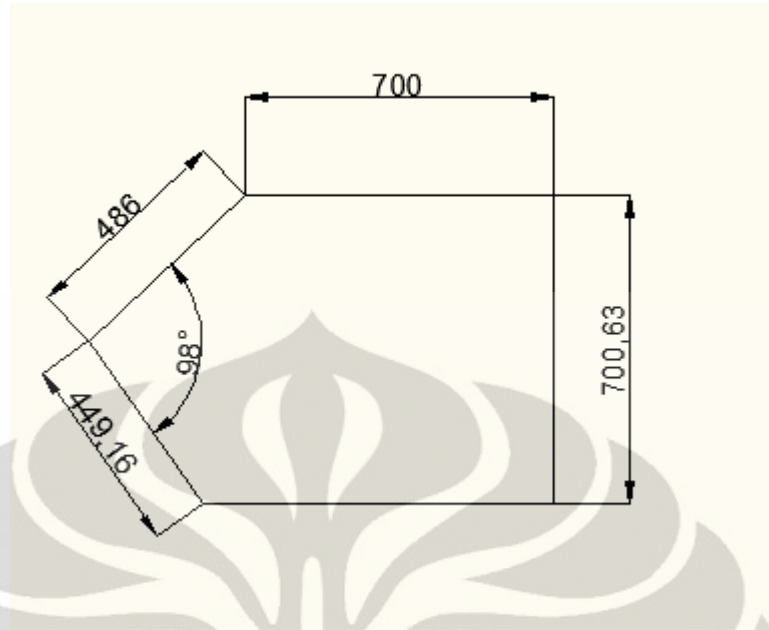
Gambar 4.18 menunjukkan Design Pintu Masuk Konfigurasi 2 dengan menggunakan busa pada tepi pintu.



**Gambar 4. 18 Design Pintu Mausk Kendaraan Tempur Konfigurasi 1Dikelilingi Oleh Busa Pada Tepinya**

#### 4.3.2 Konfigurasi 2

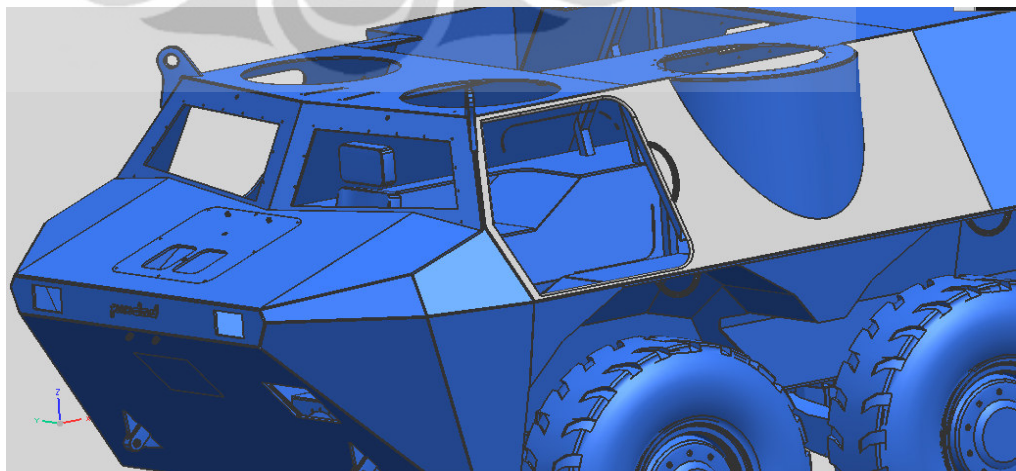
Konfigurasi 2 yang diajukan pada konfigurasi ini adalah konfigurasi yang geometrisnya mengikuti keseluruhan kerangka. . Setelah dilakukan pengukuran ternyata dari sisi ketersediaan sisi. Untuk desain pintu dengan rancangan geometri mengikuti keseluruhan kerangka visibel utk dilakukan. Gambar 4.19 menunjukkan ilustrasi desain konfigurasi 2.



Gambar 4. 19 Ilustrasi Pintu Konfigurasi 2

Setelah dilakukan pengukuran akan ada perubahan design yang mengikuti keseluruhan kerangka yang ada pada Kendaraan Tempur Ini. Terbukti setelah dilakukan pelebaran nilai PEI nya berkurang hingga menjadi 1,785. Pada Design pintu kali ini penulis juga melakukan design dengan menambahkan sebuah busa dengan ketebalan 1 cm dengan tujuan agar kepala si pengemudi ini tidak mengalami cedera yang cukup serius ketika membentur pintu saat masuk.

Gambar 4.20 merupakan Design Pintu Masuk Konfigurasi 2 dengan menggunakan busa pada tepi pintu.



Gambar 4. 20 Design Pintu Masuk Kendaraan Tempur Konfigurasi 2 Dikelilingi Oleh Busa Pada Tepinya



Untuk mendapatkan hasil tarikan yang mudah pada desainnya digunakan sebuah *gull hidrolik* yang dapat dipasang pada sisi pintu tersebut. Gambar 4.21 merupakan ilustrasi *gull hidrolik* yang dapat digunakan pada pintu masuk kendaraan tempur ini.



Gambar 4. 21 *Gull Hidrolik Ddesain Wingdoor*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Ditinjau dari nilai PEI hasil nilai Desain aktual pintu Kendaraan Tempur Lapis Baja APC saat ini memiliki nilai LBA sebesar 2,224 LBA ini menunjukkan bahwa desain tersebut cukup aman dan memberikan resiko cedera tulang belakang yang relatif cukup kecil berdasarkan standar NIOSH 3400N. Sementara nilai OWAS pada desain aktual yaitu 4. Hal ini menunjukkan bahwa desain ini akan membahayakan sistem musculoskeletal tentara yang menggunakannya, sangat dibutuhkan evaluasi dalam design yang ada. Selanjutnya nilai RULA Menunjukkan nilai 7. Ini merupakan nilai maksimal dari nilai RULA. Nilai *extreeme* pada RULA. nilai menyatakan bahwa resiko harus segera diinvestigasi dan diberi perbaikan. Dengan demikian perlu dilakukan investigasi lebih lanjut terhadap kemungkinan resiko cedera. Perbaikan desain dapat mungkin dapat mengurangi kemungkinan resiko cedera yang terjadi. Sehingga setelah dikalkulasi nilai PEI untuk desain aktual yaitu sebesar 3,074.
2. Konfigurasi 2 merupakan konfigurasi desain pintu kendaraan tempur lapis baja APC yang terbaik dari sisi ergonomis. Perubahan pintu dengan Mengikuti Keseluruhan Kerangka Dengan Menggunakan sistem *Wingdoor* merupakan solusi untuk mengurangi resiko cedera dari pengendara ketika memasuki pintu kendaraan tempur APC. Nilai PEI yang dihasilkan dari desain pintu kendaraan tempur lapis baja APC ini adalah sebesar 1,785. Nilai PEI ini merupakan nilai PEI yang terendah jika dibandingkan dengan desain-desain lain yang telah diujikan.

#### 5.2 Saran

Perlu dilakukan studi yang mendalam terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi metode PEI ini bila diaplikasikan pada lingkungan virtual. Studi

yang mendalam ini juga terkait mengenai study tentang *force plate* dan perhitungan gerakan dinamis pada peralatan *motion capture*.

Dikarenakan penelitian tentang dunia kemiliteran masih sangat sedikit seharusnya penelitian tentang ini dapat dilanjutkan maka perlu dilakukan pembahasan lebih lanjut dengan berbagai ahli ergonomi dan pihak yang berhubungan dengan permasalahan desain produk khususnya dalam bidang Militer *specs* di Indonesia.

Perlu dilakukan pelatihan lanjutan dalam penggunaan alat *motion capture*. Pelatihan yang dibutuhkan meliputi penggunaan alat pada penelitian di dalam ruangan ataupun di luar ruangan. Apabila pelatihan lanjutan tidak dimungkinkan untuk diadakan, maka perlu dilakukan studi yang mendalam mengenai fungsi alat. Selain itu perlu dilakukannya proses kalibrasi ulang secara total pada alat *motion capture* karena dari hari kehari database pada motion capture semakin banyak sehingga membuat alat sensitif dan berat dalam melakukan pengolahan pada *motion capture*.

## DAFTAR REFERENSI

- jean-francois debril (2007), *Human Articulation Efforts Estimation in the Automobile Vehicle Accessibility Movement – A Pilot Study*. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis. Le Mont Houy
- Peter van der Meulen and Andreas Seidl (2007), *Ramsis – The Leading Cad Tool for Ergonomic Analysis of Vehicles*, Human Solutions GmbH Europaallee, 10 67657. Kaiserslautern. Germany
- Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company, h. 396.
- Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D’Cruz, M.D. & Eastgate, R.M. (1995). *Manufacturing Operations in Virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4, hal. 306–317.
- Karwowski, Waldemar. (2006). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Volume 1*, Attention (hal.32-35) Kentucky: CRC Press.
- Mohand Ouidir Ait El Menceur, Philippe Pudlo, Philippe Gorce, Francois-Xavier Lepoutre. (2009), *An automatic procedure for identifying alternative automobile ingress movements in young and elderly populations with or without prostheses*.
- Matthew P. Reed, PhD. (2009). *Simulating Crew Ingress And Egress For Ground Vehicle*. University of Michigan Transportation Research Institute Ann Arbor, MI
- Di Gironimo, G., Monacelia, G., Patalano, S. (2004). A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference - Design 2004*
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. *In: Proceed of The 7th International Conference on “The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process” – ATA 2001, Florence*.
- UGS Tecnomatix (2005). *Jack human modeling and simulation*. <http://www.ugs.com/>

Chaffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention. University of Michigan.

DELFT University of Technology. Improved human modeling means better designs (2009)



## Lampiran

### Lampiran 1

#### Data Antropometri Tentara Batalyon 201 Jaya Yudha

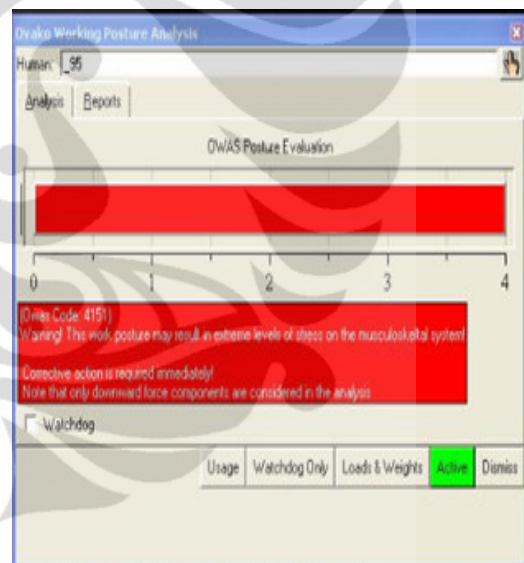
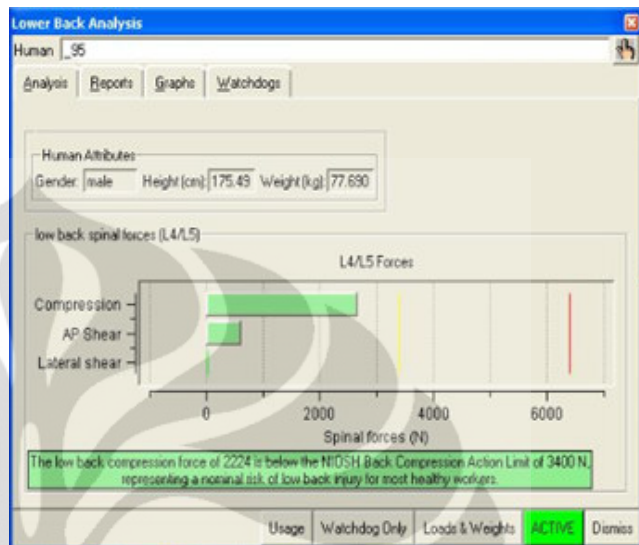
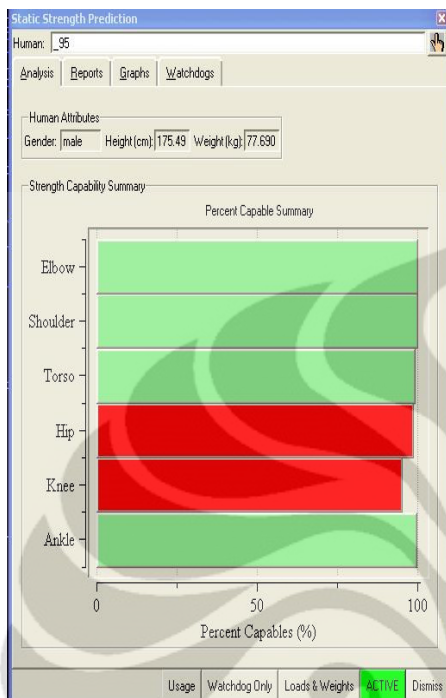
No	Umur	Tinggi Badan	Berat Badan	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
1	24	174	92	60	45.5	26	62	52	57	76	86.5	37	48	42	36	40	26
2	21	171	59	55	47	26	55	44	54	73	86	34	43	39	27	34	15
3	23	171	58	55	46.5	27	57	49	54	74	89	35	46	39	30	34	19
4	21	178	66	56	47	25	56	56	59	80	94	34.5	45	42	27	33	18
5	28	168	75	54	42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

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

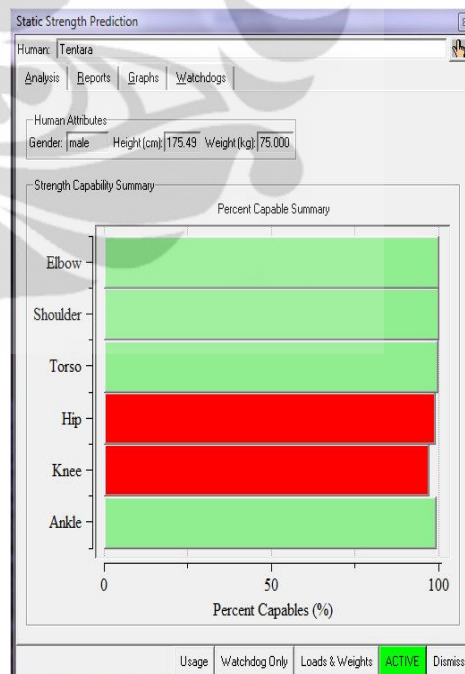
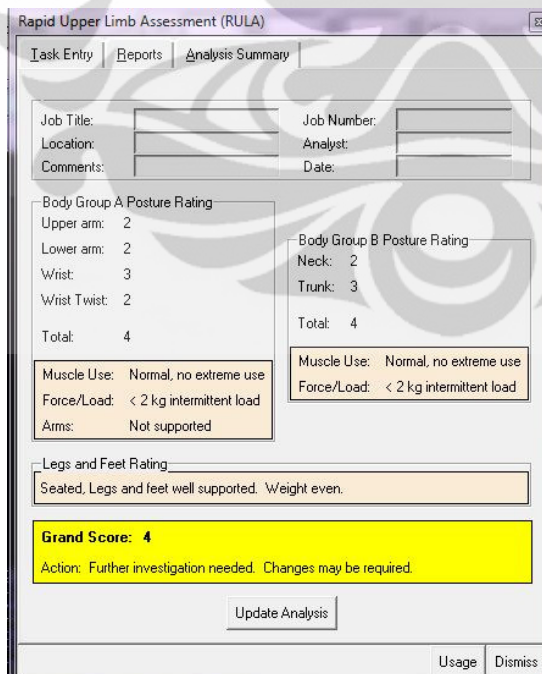
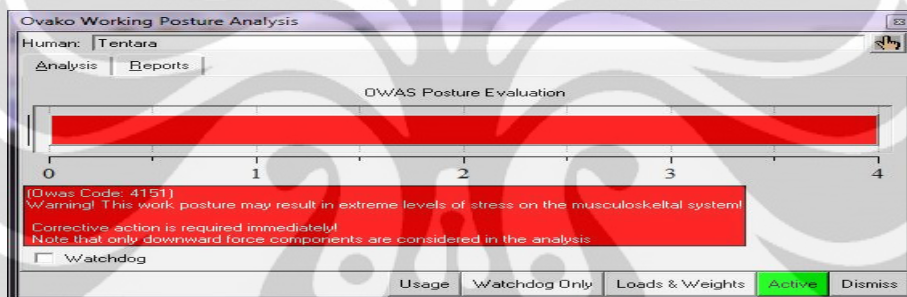
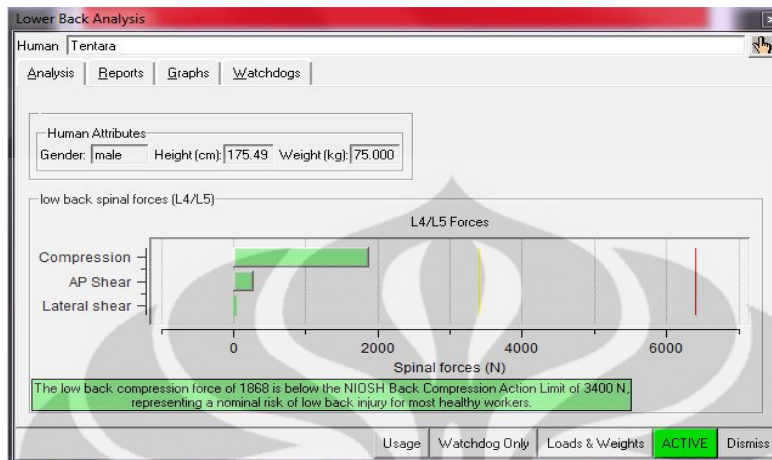
116	30	165	55	55	45	25	57	47	51	69	78	31	45	40	27	33	17
117	29	170	58	53	41	26	57	45	49	69	81	32	45	43	29	35	19
118	30	167	65	51	45	26	56	44	52	73	83	32	42	45	28	35	20
119	34	172	75	55	43	26	60	48	54	73	83	30	45	46	32	37	24
120	32	163	75	53	43	27	53	43	53	72	82	32	43	47	32	39	28
121	20	165	50	53	44	26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



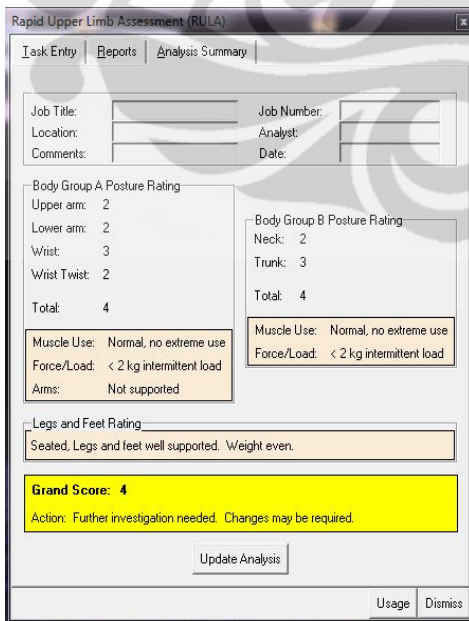
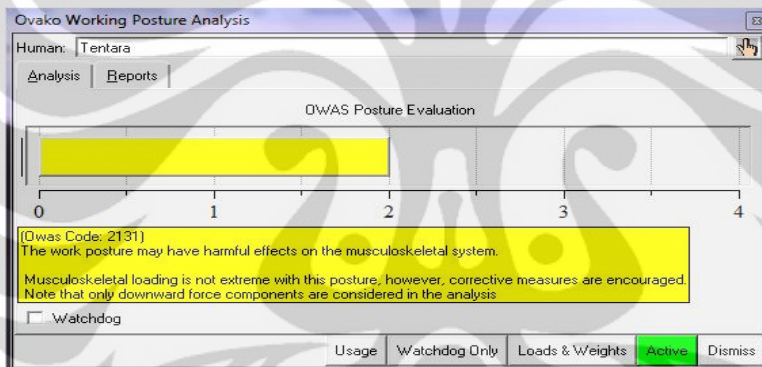
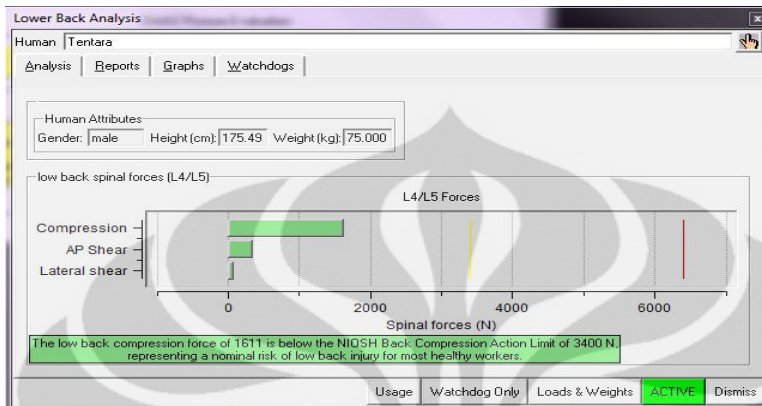
Hasil Analisa JACK TAT Konfigurasi Aktual



Hasil Analisa JACK TAT Konfigurasi 1



Hasil Analisa JACK TAT Konfigurasi 2



Desain Panser Pada *Computer Aided Design*

