



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DAN REKOMENDASI RANCANGAN KOKPIT
OPERATOR *GUN TURRET* PANSER KANON YANG
ERGONOMIS DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

**BRAM BRATANATA
0806321436**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DAN REKOMENDASI RANCANGAN KOKPIT
OPERATOR *GUN TURRET* PANSER KANON YANG
ERGONOMIS DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**BRAM BRATANATA
0806321436**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bram Bratanata
NPM : 0806321436

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juni 2012



HALAMAN PENGANTAR

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Bram Bratanata
NPM : 0906321436
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Evaluasi dan Rekomendasi Rancangan Kokpit Operator Gali Terest Pasir Kanan yang Ergonomis dalam Piranti *Surotrasmear*

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 : Anandha Kumar Meesa, ST., M.Sc.

Pengaji : Ir. Erlinda Muslim, M.H.

Penguji : Prof. Dr. Ir. Tyuk. Yuri M. Z., M.Eng.Sc.

Penguji : Ir. Sri Biantang Pamungkas, MSISE., Ph.D.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan YME karena berkat rahmat dan karunia-Nya lah pada akhirnya Laporan Tugas Akhir Penelitian ini dapat diselesaikan. Penyusunan laporan penelitian ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Dalam melakukan penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapatkan bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, atas ridho dan karunia serta kesehatan yang diberikan kepada penulis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Armand Omar Moeis, ST., Msc , selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam melakukan penelitian ini. Demikian juga atas saran dan semangat yang tiada habisnya beliau berikan kepada penulis sehingga akhirnya penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE, serta dosen pembimbing ergonomi lainnya yang seringkali juga memberikan bimbingan dan saran kepada penulis selama penelitian ini, termasuk atas waktu dan tenaga yang telah banyak diberikan serta motivasi kepada penulis.
4. Bapak Dr. Akhmad Hidayatno, ST., M.BT, selaku dosen pembimbing akademis yang telah memberikan banyak bantuan dan bimbingan dalam kegiatan akademis selama 4 tahun di Teknik Industri.
5. Orang tua serta keluarga tercinta, yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil, kepada penulis selama menjalankan penelitian ini.
6. Nurintan Nauli P.S, terima kasih atas dukungan, waktu, kerjasama, kesabaran, bantuan, semangat, hiburan dan doa yang sangat berarti untuk penulis.
7. Ernest Wahyudi, Rangga Virga, Reza alfaiz, dan Gagah Hariseto selaku sahabat terdekat yang selalu saling mendoakan, memberikan motivasi, menghibur serta berjuang bersama-sama untuk dapat menyelesaikan tugas akhir masing-masing.

8. Laisha, Felita, Sonya, Asseta, Echa, Florence, Patty, Iif, Upi, Fitri, Nike, Ernest, Gagas, Eja, Toa, Jody, Tyo, Iwan, yang senantiasa membantu, memberikan semangat dan berjuang bersama dalam melewati masa-masa senang dan sulit di Teknik Industri.
9. Teman-teman penelitian Ergonomics Centre : Meilin, Tegar, Link, Aisyah, Dwiki, Anton, Alex, Ivan, Disa, Neni, Rengkung, Andreas, Roberton, Theo, Sendhi, yang selama melakukan penelitian bersama-sama selalu bertukar informasi dan wawasan untuk memudahkan satu sama lain.
10. Seluruh karyawan Teknik Industri, terutama Mas Taufan, Ibu Har, Mas Latif, Mas Iwan, Pak Mursyid yang seringkali direpotkan oleh penulis selama melakukan penelitian maupun penyusunan laporan ini.
11. Teman-teman Teknik Industri angkatan 2008, terima kasih telah banyak memberikan inspirasi, dukungan dan bantuan selama 4 tahun menjalani kebersamaan di Teknik Industri.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna dikarenakan oleh keterbatasan Penulis. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, Penulis menerima kritik dan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat memberikan manfaat pada masyarakat luas khususnya dunia pendidikan dan industri. Semoga tulisan di dalam skripsi ini bisa memberikan tambahan pengetahuan maupun menjadi sumber informasi yang berguna bagi setiap pembaca.

Depok, Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Bram Bratanata
NPM : 0806521436
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Evaluasi dan Rekomendasi Perancangan Kokpit Operator *Gun Turret* Panzer Kaman Yang Ergonomis Dalam *Virtual Environment*

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/ format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), memuat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal : Juni 2012

Yang menyatakan



(Bram Bratanata)

ABSTRAK

Nama : Bram Bratanata
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Evaluasi dan Rekomendasi Rancangan Kokpit Operator *Gun Turret* Panser Kanon Yang Ergonomis Dalam *Virtual Environment*

Kesalahan desain serta ukuran pada kokpit Operator *Gun Turret* pada panser kanon dapat mengakibatkan terbentuknya postur tubuh yang membahayakan bagi kesehatan Operator, terutama yang berkaitan dengan cedera pada tulang belakang. Penelitian ini akan mengevaluasi ukuran Operator *Gun Turret* pada panser kanon yang sudah digunakan pada panser kanon yang masih berupa *Prototype* dengan ukuran tubuh pria Indonesia untuk mengetahui apakah kokpit ini sudah didesain dengan ukuran yang benar sehingga membentuk postur duduk yang benar. Evaluasi terhadap postur duduk ini dilakukan menghitung nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) yang diperoleh menggunakan konfigurasi *Virtual Environment* dengan *software Jack 6.1*.

Kata Kunci:

Ergonomi, Desain Ergonomi, kendaraan tempur, Posture, panser kanon, Antropometri, *Virtual Environment*, *Posture Evaluation Index*

ABSTRACT

Name : Bram Bratanata
Study Program : 0806321436
Title : Evaluation and Recommendation Design of ergonomic Gun Turret Operator's Cockpit using Virtual Environment

Improper design and size of Operator's cockpit can lead to formation of dangerous posture for Operator's health, particularly those associated with injury to the spine. This research was comparing the dimensions of cockpit and components inside it to operator's dimensions and determines whether this type of design is well-designed. Moreover, this research also studied about the sitting posture of operator formed by the design of Gun Turret cockpit. Evaluation of sitting posture using the Posture Evaluation Index (PEI) which counted using configuration of Virtual Environment in software Jack 6.1.

Keywords:

Ergonomic, Ergonomic Design, Anthropometry, War Vehicle, Virtual Environment, Posture Evaluation Index

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Permasalahan	3
1.3. Diagram Keterkaitan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Hipotesis Penelitian	4
1.5. Batasan Penelitian	5
1.6. Metodologi Penelitian	5
1.7. Diagram Alir Metodologi Penelitian	7
1.8. Sistematika Penulisan	9
2. LANDASAN TEORI.....	10
2.1. Ergonomi.....	10
2.2. Work-Related Muskuloskeletal Disorder (WMSD)	11
2.3. Antropometri	13
2.4. Postur Duduk	19
2.4.1. Permasalahan Pada Tulang Punggung	20
2.4.2. Penglihatan, Postur Leher dan Kepala	21
2.5. Virtual Environment	23
2.6. Software Siemens Jack 6.1	26
2.7. Low Back Analysis (LBA)	32
2.8. Ovako Working Posture Analysis (OWAS)	33
2.9. Rapid Upper Limb Assessment (RULA)	37
2.10. Metode Posture Evaluation Index (PEI)	38
Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja	39
Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas	40
Fase Ketiga: Static Strength Prediction	40
Fase Keempat: Low Back Analysis	40
Fase Kelima: Ovako Working Posture Analysis.....	40
Fase Keenam: Rapid Upper Limb Assessment	41
Fase Ketujuh: Evaluasi PEI.....	41
3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	43
3.1. Pengumpulan Data	43
3.1.1. Data Spesifikasi Kokpit operator Kendaraan Tempur Panser Kanon	44

3.1.2.	Data Spesifikasi Kokpit Operator	44
3.1.3.	Data Antropometri	46
3.2.	Pengolahan Data	48
3.2.1.	Pembuatan Virtual Environment.....	50
3.2.2.	Pembuatan Virtual Human Modeling	51
3.2.3.	Pembuatan Postur Operator.....	53
3.2.4.	Menganalisis Kinerja <i>Virtual Human Model</i>	57
3.2.5.	Static Strength Prediction.....	57
3.2.6.	Low Back Analysis	59
3.2.7.	Ovako Working Posture Analysis System	60
3.2.8.	Rapid Upper Limb Assessment.....	61
3.2.9.	Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI).....	63
3.3.	Perancangan Konfigurasi Model.....	64
3.3.1.	Perancangan Konfigurasi Kedalaman Dudukan	69
3.3.2.	Perancangan Konfigurasi sudut kemiringan kursi operator	69
3.3.3.	Perancangan Konfigurasi Tinggi sandaran lengan.....	69
4.	ANALISIS	70
4.1.	Analisis Disain Kokpit Awal	70
4.2.	Analisis Postur Duduk dengan Desain Awal	71
4.2.1.	Analisis Persentil 5 dengan Desain Kokpit Awal (Konfigurasi 1A)	71
4.2.2.	Analisis Persentil 95 dengan Desain Kokpit Awal (Konfigurasi 1B).....	78
4.3.	Analisis Postur Duduk dengan Desain Usulan	84
4.4.	Analisis Postur Duduk Persentil 5 dengan Desain Usulan	86
4.4.1.	Analisis Postur Duduk Persentil 95 dengan Desain Usulan.....	91
5.	KESIMPULAN.....	97
5.1.	Kesimpulan	97
5.2.	Saran	98
DAFTAR PUSTAKA		99
LAMPIRAN		100

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Detail Usulan Berdasarkan Skor OWAS	37
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Pria Indonesia	48
Tabel 3.2 Rumus Perhitungan Dimensi Kursi	67
Tabel 3.3 Nilai Maksimum dan Minimum Dimensi Kursi Usulan.....	67
Tabel 3.4 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat.....	68
Tabel 4.1 Perbandingan Ukuran Kokpit Aktual dengan Desain kokpit Usulan (cm)	70
Tabel 4.2 Rekapitulasi Data Antropometri Operator dengan Persentil 5 (cm).....	71
Tabel 4.3 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Disain awal pada Persentil 5	74
Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1A	78
Tabel 4.5 Rekapitulasi Data Antropometri Operator dengan Persentil 95	78
Tabel 4.6 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Disain awal pada Persentil 95	80
Tabel 4.7 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1B.....	84
Tabel 4.8 Rekapitulasi 24 Konfigurasi Usulan	85
Tabel 4.9 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 5	88
Tabel 4.10 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 95	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	7
Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 2.1 Model Konseptual WMSD.....	12
Gambar 2.2 Perbedaan Tinggi Tubuh Manusia Dalam Posisi Berdiri Tegak Untuk Berbagai Suku Bangsa.....	16
Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural	17
Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional.....	18
Gambar 2.5 Efek Posisi Duduk Terhadap Pelvis.....	20
Gambar 2.6 Bagian Lumbar Vertebrata (kiri) Deformasi Pada Diskus Invertebralis (kanan).....	21
Gambar 2.7 Pandangan Mata (kiri) Tekanan Otot Leher (kanan).....	22
Gambar 2.8 Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i>	24
Gambar 2.9 Lingkungan pada Jack.....	27
Gambar 2.10 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack.....	28
Gambar 2.11 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian.....	31
Gambar 2.12 Model Kode OWAS	34
Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS	35
Gambar 2.14 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS	35
Gambar 2.15 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS	36
Gambar 2.16 Contoh Lembar Kerja RULA.....	38
Gambar 2.17 Diagram Alir Metode PEI.....	39
Gambar 3.1 Model Virtual Kokpit Operator <i>GUN TURRET</i>	44
Gambar 3.2 <i>Detail</i> dimensi Kokpit 1	45
Gambar 3.3 <i>Detail</i> dimensi Kokpit 2	45
Gambar 3.4 Model Virtual Kursi Operator.....	46
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data.....	49
Gambar 3.6 Model Kokpit Operator Panser Kanon.....	50
Gambar 3.7 <i>Command</i> untuk pembuatan Model Manusia Virtual	51
Gambar 3.8 Tampilan Modul <i>Build Human</i>	52
Gambar 3.9 Tampilan Modul <i>Advance Scaling Build Human</i>	52
Gambar 3.10 Tampilan Modul Loads and Weights.....	54
Gambar 3.11 Tampilan Modul Human Control.....	54
Gambar 3.12 Tampilan Modul Asjust Joint.....	55
Gambar 3.13 Hasil Pembuatan Model Duduk Pada Kokpit Operator	56
Gambar 3.14 Hasil Analisis SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 5	58

Gambar 3.15 Hasil Analisis SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 95.....	58
Gambar 3.16 Hasil Analisis LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 5.....	59
Gambar 3.17 Hasil Analisis LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 95.....	59
Gambar 3.18 Hasil Analisis OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 5.....	60
Gambar 3.19 Hasil Analisis OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 95.....	61
Gambar 3.20 Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 5.....	62
Gambar 3.21 Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 95.....	63
Gambar 4.1 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1A.....	72
Gambar 4.2 Grafik SSP Disain awal pada Persentil 5.....	73
Gambar 4.3 Grafik LBA Disain awal pada Persentil 5.....	74
Gambar 4.4 Grafik OWAS Disain awal pada Persentil 5.....	75
Gambar 4.5 Grafik RULA Disain awal pada Persentil 5.....	76
Gambar 4.6 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1B.....	79
Gambar 4.7 Grafik SSP Disain awal pada Persentil 95.....	79
Gambar 4.8 Grafik LBA Disain awal pada Persentil 95.....	80
Gambar 4.9 Grafik OWAS Disain awal pada Persentil 95.....	81
Gambar 4.10 Grafik RULA Disain awal pada Persentil 95.....	83
Gambar 4.11 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5 (Bagian 1).....	86
Gambar 4.12 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5.....	87
Gambar 4.13 Grafik perbandingan Nilai PEI Desain Usulan Persentil 5.....	90
Gambar 4.14 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95 (Bagian 1).....	92
Gambar 4.15 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95 (Bagian 2).....	93
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Persentil 95.....	96

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknik industri adalah suatu disiplin ilmu dalam bidang teknik yang berfokus kepada perancangan, peningkatan dan instalasi dari sistem terintegrasi yang terdiri atas manusia, material, peralatan dan energi. Semua system yang menghasilkan barang maupun menyediakan jasa dapat di optimalisasikan menggunakan ilmu yang dipelajari di teknik industri. Dalam mengoptimalkan suatu system, Ergonomi yang merupakan salah satu focus ilmu teknik industri, mempunyai peranan yang sangat besar dalam meningkatkan kinerja manusia sehingga dapat berinteraksi lebih baik dengan elemen-elemen lain yang ada pada suatu system.

Tujuan dari suatu penelitian pada bidang ergonomi adalah merancang suatu lingkungan pekerjaan yang sesuai dengan tubuh manusia. Dengan begitu maka tingkat kesehatan kerja juga akan bertambah dan dapat meminimalisir kecelakaan kerja yang dapat terjadi karena kurang ergonomisnya suatu lingkungan pekerjaan.

Ilmu ergonomic memiliki ruang lingkup yang sangat luas dan memiliki banyak elemen, salah satunya adalah perancangan (desain). Desain ergonomi suatu perancangan benda yang memperhatikan kemampuan dan batasan-batasan fisik manusia (human factor). Hal ini dilakukan agar produk yang didesain benar-benar sesuai dengan kebutuhan manusia.

Ergonomi dapat diaplikasikan kedalam berbagai macam lingkungan pekerjaan yang mana manusia menjadi salah satu elemen terpenting. Salah satunya adalah bidang militer. Tentara merupakan bagian paling penting dari pertahanan dan kekuatan militer. Unsur paling utama adalah personel pembawa senjata atau pasukan infanteri. Namun, tidak kalah penting, dalam penyerangan, penyergapan, pengintaian, maupun penyusupan, tentara mesti didukung oleh alat angkut personel taktis yakni kavaleri, yang saat ini umum dipakai sebagai sebutan untuk kekuatan tempur darat kendaraan belapis baja.

Sejak 2003, PT Pindad di Bandung, Jawa Barat, telah memproduksi panser dengan kualitas yang membanggakan. Panser Pindad paling canggih saat ini adalah Anoa, *Armoured Personnel Carrier* (APC) beroda 6. Panser ini mulai menjelajah ke pasar ekspor di tahun 2009 karena sudah memenuhi standar Nato di level 3. Artinya tingkat ketahanan dari serangan lebih baik dari level 2 yang di produksi di China dan India. Hanya peluru tertentu saja yang bisa menembusnya dan jarak penembakan juga dari jarak dekat.

Ketahanan dalam desain suatu kendaraan tempur memang suatu hal yang penting. Akan tetapi, factor kesehatan dan kenyamanan dari tentara yang menjadi operator dari kendaraan tersebut juga harus diperhatikan, terutama bila operator sering menggunakan kendaraan tempur dalam rentang waktu yang cukup lama. Bila kendaraan tempur memiliki tingkat ergonomis yang rendah, efek buruk yang akan ditimbulkan oleh kendaraan tempur akan dirasakan oleh operator, sehingga mempengaruhi kinerja dan produktifitas dari operator kendaraan tempur tersebut.

Hasil studi Departemen Kesehatan RI tentang “Profil Masalah Kesehatan Pekerja di Indonesia tahun 2005” menunjukkan, 40,5% pekerja memiliki keluhan gangguan kesehatan yang berhubungan dengan pekerjaannya, seperti: gangguan muskuloskeletal (16,0%), kardiovaskular (8,0%), gangguan saraf (60%), gangguan kulit (1,3%) dan gangguan Telingan Hidung Tenggorokan (1,0%). Gangguan muskuloskeletal merupakan suatu gangguan yang ditimbulkan dari kerja fisik yang dilakukan oleh pekerja seperti gerak janggal yang melewati lingkup gerak sendi, gerak otot statis, dan masa istirahat yang tidak cukup. Gangguan muskuloskeletal ini juga banyak menimpa anggota militer.

Analisis aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap kendaraan tempur meliputi desain dari gun turret panser anoa 6x6 tipe canon. Nilai ergonomis dari desain gun turret kendaraan tempur, dapat diketahui dengan menganalisis spesifikasi ruangan turret serta postur tubuh operator. Sehingga dapat mengurangi gangguan muskuloskeletal pada personil tentara yang menjadi operator dari gun turret.

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

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

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

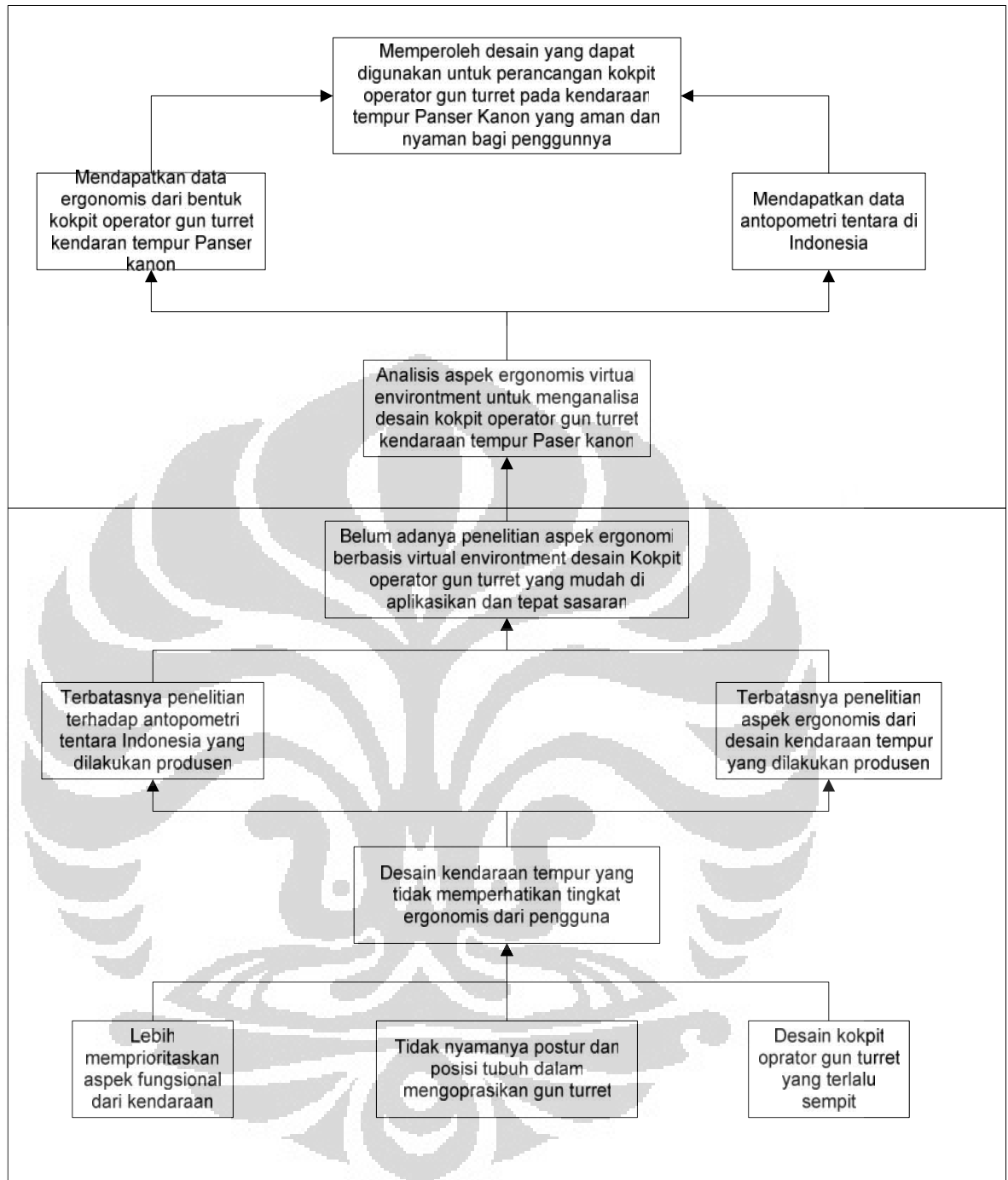
Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan suatu desain ruang operator gun turret yang ergonomis.

1.2. Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka permasalahan utama yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah bahwa belum tersedianya penelitian ergonomis terhadap ruang operator gun turret kendaraan tempur, terutama dalam aspek ergonomis yang mudah diaplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.

1.3. Diagram Keterkaitan Masalah

Untuk dapat melihat permasalahan dalam penelitian ini secara utuh, termasuk bagaimana setiap sub-permasalahan saling berinteraksi dan berhubungan satu sama lain, maka dibuatlah diagram keterkaitan masalah. Berdasarkan latar belakang di atas dibuat diagram keterkaitan masalah seperti pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.4. Tujuan dan Hipotesis Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk menghasilkan suatu desain ruang operator *gun turret* pada kendaraan tempur yang telah memenuhi standar ergonomi dan

memberikan kenyamanan bagi operator *gun turret* kendaraan tempur tersebut. Tujuan ini dicapai dengan analisis aspek ergonomis dari desain ruang operator *gun turret* kendaraan tempur melalui simulasi model manusia berbasis virtual environment yang mudah untuk di aplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.

1.5. Batasan Penelitian

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

1. Objek penelitian adalah kendaraan tempur panser tipe kanon yang masih dalam tahap *Prototype* atau dalam tahap pengembangan
2. Data antropometri yang digunakan merupakan data antropometri Laki-laki Indonesia
3. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa rekomendasi desain Kokpit operator *gun turret* kendaraan tempur 6x6 tipe kanon yang merupakan hasil analisis dengan menggunakan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment* berdasarkan data-data observasi langsung di lapangan dan di laboratorium.
4. Permodelan menggunakan *software* Jack 6.1.
5. Pengambilan data gerakan menggunakan perangkat *Vicon Motion Capture System* yang baru dikembangkan di Laboratorium Faktor-faktor Manusia Departemen Teknik Industri UI. Dengan perangkat ini, semua gerakan tubuh subjek dapat direkam sehingga data pergerakan yang direkam mendekati kondisi yang sebenarnya.
6. Konfigurasi terhadap disain operator *Gun Turret* dapat dilakukan namun tanpa merubah desain *exterior* dari Panser tipe Kanon.

1.6. Metodologi Penelitian

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

1. Pendahuluan
 - a. Menentukan tema dan topik penelitian.
 - b. Melakukan penelitian awal ke objek penelitian untuk mendapatkan gambaran masalah secara keseluruhan

c. Merumuskan permasalahan dan tujuan penelitian.

2. Landasan Teori

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

- a. Dasar-dasar perancangan penelitian
- b. Ergonomi
- c. Prinsip penelitian ergonomi dengan *virtual environment*
- d. Metode *Posture Evaluation Index*
- e. Analisis ergonomi dengan LBA, OWAS, dan RULA

3. Persiapan Pengumpulan Data

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

4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengukuran spesifikasi standar ruang operator gun turret, kemudian melakukan studi literatur terhadap pemetaan kondisi lintasan (kemiringan) yang pernah dilakukan, serta mengumpulkan data antropometri Anggota TNI AD sebagai pengguna kendaraan tempur.

5. Pengolahan data

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

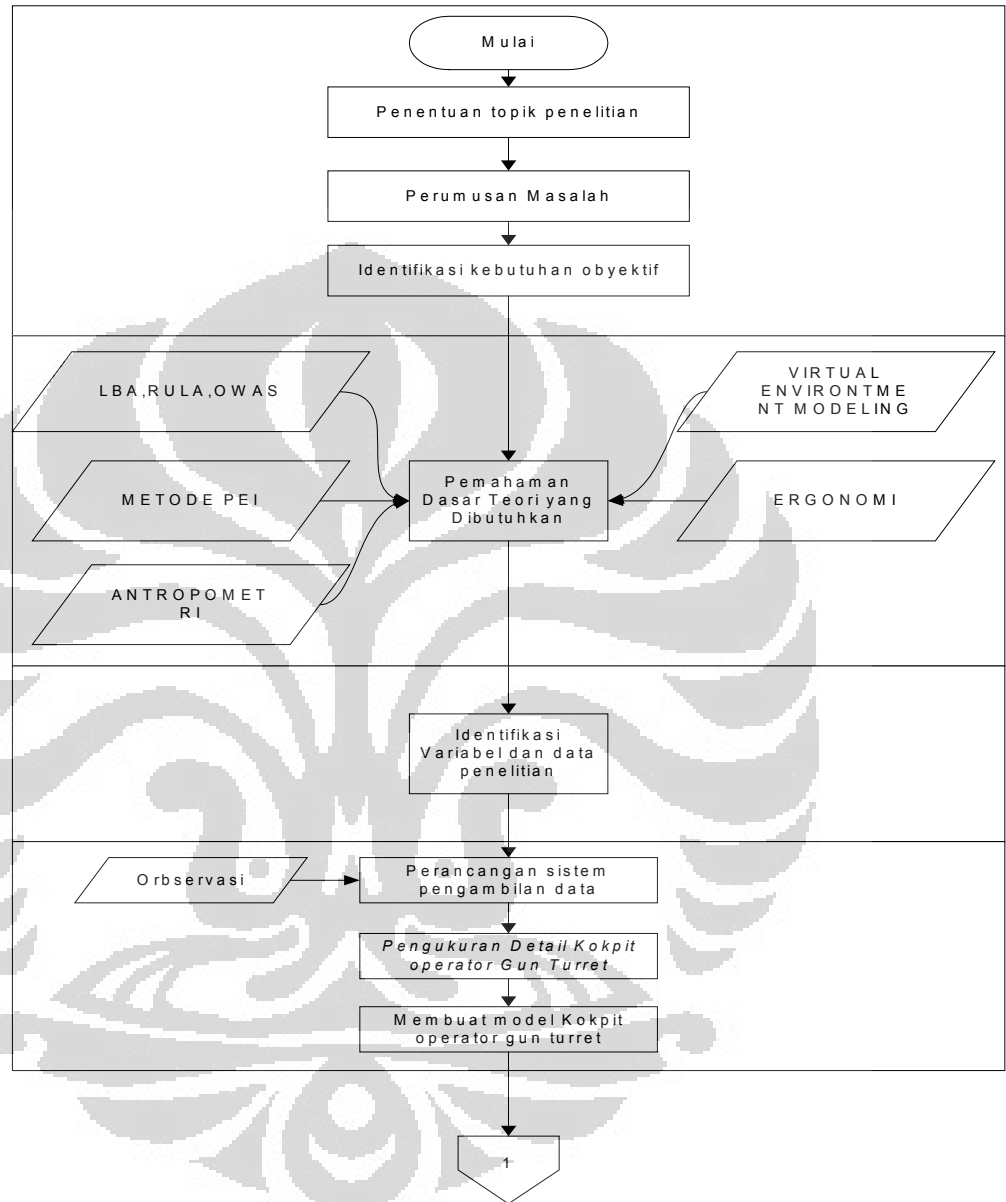
6. Analisis data

Setelah mengolah data maka selanjutnya adalah menganalisis data yang telah didapat dan dioalah tersebut sehingga dapat dilihat apakah tempat kerja tersebut cukup baik dan ergonomis.

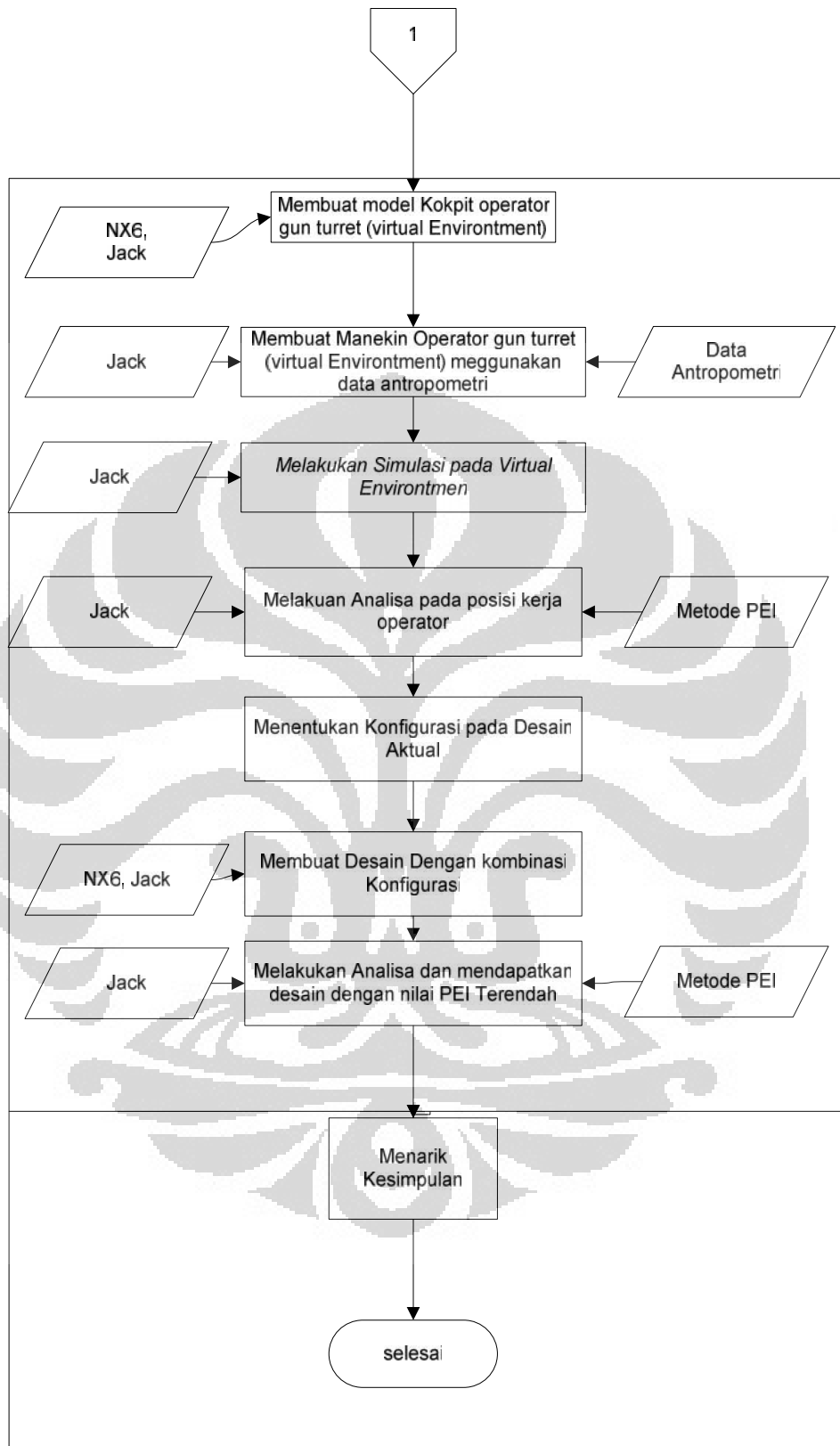
7. Kesimpulan dan saran

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

1.7. Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.8. Sistematika Penulisan

Untuk dapat menuangkan hasil penelitian ke dalam bentuk penulisan yang teratur dan sistematis, maka laporan penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab.

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

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

Bab 3 adalah bab pengumpulan data dan perancangan model. Pada bab ini akan dibahas mengenai berbagai data yang dikumpulkan selama penelitian berlangsung, seperti data ukuran ruang operator gun turret 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 pergerakan ingress/egress penumpang kendaraan tempur serta design ruang operator gun turret pada kendaraan tempur sesuai dengan tujuan penelitian ini.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Ergonomi

Ergonomi merupakan kata yang berasal dari bahasa Yunani. *Ergo* (kerja) dan *nomos* (hukum) merupakan definisi ergonomi yang pertama kali digunakan Wojciech Jastrzebowski dalam sebuah koran Polandia pada tahun 1987 (Karwowski, 1991). Ergonomi sering disangkut pautkan dengan human factors, namun beberapa literatur menyebutkan faktor manusia dan ergonomi sebagai sebuah satu kesatuan yang disebut human factors and ergonomics (HFE). Menurut Helander (1997), pengertian HFE terdiri dari beberapa poin, yang didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang menggunakan informasi tentang kemampuan manusia dan keterbatasannya, serta memerhatikan lingkungan dan hambatan organisasi untuk mendesain sebuah sistem organisasi, pekerjaan, mesin peralatan atau produk yang aman, efisien dan nyaman untuk digunakan.

Menurut International Ergonomics Association (2000), ergonomi dapat didefinisikan sebagai disiplin ilmu yang menaruh perhatian kepada interaksi antara manusia dengan elemen – elemen lainnya dalam suatu sistem dan profesi yang menggunakan teori, prinsip – prinsip, data dan metode untuk mendesain sebuah perancangan yang bertujuan untuk mengoptimasikan kesejahteraan manusia dan kinerja sistem secara keseluruhan. Lebih lanjut lagi, IEA menjelaskan ergonomi sebagai ilmu yang berkontribusi pada desain dan evaluasi sebuah pekerjaan, tugas, produk, lingkungan dan sistem dalam rangka membuat hal – hal tersebut sepadan dengan kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan manusia. Sedangkan McCormick (1993) dalam bukunya menggunakan istilah *human factors* untuk mengistilahkan ergonomi, dan mengatakan ergonomi dapat didefinisikan berdasarkan hal-hal dibawah ini :

1. Fokus dari *human factors* adalah pada interaksi manusia dengan produk, perlengkapan, fasilitas, prosedur, dan lingkungan yang digunakannya dalam bekerja dan dalam kehidupan sehari-hari.

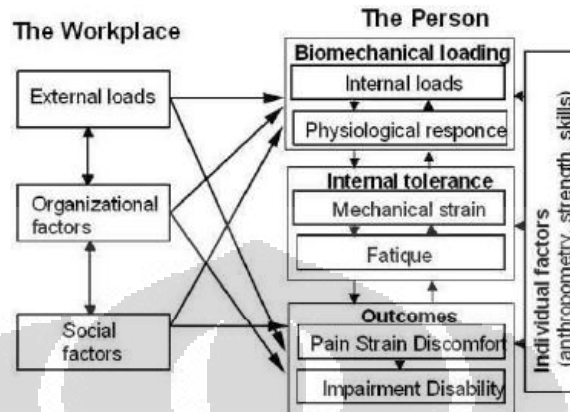
2. Tujuan dari *human factors* ada dua yaitu meningkatkan keefektifan dan keefisienan ditempat bekerja dan aktivitas lain yang dilakukan, sedangkan tujuan yang lain adalah untuk meningkatkan keselamatan kerja, kepuasan kerja, serta kualitas hidup manusia.
3. Pendekatan dari *human factors* adalah pendekatan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

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

2.2. Work-Related Musculoskeletal Disorder (WMSD)

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

pada penggunaan kekuatan otot secara berlebihan dan dilakukan secara repetitif tanpa adanya waktu istirahat yang cukup untuk memulihkan kondisi fisik.



Gambar 2.1 Model Konseptual WMSD

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

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

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

Kemudian, faktor - Faktor sekunder penyebab terjadinya WMSDs adalah:

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

Terakhir, faktor kombinasi penyebab terjadinya WMSD adalah sebagai berikut:

1. Umur, pada umumnya keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 25 – 60 tahun (Choffin, 1979)
2. Jenis kelamin, secara fisiologis kemampuan otot wanita lebih rendah daripada pria.

3. Kebiasaan merokok, semakin lama dan semakin tinggi frekwensi merokok, semakin tinggi pula tingkat keluhan otot yang dirasakan.
4. Kesegaran jasmani.
5. Kekuatan fisik
6. Ukuran tubuh (antropometri)

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

2.3. Antropometri

Definisi Antropometri

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

Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi-dimensi yang tepat berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan

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

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

Variabilitas Manusia

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

a. Usia

Secara umum dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar – seiring dengan bertambahnya umur – yaitu sejak awal kelahiran sampai dengan umur 20 tahunan. Dari penelitian yang dilakukan oleh A.F. Roche dan G.H. Davila (1972)

dalam I Wayan Darma (2004) di USA diperoleh kesimpulan bahwa laki-laki akan tumbuh dan berkembang naik sampai dengan usia 21.2 tahun, sedangkan wanita 17.3 tahun; meskipun ada sekitar 10% yang masih terus bertambah tinggi sampai usia 23.5 tahun (laki-laki) dan wanita 21.1 tahun (wanita). Setelah itu, tidak lagi akan terjadi pertumbuhan justru akan cenderung berubah menjadi penurunan ataupun penyusutan yang dimulai sekitar umur 40 tahunan.

b. Jenis kelamin

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

c. Posisi Tubuh (*Posture*)

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

d. Cacat Tubuh

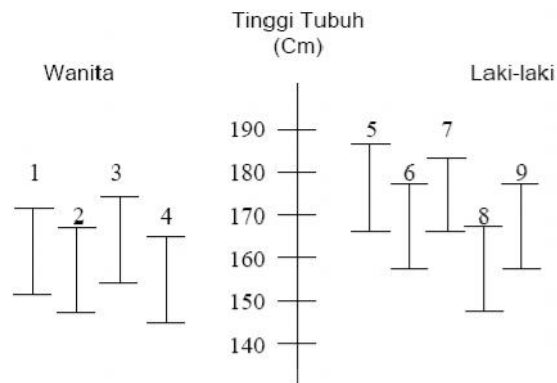
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki/tangan palsu, dan lain-lain).

e. Tebal/Tipisnya Pakaian

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

f. Suku bangsa

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



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

Catatan :

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

g. Kehamilan

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

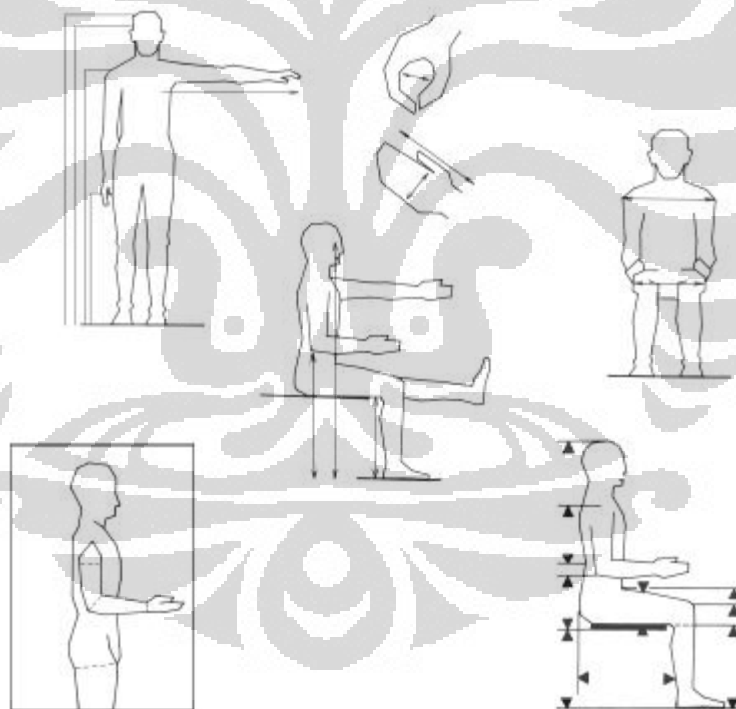
Akhirnya, sekalipun segmentasi dari populasi yang ingin dituju dari rancangan suatu produk selalu berhasil diidentifikasi sebaik-baiknya berdasarkan faktor-faktor seperti yang telah diuraikan; namun adanya variasi ukuran bukan tidak mungkin bisa tetap dijumpai. Permasalahan variasi ukuran sebenarnya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

Data Antropometri

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

- Data Antropometri Struktural

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



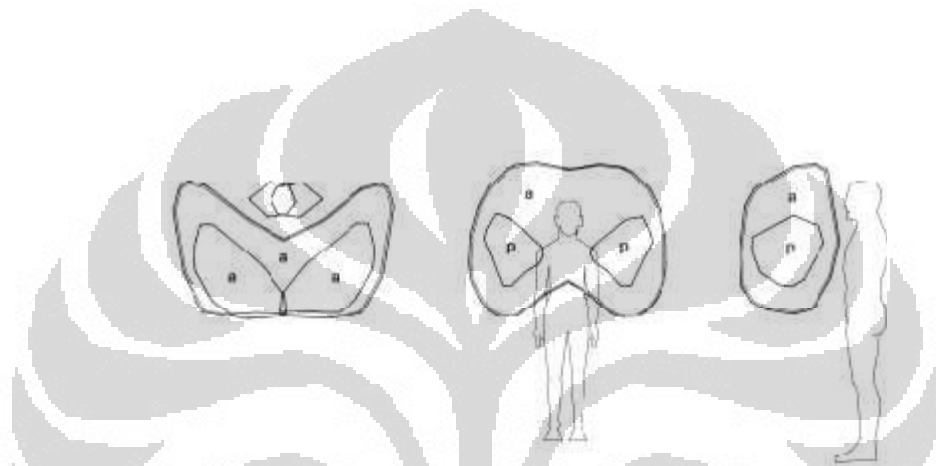
Gambar 2.3 Data Antropometri Struktural

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

- Data Antropometri Fungsional

Data antropometri fungsional dikumpulkan untuk menggambarkan gerakan bagian tubuh terhadap titik posisi yang tetap, seperti misalnya area jangkauan

tangan. Daerah yang berada dalam jangkauan tangan disebut zona jangkauan maksimum, atau dalam hal ini menggunakan istilah “working envelopes”. Berbeda dengan data antropometri structural yang diukur dalam keadaan statis, data antropometri fungsional diukur ketika subjek yang diukur melakukan gerakan – gerakan tertentu yang berkaitan dengan kegiatan yang harus dilakukan. Contoh data antropometri fungsional dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Data Antropometri Fungsional

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

- **Data Antropometri Newtonian**

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

Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan

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

2.4. Postur Duduk

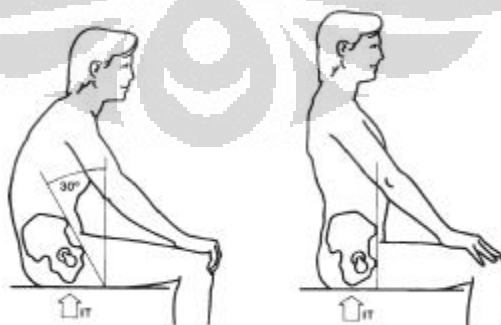
Teori tentang postur duduk pertama kali dikeluarkan pada tahun 1884. Teori tersebut bernama "*hygienic*" *sitting postures*. Staffel (1884) merekomendasikan postur duduk yang tegak pada bagian leher, punggung dan kepala, dengan kondisi *lordosis* yang normal pada bagian *lumbar* dan *cervic*, serta kondisi *kyphosis* yang ringan pada bagian *thoracic spine*, yang menyerupai postur tulang belakang pada saat berdiri tegak. Pada periode 1880, banyaknya proposal desain yang masuk untuk furniture sekolah, termasuk kursi dan kombinasi antara kursi dan meja (Zacharkow,1988), dipercaya sesuai untuk mempromosikan postur duduk tersebut.

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

2.4.1. Permasalahan Pada Tulang Punggung

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

Namun, meskipun postur kerja dalam keadaan duduk memiliki keunggulan dibandingkan postur kerja berdiri, postur duduk yang lama dalam sehari, beresiko menyebabkan terjadinya *low back pain* (Hoggendoorn *et al.*, 2000). Postur duduk yang baik seringkali dikaitkan dengan postur duduk tegak dengan derajat kemiringan antara batang tubuh dengan paha sebesar 90 derajat. Namun, postur duduk seperti ini berpeluang besar membuat tulang punggung merosot ke depan (Mandal, 1981,1991). Posisi merosot ini dikarenakan oleh beban statis yang diberikan oleh leher dan kepala kearah bawah. Posisi ini menyebabkan tingkat deformasi yang cukup tinggi dari diskus intervertebralis, yaitu bantalan *fibrocartilage* yang bersifat rawan, yang menghubungkan antara ruas – ruas tulang belakang.



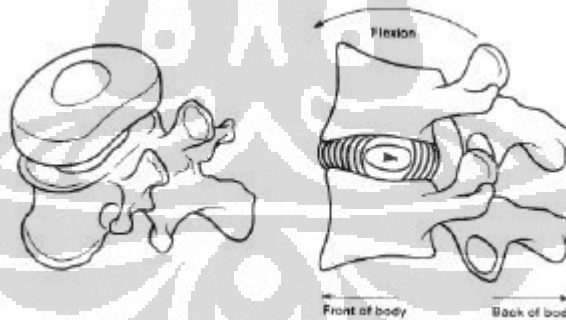
Gambar 2.5 Efek Posisi Duduk Terhadap Pelvis

Agar dapat meminimalisasi gangguan pada bagian ruas – ruas tulang belakang, kursi perlu dibuat sedemikian rupa sehingga membuat pemakainya berada dalam

posisi netral tanpa menimbulkan beban yang berlebihan pada ruas – ruas tulang punggung, yang juga memungkinkan pengguna dapat mengadopsi posisi yang baik secara fisiologis dan nyaman. Keadaan seperti ini dapat dicapai dengan tiga cara, yaitu:

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

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



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

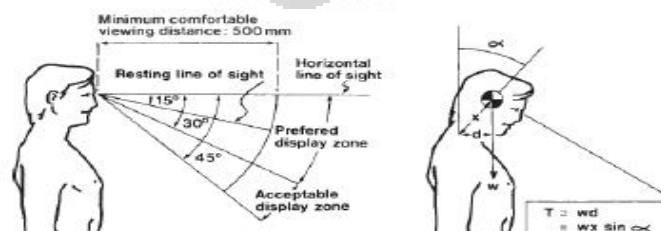
2.4.2. Penglihatan, Postur Leher dan Kepala

Pekerjaan yang membutuhkan bantuan ketelitian mata dalam pengerjaannya sangat dipengaruhi oleh lokasi tempat mata memandang. Namun, pandangan mata sangat dipengaruhi pula oleh postur leher dan kepala. Mata memiliki daerah pandangan mata, yang disebut *visual field*. Ketika memandang sebuah objek, mata

mata akan terfokus pada bagian tengah dari visual field, yang merupakan bagian yang paling sensitif ketika melakukan tugas yang membutuhkan pandangan mata, seperti membaca, menulis atau mengenali wajah. Bagian tengah tersebut dikenal dengan nama *foveal vision*, yang memiliki daerah pandang dari garis tengah *central fixation* hingga 5 derajat dari garis tersebut.

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

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



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

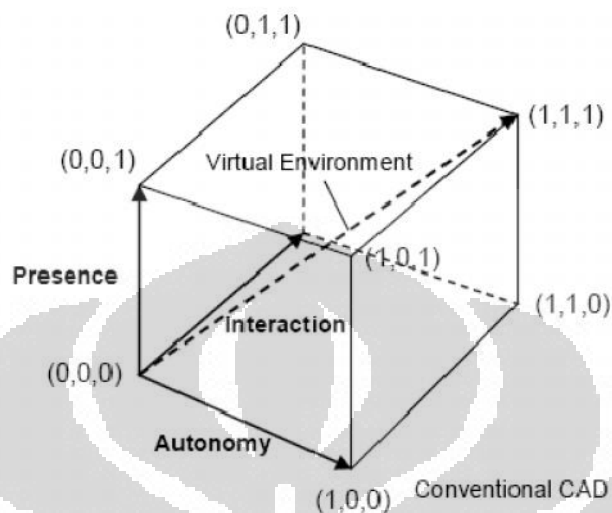
Kenyamanan juga menjadi salah satu faktor utama dari pandangan mata terhadap objek yang diletakkan di depan mata pada jarak – jarak tertentu. Lensa mata akan berada dalam kondisi rileks jika memandang benda yang berada pada jarak lebih dari 6 meter di depan mata. Sedangkan untuk melihat benda yang berada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

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

2.5. Virtual Environment

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

yang kesemuanya berada pada nilai maksimalnya dalam kubus Zelter. Gambar 2.5 di bawah menunjukkan dimensi dari *virtual reality*.



Gambar 2.8 Kubus Zelter untuk Konsep *Virtual Reality*

Zelter menyatakan bahwa:

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

Menurut Kalawsky, R. (1993b), dalam *virtual reality*, titik (1,1,1) sebagai (O,I,K) dalam kubus Zelter menunjukkan kondisi dimana simulasi dapat benar-benar merepresentasikan dunia nyata sehingga akan sulit dibedakan antara dunia nyata dengan simulasi tersebut. Titik (0,1,0) mengindikasikan bahwa pengguna dapat mengontrol semua variabel dari objek atau model secara *real time* selama program berjalan. Sedangkan, titik (0,1,1) merepresentasikan sebuah situasi

dimana terdapat tingkat otonomi dan keberadaan yang tinggi, tetapi dengan tingkat interaksi yang rendah. Di dunia ini, seorang manusia dapat menjadi peneliti pasif dengan kebebasan yang dia miliki dilihat dari sudut pandangnya, tetapi tetap memungkinkan “mencelupkan” dirinya pada lingkungan virtual.

Virtual environment memiliki atribut seperti di bawah ini:

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

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

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

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

- Dalam bidang arsitektur, VE digunakan untuk mengevaluasi desain dari struktur baru.
- Dalam bidang pendidikan dan pelatihan, VE digunakan untuk memperlihatkan pada orang bentuk-bentuk dunia seperti permukaan planet, model molekul, atau bagian dalam dari tubuh hewan. VE juga sudah digunakan untuk keperluan pelatihan pilot dan pengendara.

- Dalam bidang hiburan, VE digunakan oleh studio film, pembuat *video game*, dan perusahaan mainan.
- Dalam bidang kesehatan, VE digunakan dalam perencanaan terapi radiasi dan simulasi bedah untuk keperluan pelatihan.
- Dalam bidang informasi, VE digunakan untuk menyajikan sebuah set data yang rumit dalam bentuk yang mudah dimengerti.
- Dalam bidang ilmu pengetahuan, VE digunakan untuk memodelkan dan mengkaji sebuah fenomena yang rumit di komputer
- Dalam bidang *telepresence*, VE telah digunakan untuk mengembangkan alat kontrol dari robot (*telerobot*).

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

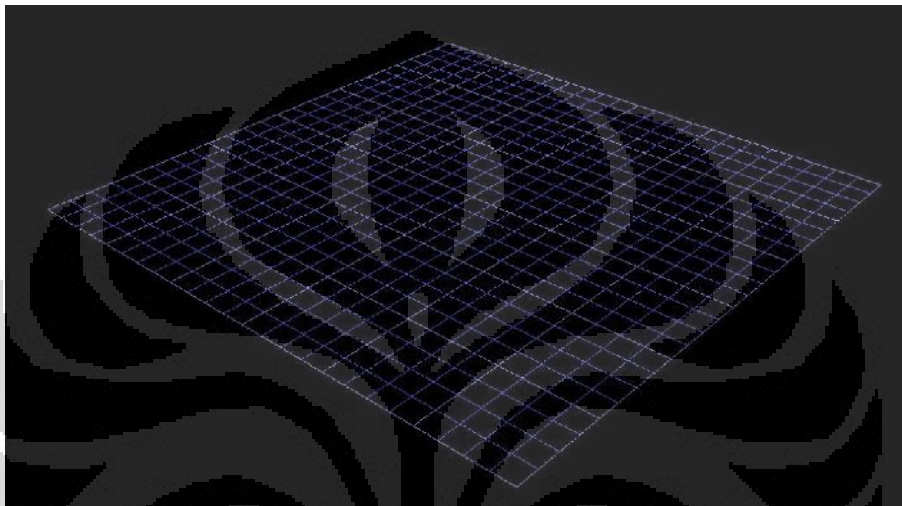
- Penilaian ergonomis tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja.
- Pelatihan teknisi pemeliharaan, misalnya untuk bekerja di lingkungan yang berbahaya.
- Perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi
- Pelatihan umum untuk industri, termasuk prosedur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

2.6. Software Siemens Jack 6.1

Pendahuluan Mengenai Jack

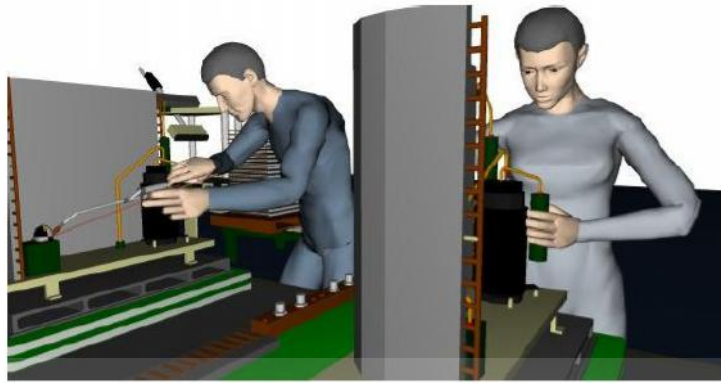
Software Jack merupakan sebuah *software* yang berfungsi untuk mensimulasikan atau memodelkan rangkaian pekerjaan. Simulasi dari rangkaian pekerjaan tersebut, dengan *software Jack* kemudian akan dianalisis dengan menggunakan perangkat analisis untuk dilihat sejauh mana kelayakan suatu desain dan lingkungan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

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



Gambar 2.9 Lingkungan pada Jack

Model manekin pada Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan. Jack telah memperhatikan keseimbangan tubuh, mampu melakukan kegiatan berjalan, dan dapat diberikan perintah untuk mengangkat suatu benda. Model pada Jack juga memiliki “kekuatan” dan jika telah melebihi batas tertentu, maka Jack dapat memberikan peringatan pada penggunanya. Selain itu, pengguna Jack dapat membuat model pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran tubuh, berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Jack 6.1 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 untuk membuat model. Namun, Jack juga menyediakan formulir khusus jika pengguna ingin membuat model manekin berdasarkan data antropometri yang ingin diteliti. Gambar 2.10 menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



Gambar 2.10 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack
Sumber: Jack Base Manual Version

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

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

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

1. Membuat *virtual environment* pada Jack.
2. Membuat *virtual human*.
3. 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.

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)*.

Static Strength Prediction (SSP)

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

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

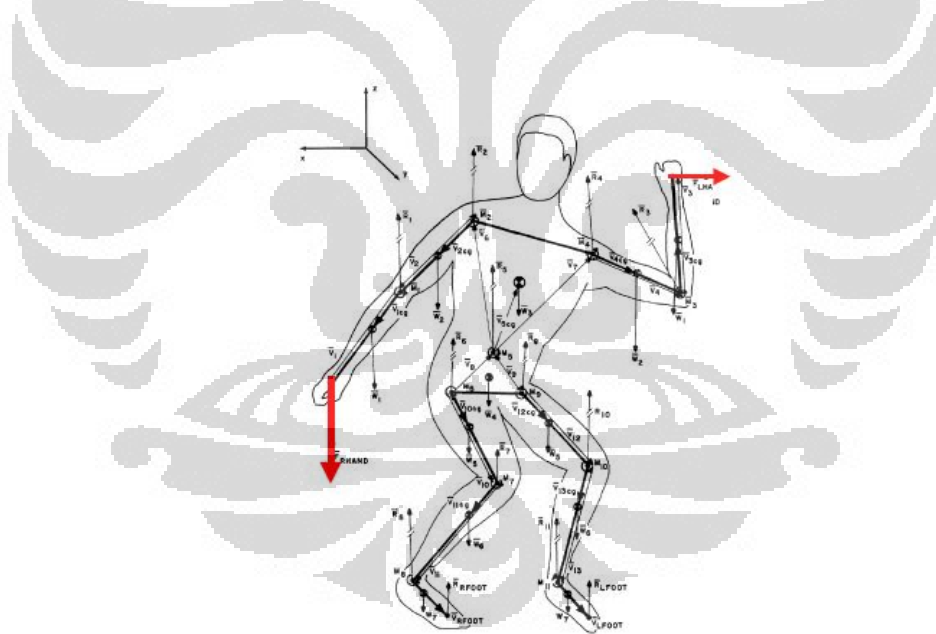
SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika diaplikasikan dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit dan bergerak. Pada tubuh manusia pergerakan otot akan membuat tulang cenderung berotasi pada setiap persendiaan yang ada. Besarnya kecenderungan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

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

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

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

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul, maka data tersebut diolah dengan mekanika Newton. Gaya yang didapatkan tubuh dari luar akan dikalikan dengan jarak antara titik tempat tubuh menerima gaya luar tersebut dengan persendian. Yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Gambar 2.11 adalah model biomekanikal manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan sebuah aktivitas.



Gambar 2.11 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian

Metode SSP dapat digunakan untuk membantu:

- Menganalisis tugas dan kerja yang berkaitan dengan operasi *manual handling* meliputi proses mengangkat, menurunkan, mendorong, dan menarik.

- Memprediksi persentase pekerja pria dan wanita yang memiliki kemampuan statis untuk melaksanakan sebuah tugas.
- Memberikan informasi apakah kebutuhan dari postur kerja yang digunakan melebihi batasan dalam standar NIOSH atau batasan kemampuan yang ditentukan sendiri.

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

2.7. Low Back Analysis (LBA)

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

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

Metode ini menggunakan sebuah model biomekanika kompleks dari tulang belakang manusia yang menggabungkan anatomi terbaru dan data-data fisiologis

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

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

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

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

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

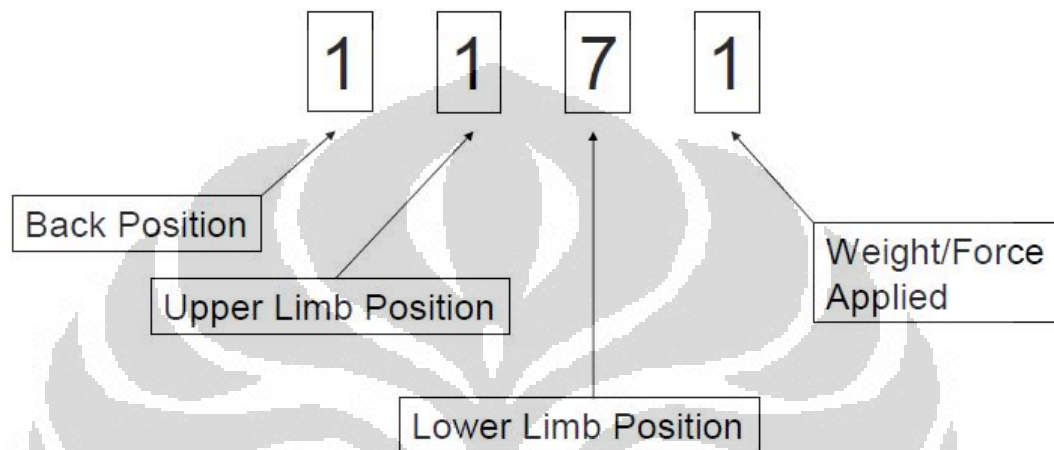
2.8. Ovako Working Posture Analysis (OWAS)

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

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

- Penelitian dan pengembangan

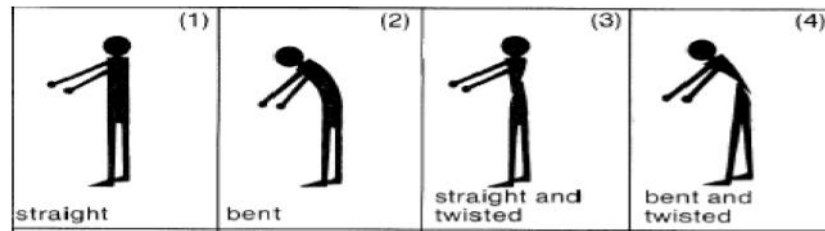
Metode ini menilai empat bagian tubuh yang dirangkum dalam 4 digit kode (Gambar 2.12). Angka pertama dalam kode untuk menjelaskan postur kerja bagian *back* (tulang punggung), digit kedua adalah bagian *upper limb*, digit ketiga *lower limb* dan terakhir adalah beban yang digunakan selama proses kerja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



Gambar 2.12 Model Kode OWAS
Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

1. Postur Bagian Punggung

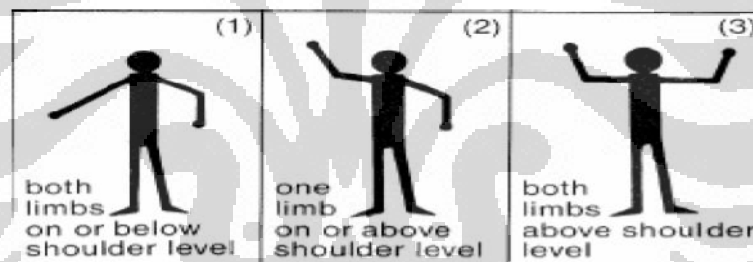
Seperti telah disebutkan sebelumnya, angka pertama dari kode OWAS merupakan kode yang mendefinisikan posisi atau postur bagian punggung manusia. Posisi punggung manusia ini diklasifikasikan ke dalam 4 jenis posisi yang masing – masing posisi tersebut memiliki kode angka mulai dari angka 1 hingga angka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



Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Punggung dalam Metode OWAS
 Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

2. Posisi Tungkai Bagian Tubuh Atas

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



Gambar 2.14 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

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

3. Posisi Tungkai Tubuh Bagian Bawah

Angka ketiga dari sistem 4 angka dari kode OWAS merupakan angka yang mendefinisikan posisi tungkai dari bagian tubuh bawah (kaki). Posisi kaki dalam

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



Gambar 2.15 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas dalam Metode OWAS

Sumber : Raemy, *Ergonomics Assessments Methods*

4. Beban Ditanggung / Gaya yang Dikerjakan

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

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

Tabel 2.1 Detail Usulan Berdasarkan Skor OWAS

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

Sumber: *Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002*

2.9. Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

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

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

Metode RULA akan membantu penggunanya untuk:

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

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

RULA Employee Assessment Worksheet

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

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

Step 1a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or prone to leaning: -1
 Final Upper Arm Score =

Step 2: Locate Lower Arm Position

Step 2a: Adjust...
 If arm is working within midline of the body: +1
 If arm out to side of body: -1
 Final Lower Arm Score =

Step 3: Locate Wrist Position

Step 3a: Adjust...
 If wrist is bent from the neutral: +1
 Final Wrist Score =

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

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

Step 6: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute): 0
 If load repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1
 Muscle Use Score =

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

Step 8: Find Row in Table C
 The combined score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row in Table C.
 Final Wrist & Arm Score =

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

Step 9a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side-bending: +1
 Final Neck Score =

Step 10: Locate Trunk Position

Step 10a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side-bending: +1
 Final Trunk Score =

Step 11: Legs
 If legs & feet supported and balanced: +1
 If not: +2
 Final Leg Score =

Table A

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

Table B

	1	2	3	4	5	6
Neck	1	2	3	4	5	6
Trunk	1	2	3	4	5	6
Legs	1	2	3	4	5	6
Final Score	1	2	3	4	5	6

Table C

Final Wrist & Arm Score	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Final Score

Subject: _____ Date: ____/____/____
 Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

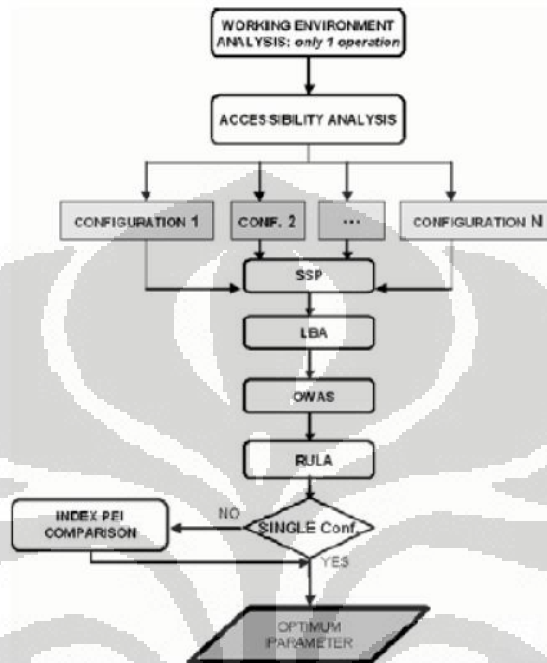
FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

Gambar 2.16 Contoh Lembar Kerja RULA
 Sumber: Hedge, 2000

2.10. Metode Posture Evaluation Index (PEI)

Metodologi PEI dan WEI dikembangkan oleh Prof. Frans Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D dari University of Naples Federico II, Italia. Metodologi ini dikembangkan berdasarkan aplikasi *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack. Tujuan dari penggunaan metodologi ini adalah untuk melakukan optimalisasi terhadap fitur geometri pada sebuah stasiun kerja. Dengan optimalisasi yang dilakukan, postur kerja yang paling memberikan kenyamanan pada pekerja, dalam berbagai macam persentil populasi, dapat ditentukan¹⁷.

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



Gambar 2.17 Diagram Alir Metode PEI
Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

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.

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.

Fase Ketiga: Static Strength Prediction

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

Fase Keempat: Low Back Analysis

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

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.

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.

Fase Ketujuh: Evaluasi PEI

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

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

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

dimana:

$I1 = LBA/3400$ N, $I2 = OWAS/4$, $I3 = RULA/7$, dan mr adalah *amplification factor* dengan nilai 1,42.

Definisi dari PEI dan penggunaan dari ketiga buah metode analisis (LBA, OWAS, RULA) bergantung terhadap hal-hal berikut. Faktor-faktor yang menjadi penyebab utama dari pembebanan yang berlebihan pada biomekanikal adalah: repetisi, frekuensi, postur, usaha kerja, dan waktu pemulihan. Faktor yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kegiatan adalah postur ekstrim, khususnya pada tubuh bagian atas. Konsekuensinya, perhatian yang lebih harus diberikan pada evaluasi tingkat ketidaknyaman pada *lumbar disc* L4/L5 (pengaruh $I1$) dan evaluasi dari tingkat kelelahan pada tubuh bagian atas (pengaruh $I3$). PEI memungkinkan penggunaanya untuk menentukan modus operandi untuk menjalankan kegiatan kerja dalam cara yang sederhana. Faktanya, postur optimal yang berkaitan dengan kegiatan dasar adalah postur kritis dengan nilai PEI minimum. Variabel yang mempengaruhi nilai akhir PEI bergantung pada tingkat ketidaknyaman pada postur yang dianalisis: semakin tinggi tingkat ketidaknyaman, semakin tinggi nilai PEInya.

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

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab ini akan dibahas tentang data-data yang digunakan seperti ukuran dan dimensi dari Kokpit operator *Gun Turret*, Data antropometri laki-laki Indonesia, proses pengumpulan data-data yang digunakan dan proses pembuatan desain berdasarkan data-data yang ada serta proses simulasi menggunakan *software* Jack 6.1

3.1. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini dibutuhkan data masukan untuk menyusun virtual environment dan virtual human modeling dalam *software* Jack 6.1. Data masukan yang dibutuhkan tersebut didapatkan dari desain yang telah tersedia dari PT. PINDAD Persero. Dalam pembuatan virtual environment, diperlukan data – data yang berhubungan dengan objek penelitian berlangsung, dalam hal ini adalah Kokpit Operator *Gun Turret* panser kanon. Dalam kokpit, dilihat hal – hal yang berinteraksi langsung dengan Operator dalam proses pengoperasian *Gun Turret* panser kanon. Terdapat beberapa objek yang berinteraksi langsung dengan Operator selama pengoperasian *Gun Turret*. Oleh karena itu, untuk membuat sebuah virtual environment dibutuhkan data spesifikasi dari objek-objek yang berinteraksi langsung dengan operator tersebut berdasarkan spesifikasi militer yang ada.

Untuk pembuatan model manusia virtual (*virtual human modeling*) dibutuhkan data antropometri dari pengguna Panser kanon, namun karena kendaraan ini masih dalam tahap pengembangan dan belum dipasarkan, sehingga digunakan data Pria Indonesia yang merupakan representative dari Operator yang akan mengoperasikan *Gun Turret* ini.

3.1.1. Data Spesifikasi Kokpit operator Kendaraan Tempur Panser Kanon

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

1. Kokpit
2. Kursi operator
3. *Joy Stick* Penggerak *Gun Turret*

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

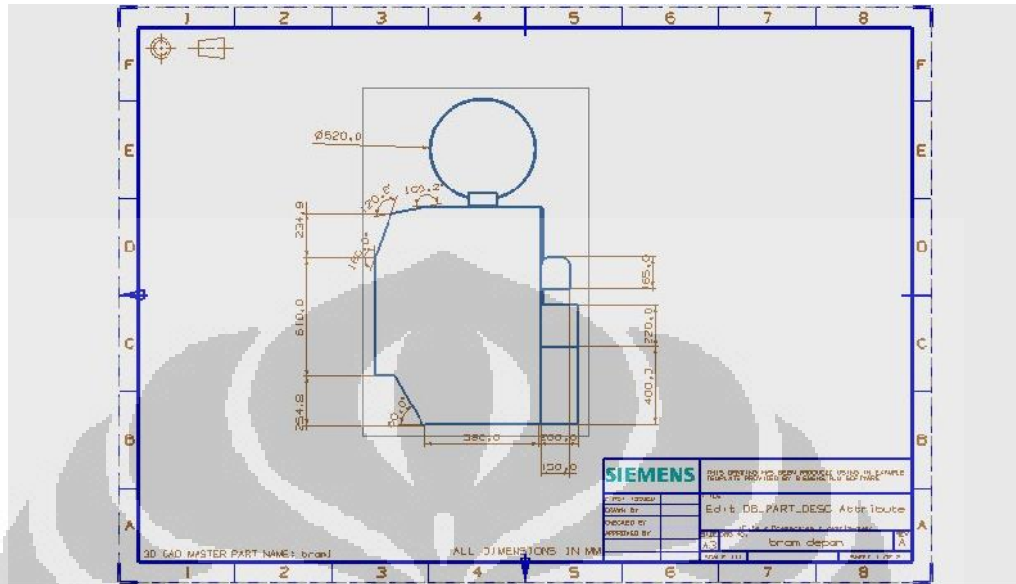
3.1.2. Data Spesifikasi Kokpit Operator

Kokpit merupakan hal yang terpenting didalam objek penelitian ini. Kokpit yang tersedia menjadi batas gerak yang mungkin terjadi dalam proses pengoperasian *Gun Turret*. Berikut ini adalah detail spesifikasi ruang Kokpit yang tersedia dalam desain yang diberikan oleh PT. Pindad Persero.

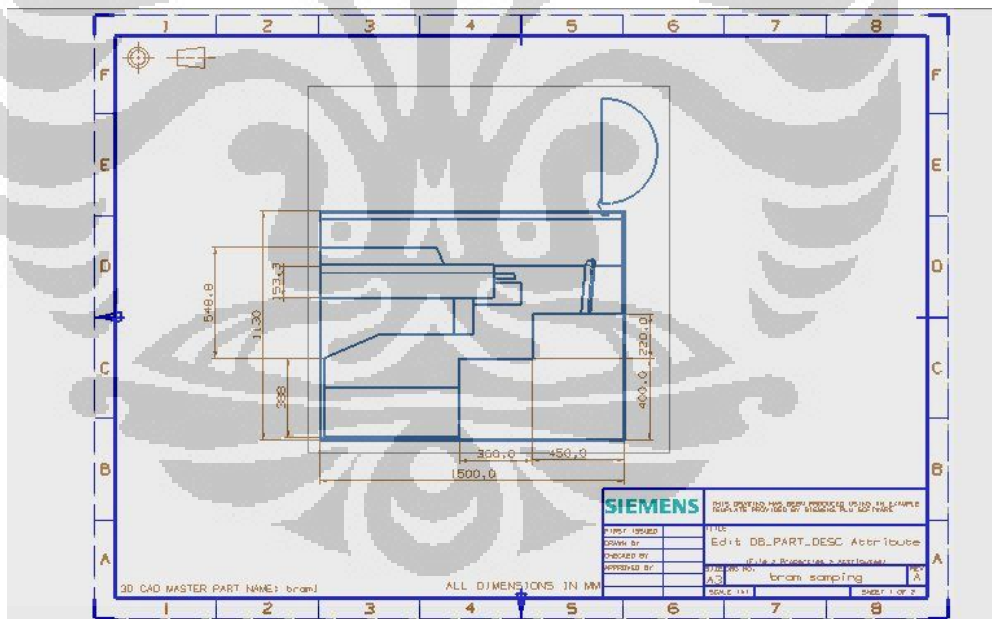


Gambar 3.1 Model Virtual Kokpit Operator *GUN TURRET*

Detail ukuran yang digunakan untuk membuat model Kokpit dalam *Virtual Environment* akan dijelaskan oleh gambar dan data dibawah ini :



Gambar 3.2 Detail dimensi Kokpit 1



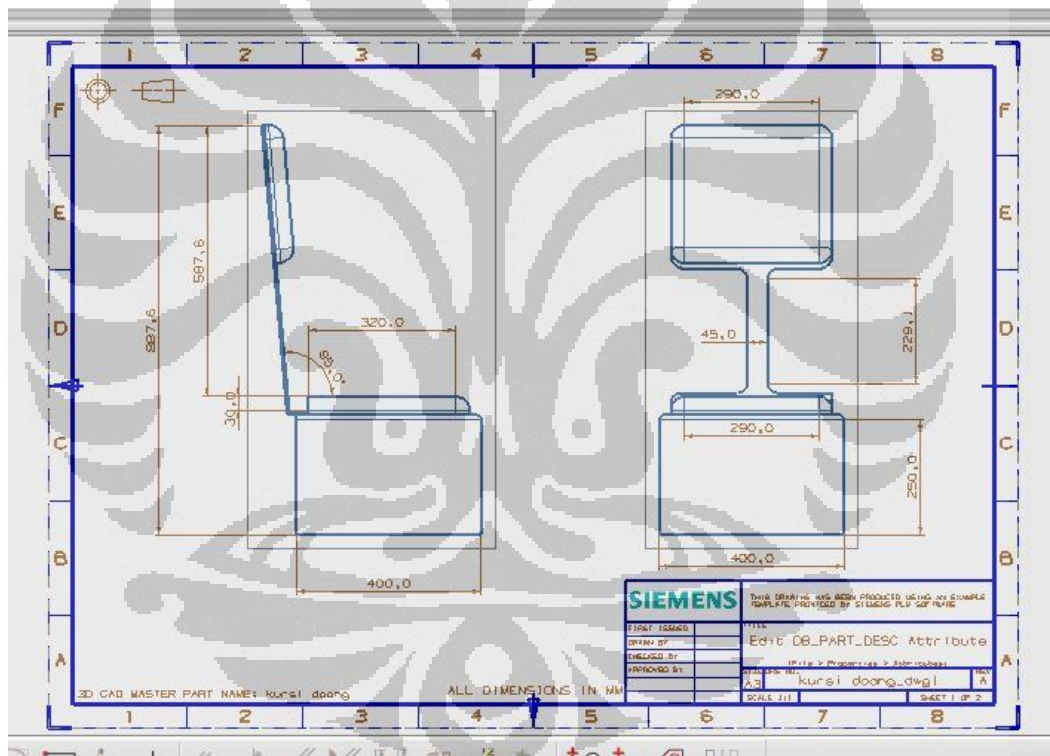
Gambar 3.3 Detail dimensi Kokpit 2

- Panjang alas : 150 cm
- Lebar alas : 70 cm
- Tinggi Kokpit : 110 cm (jarak dari alas ke titik tertinggi Kokpit)

Data spesifikasi kursi operator

Kursi operator merupakan suatu hal yang penting di dalam kokpit operator *Gun Turret*. Kursi operator menentukan seperti apa postur yang terbentuk di dalam Kokpit operator tersebut. Berikut ini adalah data spesifikasi dari kursi operator yang didapat.

- Panjang alas duduk : 32 cm
- Lebar alas duduk : 29 cm
- Panjang senderan kursi : 58,7 cm
- Lebar senderan kursi : 29 cm
- Tebal kursi : 4 cm



Gambar 3.4 Model Virtual Kursi Operator

3.1.3. Data Antropometri

Data antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia virtual (*virtual human model*) adalah data antropometri Pria Indonesia. Pemilihan penggunaan data antropometri Pria Indonesia disebabkan oleh status dari Panzer Kanon yang masih dalam tahap penggunaan yang berarti tipe panzer ini belum

dipasarkan dan belum digunakan secara umum oleh Angkatan Darat, Angkatan laut, Maupun Polisi sehingga diputuskan untuk menggunakan data Antropometri Pria Indonesia . Data antropometri tersebut diperoleh dengan cara melakukan pengukuran langsung menggunakan peralatan antropometer terhadap Mahasiswa Indonesia dengan sampel sebanyak 245 orang (Pria) responden.

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

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

Pengambilan data antropometri dilakukan dengan peralatan antropometer. Semua ukuran dimensi antropometri diambil dalam satuan sentimeter (cm) dan untuk berat badan diukur dalam satuan kilogram (kg).

Berdasarkan hasil pengambilan data, kemudian dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan data antropometri Pria Indonesia dengan persentil 5 dan persentil 95. Rincian data persentil yang diolah dari data antropometri tinggi, berat badan, serta beberapa dimensi tubuh lainnya dapat dilihat pada rekapitulasi data dibawah ini.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Pria Indonesia

no	dimensi	Persentil 5	persentil 95
1	Tinggi	162	183
2	Tinggi lutut saat duduk	46	62
3	Tinggi popliteal	38	49
4	panjang telapak kaki	22	29
5	jarak bokong ke lutut depan	48	64
6	jarak bokong ke lutut belakang	40	54
7	tinggi bahu dari tempat duduk	52	67
8	tinggi mata dari tempat duduk	69	84
9	tinggi kepala dari tempat duduk	80	96
10	jarak bahu ke siku	31	37
11	jarak siku ke ujung jari	42	56
12	lebar bahu	36	52
13	lebar pelana	26	35
14	lebar bokong	28	43
15	lebar perut	15	29
16	Berat Badan	50	89.25

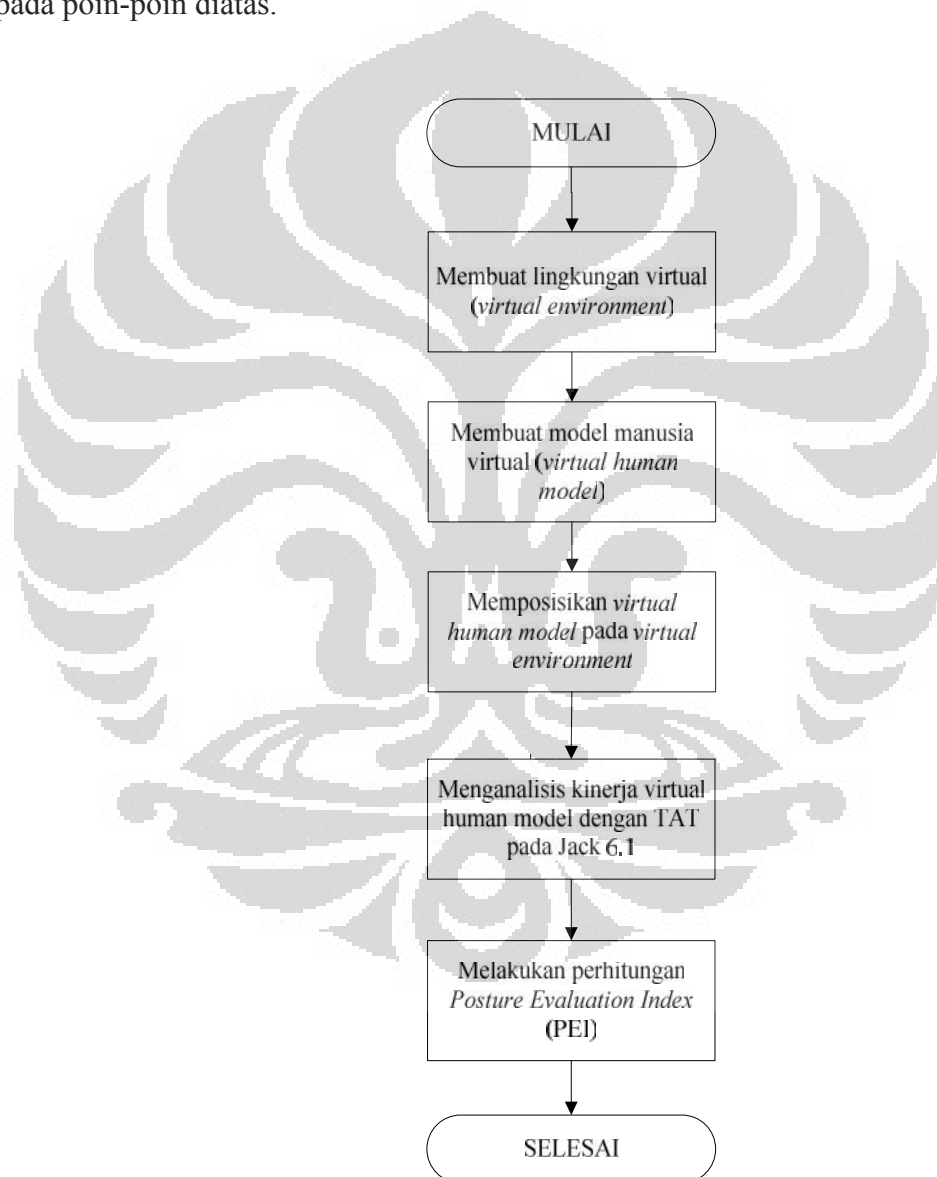
3.2. Pengolahan Data

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

1. Membuat lingkungan virtual (*virtual environment*)
2. Membuat model manusia virtual (*virtual human model*)

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

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

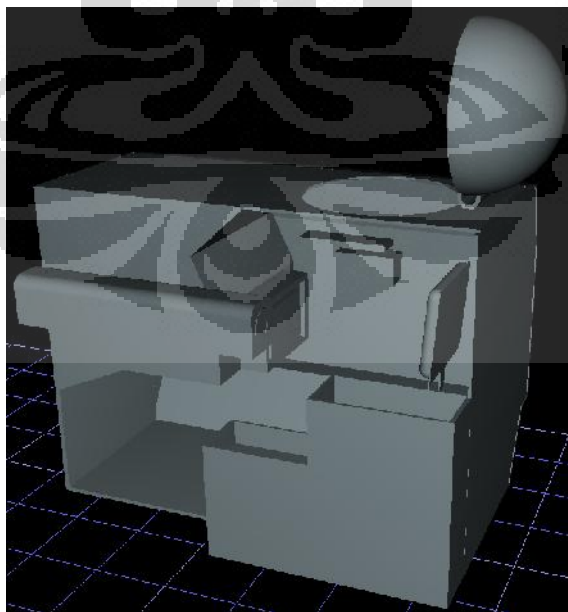


Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data

3.2.1. Pembuatan Virtual Environment

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

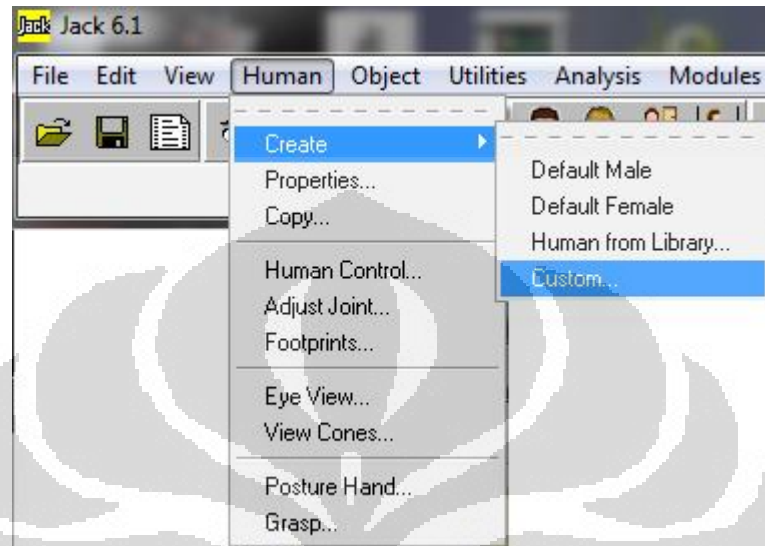
Setelah membuat model dalam *software* NX 6.0, model Kokpit operator yang dihasilkan memiliki format standar yaitu (.prt). Kemudian model Kokpit operator yang dihasilkan dirubah ke dalam format (.igs) agar dapat diimport ke dalam *software* Jack 6.1. Setelah pengubahan format, file langsung bisa diimport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



Gambar 3.6 Model Kokpit Operator Panser Kanon

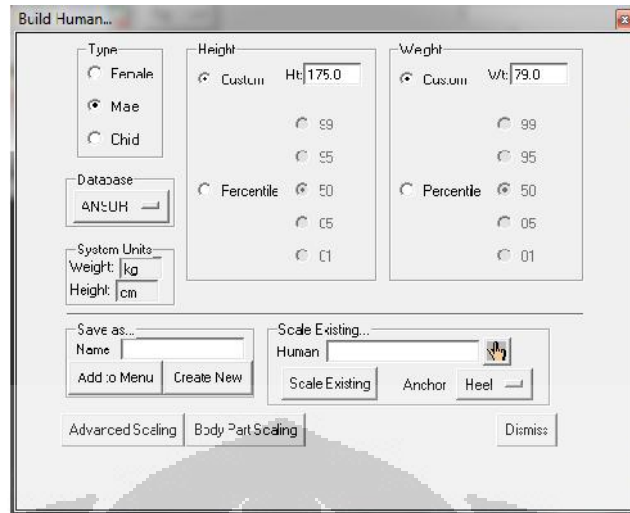
3.2.2. Pembuatan Virtual Human Modeling

Dari data dimensi-dimensi tubuh yang didapat kemudian dimasukkan ke dalam fitur Build Human yang ada dalam *software* Jack 6.1.

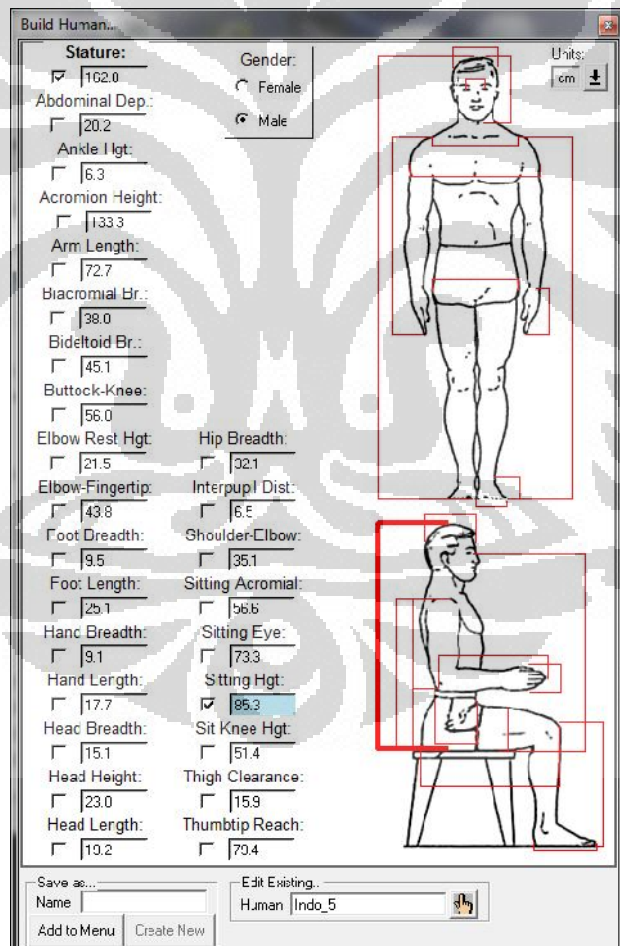


Gambar 3.7 *Command* untuk pembuatan Model Manusia Virtual

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



Gambar 3.8 Tampilan Modul *Build Human*



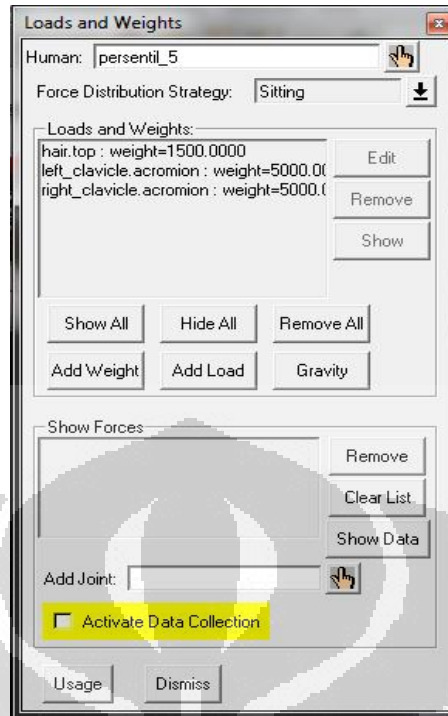
Gambar 3.9 Tampilan Modul *Advance Scaling Build Human*

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

3.2.3. Pembuatan Postur Operator

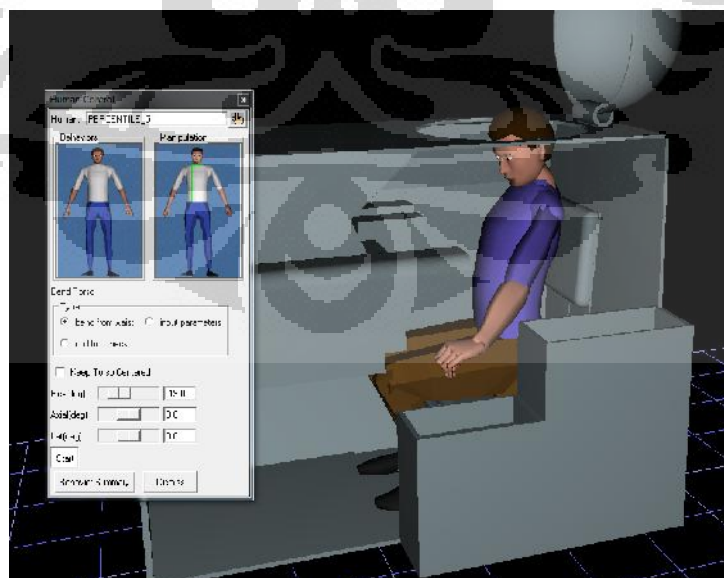
Memposisikan virtual human model pada virtual environment merupakan tahap selanjutnya pada pengolahan data ini sehingga membentuk postur duduk pada Kokpit operator secara virtual. Pembentukan postur duduk dilakukan setelah pembentukan model manusia virtual (*virtual human modeling*) selesai dilakukan. Postur operator yang disimulasikan disesuaikan dengan model-model yang saling berinteraksi dalam Kokpit operator, yaitu kursi operator, pedal gas dan rem, serta tuas kemudi dan dibatasi oleh ruang Kokpit yang tersedia.

Seperti telah dibahas sebelumnya, model manusia yang akan dipakai dalam analisis penelitian ini adalah model Pria Indonesia dengan persentil 5 dan persentil 95. Pembuatan postur duduk dalam *software* Jack 6.1 harus dilakukan dengan seksama agar postur duduk dalam keadaan yang sesuai dengan rancangan awal. Postur duduk dibuat pertama-tama dengan mengkondisikan posisi model manusia virtual agar berada dalam kondisi duduk dan kemudian model manusia diberikan beban kerja yang dialami sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini



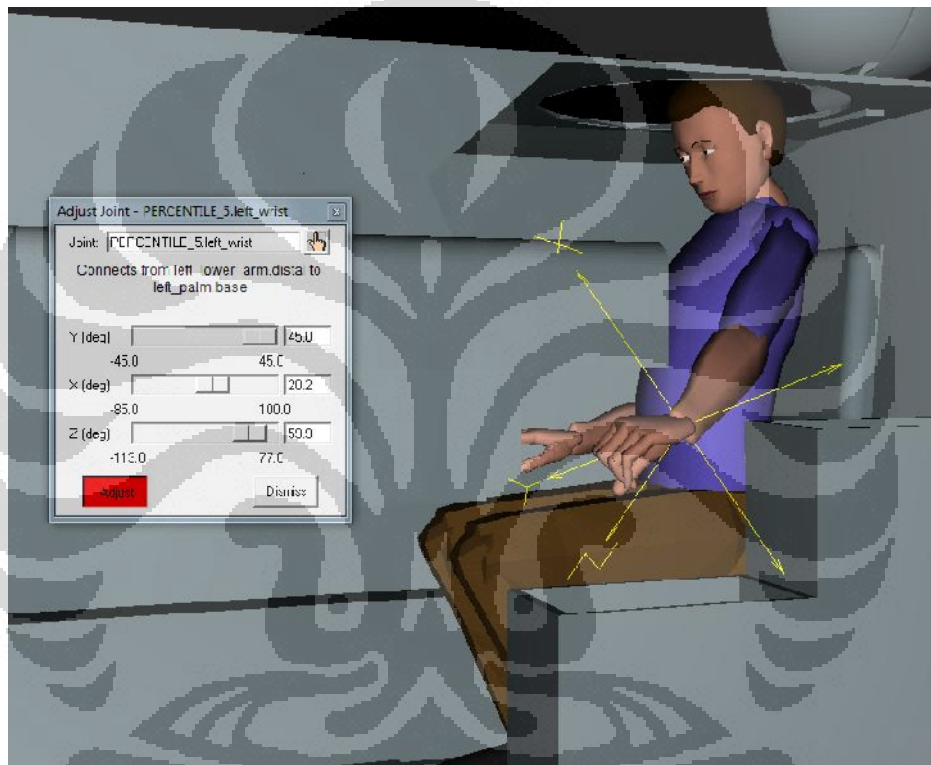
Gambar 3.10 Tampilan Modul Loads and Weights

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



Gambar 3.11 Tampilan Modul Human Control

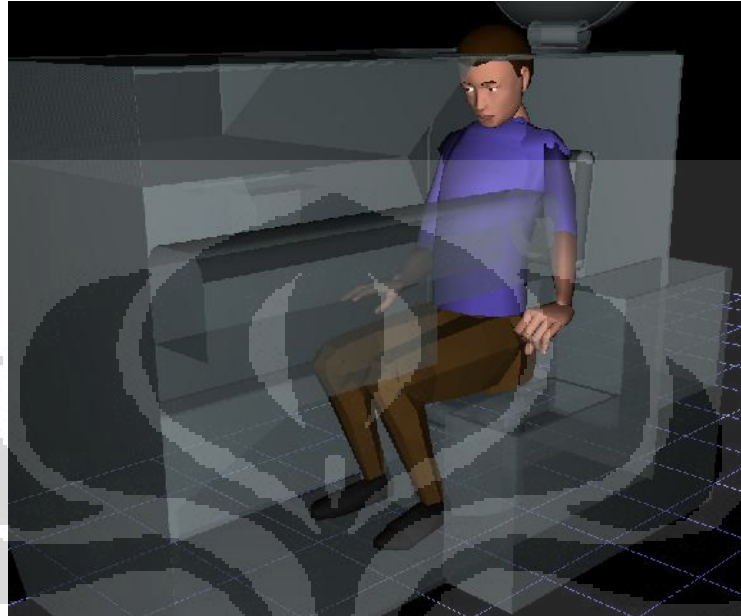
Untuk menyesuaikan postur duduk dalam model agar sesuai dengan kenyataannya dapat digunakan beberapa command yang ada dalam *software* Jack 6.1. Penyesuaian postur dilakukan dengan memodifikasi persendian model manusia yang ada dengan menggunakan command *human control*. Perintah *human control* ini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



Gambar 3.12 Tampilan Modul Adjust Joint

Sekelompok persendian yang diubah dalam pembentukan model mahasiswa ketika duduk adalah tangan, kaki, kepala, mata, leher, bahu dan tulang belakang. Untuk bagian tubuh tertentu ada yang hanya bisa dimodifikasi sendiri saja, dengan kata lain bukan merubah sekelompok sendi, namun hanya merubah satu persendian saja. Untuk melakukan hal ini, dapat digunakan *adjust joint* agar perubahan yang dilakukan lebih spesifik dan lebih detail. Penggunaan *adjust joint* mampu membuat persediaan berubah sesuai sumbu x, y dan z. Perubahan ini disebut dengan traslasi. Selain itu persendian dapat diputar, atau dirotasikan.

Namun tidak semua persendian bisa diputar, karena *software* Jack 6.1 dapat membedakan secara spesifik bagian tubuh atau sendi mana saja dalam tubuh manusia yang dapat diputar atau dirotasikan.



Gambar 3.13 Hasil Pembuatan Model Duduk Pada Kokpit Operator

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

3.2.4. Menganalisis Kinerja *Virtual Human Model*

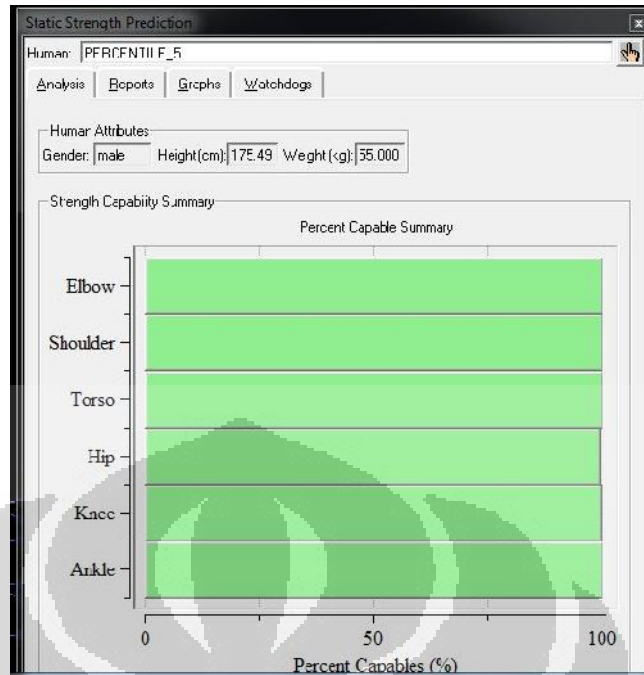
Dalam menganalisa pengaruh postur duduk terhadap tubuh, khususnya tubuh bagian atas, digunakanlah beberapa *tools* yang tersedia di dalam *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack 6.1. *Tools* yang digunakan untuk menganalisis kinerja model manusia dalam penelitian ini berjumlah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

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

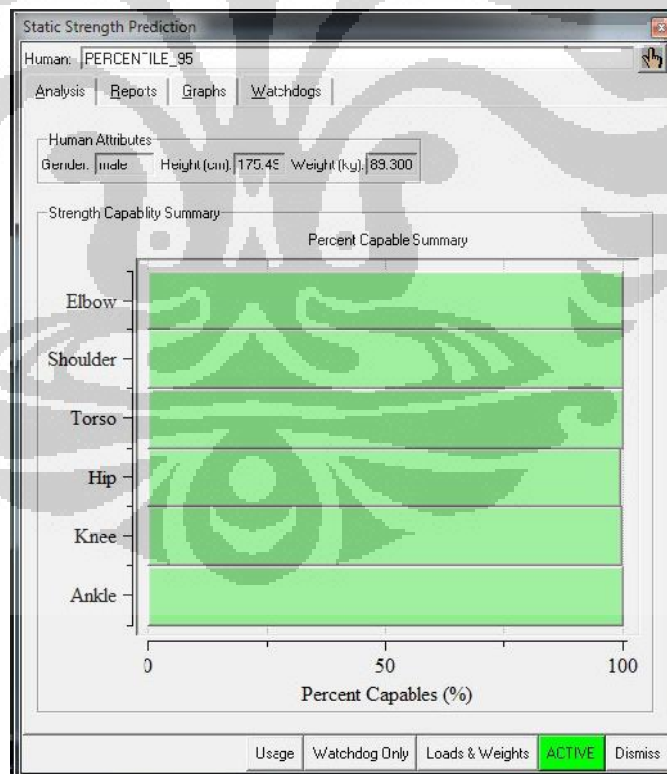
Model manusia akan dianalisis dengan keempat *tools* diatas, yang kemudian akan dikombinasikan dengan perhitungan khusus untuk mendapatkan nilai postur tubuh secara keseluruhan. Nilai postur tubuh ini dinamakan dengan *Posture Evaluation index* (PEI). Analisis yang dilakukan dengan menggunakan keempat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

3.2.5. Static Strength Prediction

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



Gambar 3.14 Hasil Analisis SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 5

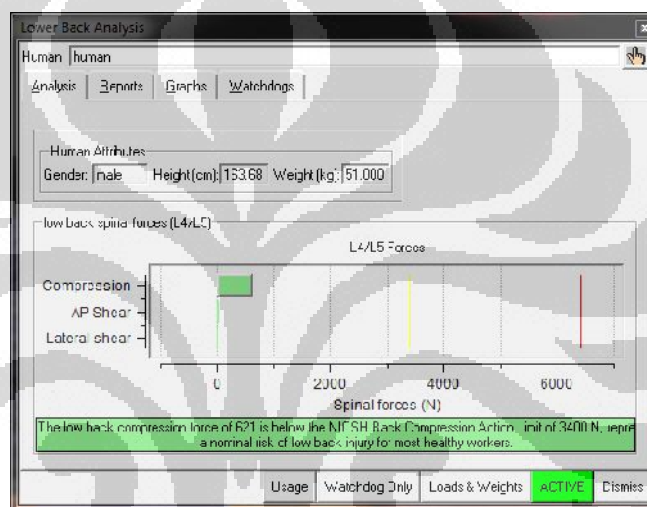


Gambar 3.15 Hasil Analisis SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 95

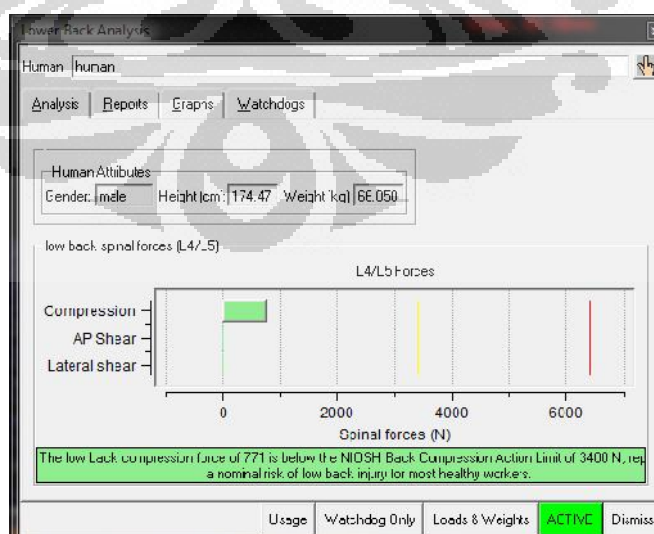
Dalam hasil analisis SSP pada Jack TAT (*Task Analysis Toolkit*) untuk disain awal persentil 5 dan persentil 95, terlihat bahwa postur yang diujikan mampu dilakukan oleh 80% populasi yang memiliki usia, gender dan tinggi badan yang berbeda.

3.2.6. Low Back Analysis

Lower Back Analysis digunakan untuk melihat seberapa besar beban yang dikenakan atau ditanggung oleh punggung bagian bawah (*Low Back*), yaitu bagian punggung L4 dan L5.



Gambar 3.16 Hasil Analisis LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 5

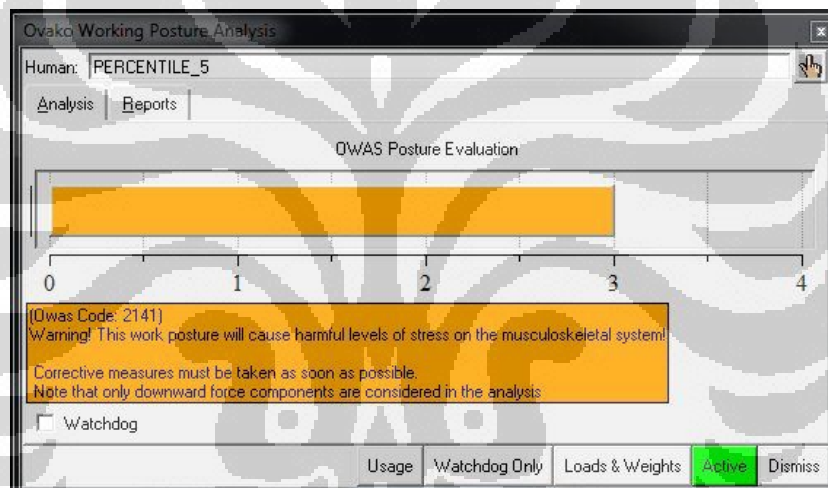


Gambar 3.17 Hasil Analisis LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 95

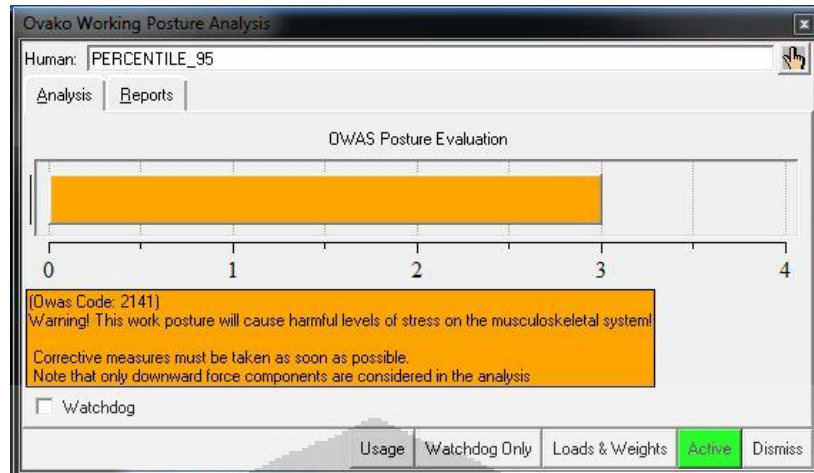
Berdasarkan hasil analisis RULA pada Jack TAT (*Task Analysis Toolkit*) untuk disain awal persentil 5 dan persentil 95, besar gaya yang diterima oleh punggung bagian bawah adalah sebesar 362 N pada persentil 5 dan 586 N pada persentil 95. Nilai RULA yang dihasilkan pada konfigurasi 1 masih di bawah batas normal yang diperbolehkan yaitu 3400 N.

3.2.7. Ovako Working Posture Analysis System

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



Gambar 3.18 Hasil Analisis OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 5



Gambar 3.19 Hasil Analisis OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 95

Dari hasil analisis modul OWAS dalam Jack TAT (*Task Analysis Toolkit*) untuk disain awal Kokpit Operator, persentil 5 dan persentil 95, didapatkan skor OWAS sebesar 3 poin pada kedua persentil

3.2.8. Rapid Upper Limb Assessment

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

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 3
 Lower arm: 3
 Wrist: 3
 Wrist Twist: 2
 Total: 6

Body Group B Posture Rating

Neck: 5
 Trunk: 4
 Total: 8

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute
 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: 7
 Action: Investigation and changes are required immediately.

Update Analysis

Gambar 3.20 Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 5

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 2
 Lower arm: 3
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 Total: 5

Body Group B Posture Rating
 Neck: 5
 Trunk: 4
 Total: 8

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute
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: 7
 Action: Investigation and changes are required immediately.

Update Analysis

Usage Dismiss

Gambar 3.21 Hasil Analisis RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 95

Grand Score menunjukkan sejauh mana pekerja terpapar faktor-faktor risiko di atas dan berdasarkan nilai tersebut, dapat disarankan tindakan yang perlu diambil. Berdasarkan hasil analisis RULA, *grand score* dari postur duduk disain aktual adalah sebesar 7 poin pada persentil 5 dan 7 poin pada persentil 95. Poin 7 pada persentil 5 dan persentil 95 ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang direncanakan pada rancangan awal kokpit Operator *Gun Turret* panzer kanon adalah postur yang membahayakan kesehatan, dibutuhkan investigasi dan perbaikan secepatnya.

3.2.9. Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Setelah didapat keluaran *Task Analysis Toolkits*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). *Postur Evaluation Index* (PEI) didapatkan dengan mengkombinasikan tiga *tools* dalam Jack TAT, yaitu

Low Back Analysis, Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment. Setelah sebelumnya memerhatikan nilai dari *Static Strength Prediction* dari postur duduk konfigurasi yang diujikan. Sebagai contoh, tahapan perhitungan nilai PEI untuk desain awal pada manekin persentil 5 dan persentil 95, menurut persamaan yang telah disebutkan pada bab 2, dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Berdasarkan skor yang didapat melalui Jack TAT (Task Analysis Toolkit) pada persentil 5 dimana:

Nilai LBA : 362 N

Nilai RULA : 7

Nilai OWAS : 3

Maka nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 5 adalah

$$\begin{aligned} PEI &= 362 N/3400N + 3/4 + (7/7 \cdot 1,42) \\ &= 2,276 \end{aligned}$$

- Berdasarkan skor yang didapat melalui Jack TAT (Task Analysis Toolkit) pada persentil 95 dimana:

Nilai LBA : 586 N

Nilai RULA : 7

Nilai OWAS : 3

Maka nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 95 adalah

$$\begin{aligned} PEI &= 586 N/3400N + 3/4 + 7/7 \cdot 1,42 \\ &= 2,342 \end{aligned}$$

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 rancangan Kokpit operator pada kendaraan tempur panzer kanon yang ergonomis.

3.3. Perancangan Konfigurasi Model

Setelah didapatkan nilai PEI, maka langkah selanjutnya dibutuhkan perancangan konfigurasi model dalam menentukan desain kokpit operator *Gun Turret* panzer kanon yang lebih ergonomis. Namun konfigurasi yang akan

dilakukan diharapkan dapat mengurangi nilai PEI dari operator, oleh karena itu harus dilakukan penghitungan ukuran ukuran dari kokpit operator yang nantinya dapat menyesuaikan postur dari operator sehingga dapat meminimalkan nilai PEI. Berikut proses pengolahan data.

1. Tinggi Dudukan

Tinggi dudukan yang ideal adalah dimana tinggi dudukan lebih rendah dari tinggi *popliteal* operator, ukuran aktual dari tinggi dudukan adalah 25 cm dan tinggi ideal dari tinggi dudukan adalah minimal 39 cm dan maksimal 45 cm, namun dikarenakan keterbatasan ukuran dari kokpit, maka tinggi dudukan tidak di ubah dan dibiarkan tetap pada ukuran aslinya, agar operator dapat masuk kedalam dan menjalankan *Gun Turret* tersebut.

2. Kedalaman dudukan

Menurut Parcels et al. (1999) kedalaman dudukan yang tepat adalah antara 80-99% dari panjang *popliteal-buttock*, agar ujung dudukan tidak menekan ke bagian betis atas operator. Kedalaman dudukan untuk desain usulan dihitung dengan menggunakan acuan panjang *popliteal-buttock* dari operator dengan persentil 50. Pertimbangannya adalah bahwa kedalaman dudukan ini tidak boleh terlalu lebar karena ujung dudukan akan menekan ke bagian betis pengguna, demikian juga tidak boleh terlalu sempit karena akan menekan bagian bawah dari paha pengguna.

3. Lebar Dudukan

Lebar dudukan harus 10-30% lebih besar dari lebar bokong operator. Hal ini dimaksudkan untuk *allowance space* bagi operator saat duduk. Acuan untuk menghitung lebar dudukan kursi usulan menggunakan lebar bokong (*hip breadth*) untuk persentil 95. Dengan mengambil acuan lebar bokong dengan ukuran ekstrem atas, maka lebar dudukan ini juga pasti akan cukup untuk operator dengan persentil 5 dan 50.

4. Tinggi Sandaran (Backrest Height)

Tinggi sandaran harus dapat menahan 60-80% dari tinggi bahu operator ketika duduk. Tinggi sandaran kursi akan dihitung menggunakan acuan tinggi bahu operator dengan persentil 95. Hal ini dimaksudkan agar sandaran ini dapat menopang punggung operator dengan ukuran tubuh persentil 5, 50 maupun 95.

Dengan mengambil patokan persentil 95, yang merupakan persentil dengan ukuran tubuh terbesar, pasti operator dengan ukuran tubuh persentil 5 dan 50 juga dapat terpenuhi kebutuhannya.

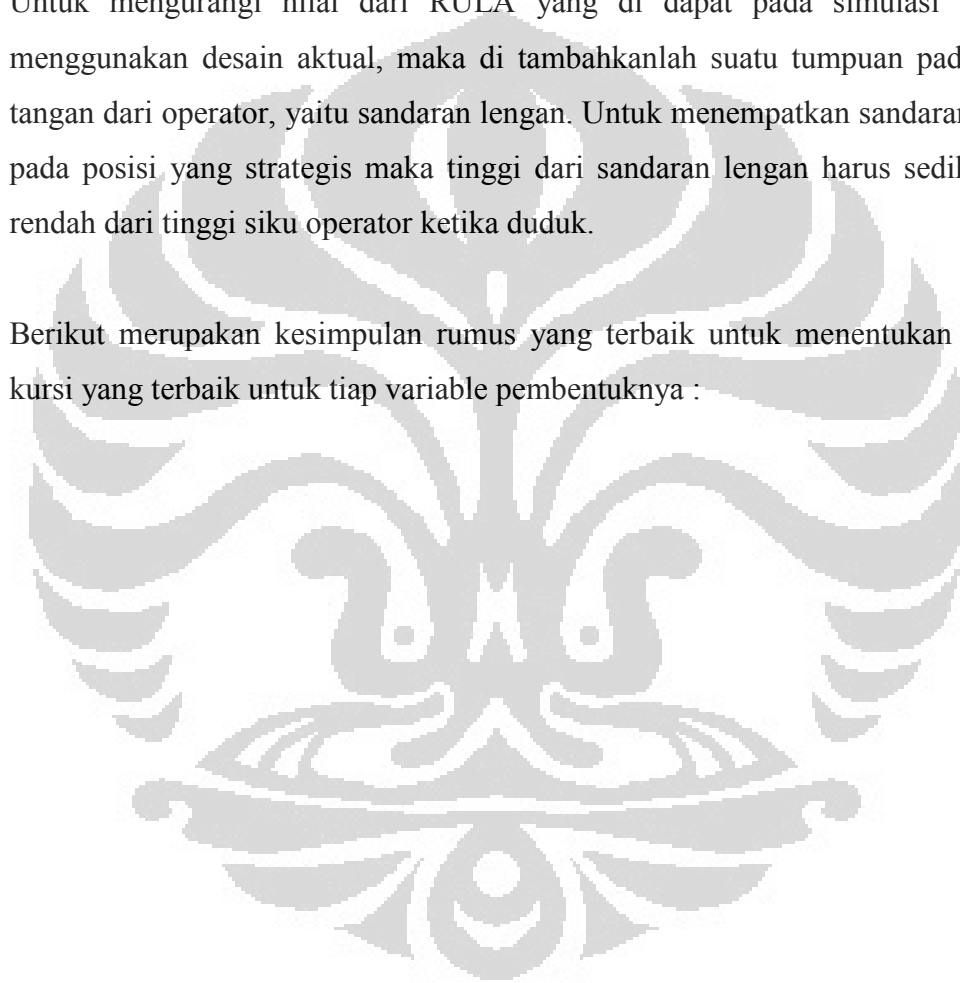
5. Kemiringan Sandaran (Backrest Angle)

Menurut Pheasant (2003) kemiringan sandaran kursi yang baik adalah sekitar 100-110 derajat dihitung dari posisi horizontal.

6. Sandaran lengan

Untuk mengurangi nilai dari RULA yang di dapat pada simulasi operator menggunakan desain aktual, maka di tambahkanlah suatu tumpuan pada kedua tangan dari operator, yaitu sandaran lengan. Untuk menempatkan sandaran lengan pada posisi yang strategis maka tinggi dari sandaran lengan harus sedikit lebih rendah dari tinggi siku operator ketika duduk.

Berikut merupakan kesimpulan rumus yang terbaik untuk menentukan dimensi kursi yang terbaik untuk tiap variable pembentuknya :



Tabel 3.2 Rumus Perhitungan Dimensi Kursi

VARIABLE	RUMUS	PERSENTIL
Tinggi Dudukan (Seat Height)	$(TP+2) \cos 30^\circ \leq SH \leq (TP+2) \cos 5^\circ$	50
Kedalaman Dudukan (Seat Depth)	$0.8 PB \leq SD \leq 0.99 PB$	50
Lebar Dudukan (Seat Width)	$1.1 LB \leq SW \leq 1.3 LB$	95
Tinggi Sandaran (Backrest Height)	$0.6 TB \leq BH \leq 0.8 TB$	95
Kemiringan Sandaran (Backrest Angle)	$100-110^\circ$	50
Tinggi sandaran lengan (Arm rest Height)	$TS \leq TA \leq TS$	50

Setelah melihat rumus penghitungan yang ada pada table di atas, akan ditampilkan data maksimal dan minimal dari ukuran variable yang dapat di konfigurasi. Berikut table

Tabel 3.3 Nilai Maksimum dan Minimum Dimensi Kursi Usulan

VARIABLE	NILAI MINIMUM (CM)	NILAI MAKSIMUM (CM)
Tinggi Dudukan (Seat Height)	39	45
Kedalaman Dudukan (Seat Depth)	36	45
Lebar Dudukan (Seat Width)	47	55
Tinggi Sandaran (Backrest Height)	40	87
Kemiringan Sandaran (Backrest Angle)	100	110
Tinggi sandaran lengan (Arm rest Height)	19	30

Pada table di atas kita bisa melihat nilai maksimal dan minimal dari sebuah variable yang akan di konfigurasi, dan konfigurasi yang akan diciptakan menggunakan table diatas sebagai acuan dari penentuan nilai variable. Setelah itu dilakukan perancangan desain konfigurasi.

Penentuan nilai PEI menjadi dasar dalam menentukan desain yang lebih ergonomis. Nilai PEI dari masing-masing konfigurasi nantinya akan dibandingkan satu sama lain. Setelah dilakukan perbandingan maka didapat nilai PEI terkecil pada salah satu konfigurasi yang telah dibandingkan sebelumnya. Berikut ditampilkan table desain konfigurasi yang akan dibuat :

Tabel 3.4 Konfigurasi Desain yang Akan Dibuat

Konfigurasi	Persentil	Kedalaman Dudukan	Kemiringan Sandaran	Tinggi Sandaran Lengan
2A	5	37	100	26
2B	95	37	100	26
2C	5	45	100	26
2D	95	45	100	26
3A	5	37	105	26
3B	95	37	105	26
3C	5	45	105	26
3D	95	45	105	26
4A	5	37	110	26
4B	95	37	110	26
4C	5	45	110	26
4D	95	45	110	26
5A	5	37	100	28
5B	95	37	100	28
5C	5	45	100	28
5D	95	45	100	28
6A	5	37	105	28
6B	95	37	105	28
6C	5	45	105	28
6D	95	45	105	28
7A	5	37	110	28
7B	95	37	110	28
7C	5	45	110	28
7D	95	45	110	28

Perancangan konfigurasi ini dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang sudah ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan ada tiga, yaitu sudut kedalaman dudukan kursi, sudut kemiringan kursi operator, seta Tinggi sandaran lengan yang kemudian akan dijelaskan seperti dibawah ini.

3.3.1. Perancangan Konfigurasi Kedalaman Dudukan

Dari hasil pengolahan desain awal menggunakan *Software Jack*, diperoleh sejumlah data yang menunjukkan gaya dan tekanan pada tulang belakang yang diterima oleh operator ketika bekerja, dan untuk mengurangi jumlah tekanan tersebut kaki operator harus berada pada posisi yang tepat dan tidak menggantung, sehingga disain kursi harus di rancang sedemikian rupa agar panjang dudukan dari kursi operator tidak melebihi panjang popliteal. Untuk mencapai tujuan tersebut didapat 2 rekomendasi untuk bagian desain kedalaman dudukan yaitu 37cm dan 45 cm.

3.3.2. Perancangan Konfigurasi sudut kemiringan kursi operator

Perancangan konfigurasi pada sudut kemiringan kursi operator mempunyai tiga level nilai (kombinasi), yaitu 100° , 105° dan 110° . Sudut kursi diukur dari sudut yang tercipta antara alas duduk hingga sandaran yang ada pada kursi.

3.3.3. Perancangan Konfigurasi Tinggi sandaran lengan

Dari data yang diperoleh, baik persentil 5 maupun persentil 95 memiliki tingkat *Rapid Upper Limb Assesment* (RULA) yang mencapai nilai maksimal yaitu 7. Untuk mengurangi nilai RULA maka dibuatlah sandaran rengan agar tidak terlalu letih dalam melakukan gerakan yang berulang-ulang.

BAB 4 ANALISIS

Dalam bab ini akan dibahas tentang analisis dari desain Kokpit Operator *Gun Turret* awal yang akan dibandingkan dengan desain Kokpit Operator *Gun Turret* usulan yang telah diolah dan menghasilkan 26 jenis konfigurasi yang mana di dalamnya terdapat 2 desain aktual dan 24 desain usulan. Setelah itu, akan dilakukan simulasi untuk mengetahui interaksi antara operator dengan model kokpit dalam *Virtual Environment* menggunakan *software* Jack, yang lalu akan di analisis menggunakan metode-metode yang ada di dalam *software* Jack sehingga dapat diperoleh nilai PEI dari tiap-tiap konfigurasi. Selanjutnya, nilai-nilai PEI yang diperoleh dari hasil konfigurasi desain usulan akan diproses lebih lanjut sehingga akan diperoleh konfigurasi desain usulan yang memiliki nilai PEI paling rendah.

4.1. Analisis Desain Kokpit Awal

Pada desain awal dari kokpit operator *Gun Turret* terdapat beberapa dimensi/ukuran dari bagian bagian kokpit yang tidak sesuai dengan karakteristik operator *Gun Turret*, yaitu pria Indonesia. Berikut akan ditampilkan variable-variable desain awal dan desain usulan serta batas minimal dan maksimal dari suatu variable.

Tabel 4.1 Perbandingan Ukuran Kokpit Aktual dengan Desain kokpit Usulan (cm)

NAMA	AWAL	min	max	DISAIN USULAN	KETERANGAN
Ruang Kokpit					
Tinggi Monitor	86	80	96	90	sesuai
Kursi					
Tinggi Dudukan	25	39.8	45.8	25	sesuai
Kedalaman Dudukan	32	36.8	45.5	37 dan 45	sesuai
Lebar dudukan	29	47.3	56	55	Tidak sesuai
Tinggi Sandaran	58.7	40.2	87.1	87.1	sesuai
Sudut Sandaran	95°	100°	110°	100°, 105°, dan 110°	Tidak sesuai
Tinggi Sandaran tangan	-	19	30	26 dan 28	Tidak sesuai

Pada table di atas bisa dilihat perbandingan disain awal dan disain usulan serta nilai maksimum dan minimum dari suatu nilai variable disain yang diperoleh dari pengolahan data antropometri Pria Indonesia. Sebagian dari data pada table di atas menunjukkan bahwa disain actual sudah cukup memenuhi nilai minimum dan maksimum, namun ada beberapa data yang memiliki nilai di luar dari range batasan. Hal ini akan berpengaruh terhadap buruknya postur duduk yang akan dibentuk oleh operator. Berikut akan dibahas pengaruh kesalahan desain terhadap kesehatan muskuloskeletal pengguna.

4.2. Analisis Postur Duduk dengan Desain Awal

Posisi dan posture operator ketika berada pada desain kokpit awal didapat setelah melakukan wawancara dengan staff dari PT. PINDAD dan setelah melakukan pengamatan serta praktik langsung pada kendaraan. Hasil dari analisis postur operator pada disain kokpit awal dan disain kokpit usulan akan dibandingkan untuk melihat perbedaan data yang tercipta.

4.2.1. Analisis Persentil 5 dengan Desain Kokpit Awal (Konfigurasi 1A)

Dalam konfigurasi ini, objek yang dianalisis adalah Pria dengan persentil 5. Sesuai data antropometri yang telah diperoleh, persentil 5 memiliki kriteria seperti berikut :

Tabel 4.2 Rekapitulasi Data Antropometri Operator dengan Persentil 5 (cm)

No	Dimensi	Persentil 5
1	Tinggi	162
2	Tinggi lutut saat duduk	46
3	Tinggi popliteal	38
4	panjang telapak kaki	22
5	jarak bokong ke lutut depan	48
6	jarak bokong ke lutut belakang	40
7	tinggi bahu dari tempat duduk	52
8	tinggi mata dari tempat duduk	69
9	tinggi kepala dari tempat duduk	80

Tabel 4.2 Rekapitulasi Data Antropometri Operator dengan Persentil 5 (cm)
(sambungan)

10	jarak bahu ke siku	31
11	jarak siku ke ujung jari	42
12	lebar bahu	36
13	lebar pelana	26
14	lebar bokong	28
15	lebar perut	15
16	Berat Badan	50

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, Postur duduk yang dibentuk dalam konfigurasi ini disesuaikan dengan hasil wawancara, pengamatan, dan praktik langsung di lapangan, dengan demikian hasil yang diperoleh diharapkan bisa secara mendekati keadaan nyata.



Gambar 4.1 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1A

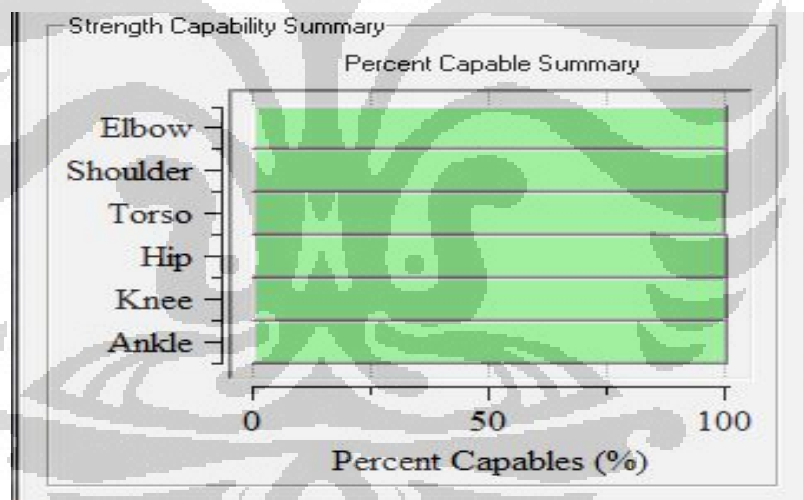
Analisis *Static Strength Prediction* dilakukan sebagai tahap awal sebelum dilakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). Tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk melihat berapa persentase populasi manusia yang memiliki kapabilitas untuk melakukan postur atau gerakan yang disimulasikan. Prof. Francesco Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D, peneliti dari Fakultas Teknik University of Naples Federico II yang mengembangkan metode PEI ini

menyarankan untuk menggunakan batas minimal persen kapabilitas sebesar 90 %. Jika tingkat kapabilitas pada SSP ini di atas 90 %, maka perhitungan PEI dapat dilanjutkan.

Ada enam bagian tubuh yang diukur kapabilitasnya, yaitu:

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

Jika diperhatikan hasil yang diperoleh dari *Task Analysis Toolkits* untuk disain awal pada persentil 5 memiliki tingkat kapabilitas di atas 90 %. Dapat dilihat pada Gambar 4.2 bahwa warna hijau pada grafik menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas untuk konfigurasi aktual ini masih dalam batas aman.



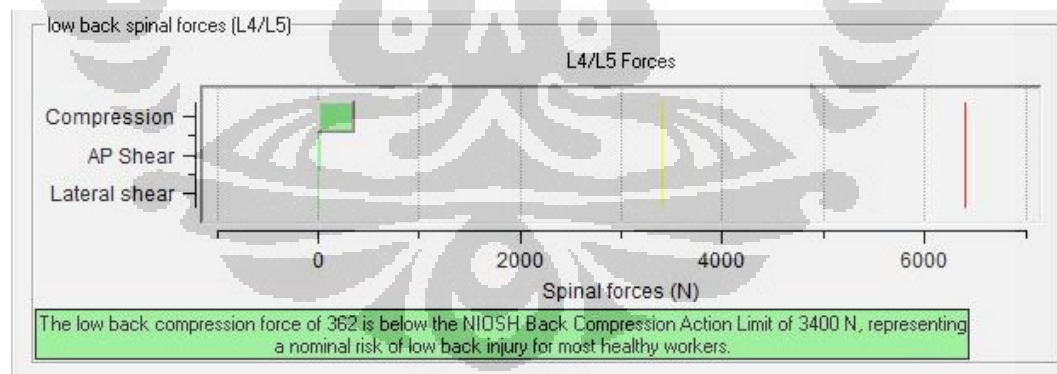
Gambar 4.2 Grafik SSP Disain awal pada Persentil 5

hasil dari analisis SSP untuk konfigurasi 1A dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk *elbow*, *shoulder*, *trunk*, *hip*, *knee* dan *ankle* seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi 1A tersebut dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Disain awal pada Persentil 5

Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-2	FLEXN	65	16	100	-3	FLEXN	77	19	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-8	ABDUCT	71	18	100	-4	ABDUCT	74	18	100
	Rotation Bk/Fd	-4	FORWARD	98	27	100	-3	FORWARD	111	30	100
	Humeral Rot	-1	--	29	6	100	-0	--	36	8	100
Trunk	Flex/Ext	10	FLEXN	194	57	100					
	Lateral Bending	-6	RIGHT	26	6	100					
	Rotation	1	--	77	21	100					
Hip		-0	--	224	90	99	0	--	176	48	100
Knee		-0	--	136	48	100	0	--	136	48	100
Ankle		-0	--	176	58	100	0	--	176	58	100

Setelah dilakukan analisis SSP dan disain awal ini telah memenuhi persyaratan dari segi kapabilitas, maka perhitungan PEI untuk disain awal ini dapat dilanjutkan. Tahap berikutnya dilakukan analisis *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Analysis System* (OWAS) serta *Rapid Upper Limb Assesment* (RULA).

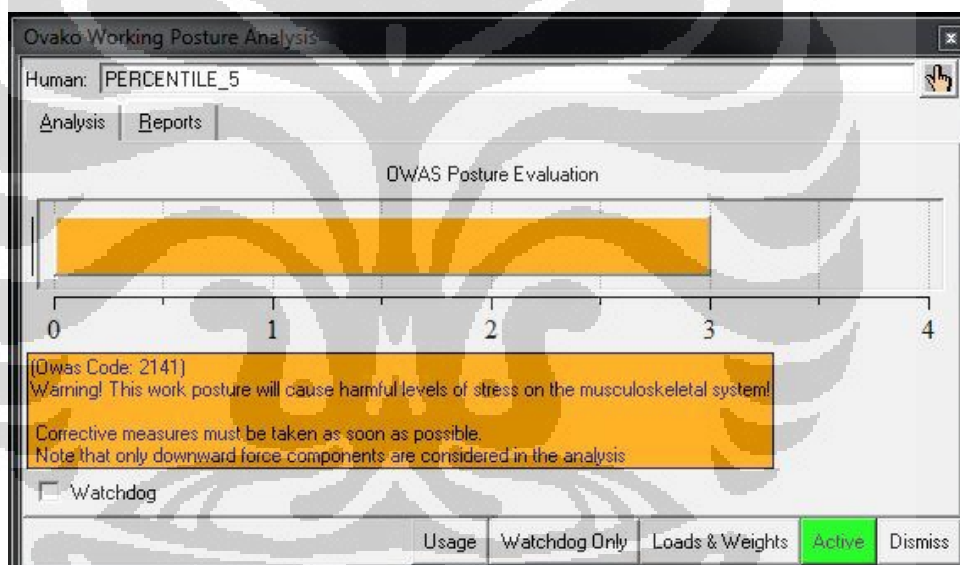


Gambar 4.3 Grafik LBA Disain awal pada Persentil 5

Gambar 4.3 di atas merupakan hasil nilai LBA yang diperoleh untuk disain awal (rencana awal desain) pada kokpit operator panser kanon. Dari kedua grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk disain awal pada persentil 5, resiko terjadinya cedera pada tulang belakang relatif kecil. Hal ini dikarenakan nilai *Lower Back Compression Force* yang dihasilkan masih dibawah *Compression*

Action Limit berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N. Seperti yang terlihat pada grafik tersebut, nilai LBA untuk disain awal pada persentil 5 menunjukkan angka 362 N. Nilai LBA yang di dapat dipengaruhi oleh berbagai aspek pada saat operator melakukan postur tersebut, pada gambar 4.1 badan operator berada pada posisi 90° yang mana beban tubuh dan juga beban dari kedua tangan operator yang berada pada posisi menggantung turut menyumbangkan tekanan yang harus ditompang oleh tulang belakang dari operator tersebut.

Selanjutnya perhitungan postur duduk pada konfigurasi 1A ini memberikan nilai *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS) sebesar 3. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami dapat memberikan tekanan yang membahayakan bagi *musculoskeletal system* dan diperlukan perbaikan segera untuk memperbaiki postur duduk ini.



Gambar 4.4 Grafik OWAS Disain awal pada Persentil 5

Menurut hasil perhitungan postur duduk yang dikeluarkan oleh *Task Analysis Toolkit*, disain awal pada persentil 5 menghasilkan nilai 3 dengan kode 2141. Berdasarkan kategori tingkat urgensi perlunya dilakukan perbaikan, angka ini menunjukkan bahwa postur kerja saat ini secara nyata membahayakan sistem muskuloskeletal manusia. Tindakan perbaikan perlu dilakukan sesegera mungkin. Berikut penjelasan secara mendetail mengenai skor OWAS postur ini.

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu gabungan antara karakteristik membungkuk dan membelok sehingga mengindikasikan terjadinya posisi tulang punggung yang membungkuk (*flexion*) dan

- berbelok (*twisting*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi kedua tangan model berada di bawah bahu. Postur ini merupakan postur yang memiliki resiko cedera yang cukup besar.
 3. Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 4 yang menandakan bahwa pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk namun sedikit menyerupai postur jongkok, hal ini terjadi dikarenakan keterbatasan ruang untuk operator pada disain tersebut dikarenakan rendahnya tinggi monitor, yang mana pada disain usulan tinggi monitor akan dinaikan sehingga memberikan ruang gerak pada operator, namun dengan catatan tidak mempengaruhi desain luar dari panser kanon.
 4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10kg.

The screenshot displays the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software window. It features a 'Task Entry' tab and an 'Analysis Summary' section. The 'Analysis Summary' section includes 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'. The 'Body Group A Posture Rating' section shows: Upper arm: 3, Lower arm: 3, Wrist: 3, Wrist Twist: 2, Total: 6. The 'Body Group B Posture Rating' section shows: Neck: 5, Trunk: 4, Total: 8. Below these are two boxes for 'Muscle Use' and 'Force/Load'. The 'Muscle Use' box contains: 'Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute.' and 'Arms: -Not supported'. The 'Force/Load' box contains: '< 2 kg intermittent load'. Below these is a 'Legs and Feet Rating' section with the text: 'Seated, Legs and feet well supported. Weight even.' At the bottom, a red box displays 'Grand Score: 7' and 'Action: Investigation and changes are required immediately.' An 'Update Analysis' button is located at the bottom right.

Gambar 4.5 Grafik RULA Disain awal pada Persentil 5

Hasil perhitungan RULA pada gambar 4.5 0 yang dikeluarkan oleh *Task Analysis Toolkit* software jack 6.1 menunjukkan bahwa postur duduk yang diuji

dalam konfigurasi ini memiliki *grand score* sebesar 7. Nilai ini merupakan hasil perhitungan dua kelompok anggota tubuh, kelompok A dan kelompok B. Kelompok A adalah skor untuk postur lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Kelompok B adalah skor untuk leher, punggung, dan kaki. Kombinasi nilai dan perhitungan khusus yang dihasilkan pada *Body Group A* dan *Body Group B* akan menghasilkan suatu angka yang menunjukkan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas.

Untuk kelompok bagian tubuh A pada persentil 5 didapatkan nilai skor sebesar 3 untuk lengan atas, 3 untuk lengan bawah, 3 pergelangan tangan dan 2 untuk putaran tangan. Hal ini mengindikasikan bahwa bagian lengan atas memiliki pergerakan kearah depan dalam interval 45 derajat hingga 90 derajat. ini disebabkan oleh posisi tangan yang menggantung tanpa ada tempat bertumpu. Bagian lengan bawah memiliki karakteristik melewati sumbu x normal kearah bawah dan tengah sehingga memiliki skor sebesar 3. Selain itu, skor 3 yang dimiliki pergelangan tangan menunjukkan bahwa pergelangan tangan sedikit mengalami perputaran dan membengkok. Sedangkan untuk kelompok bagian tubuh B pada persentil 5, nilai yang didapatkan untuk bagian leher (*neck*) adalah sebesar 5. Hal ini dikarenakan pengemudi diharuskan melihat layar monitor sehingga leher mengalami sedikit pergerakan ke arah depan. Lalu untuk bagian batang tubuh (*trunk*) memiliki nilai 4 yang menggambarkan keadaan badan yang menyender ke arah belakang. Hal ini dikarenakan tinggi dari monitor yang terlalu rendah sehingga membuat operator harus membengkokkan leher agar bisa melihat ke layar. Hasil kalkulasi kedua bagian anggota tubuh ini menghasilkan *grand score* 7, dimana investigasi diperlukan dan sistem kerja segera dirubah.

Setelah mendapatkan nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PEI sesuai dengan formula perhitungan PEI yang telah dijelaskan sebelumnya pada bab 2. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai PEI untuk disain awal (rencana awal desain) pada persentil 5 sebesar 2,276. Nilai PEI ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai PEI untuk konfigurasi lain, untuk kemudian dicari konfigurasi desain yang memiliki nilai PEI terkecil. Tabel 4.3 di bawah ini menunjukkan hasil rekapitulasi nilai SSP, LBA, OWAS dan

RULA serta perhitungan nilai PEI untuk disain awal kokpit operator panser kanon pada persentil 5.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1A

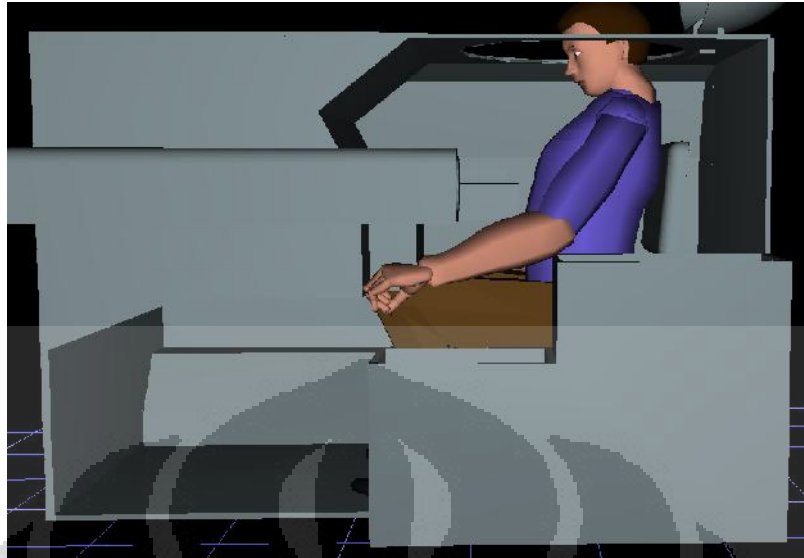
Konfigurasi 1A	Persentil
	5
SSP > 90%	Ya
LBA (N)	362
OWAS	3
Rula	7
Nilai PEI	2.276

4.2.2. Analisis Persentil 95 dengan Desain Kokpit Awal (Konfigurasi 1B)

Dalam konfigurasi ini, objek yang dianalisis adalah Pria dengan persentil 5. Sesuai data antropometri yang telah diperoleh, persentil 5 memiliki kriteria seperti berikut :

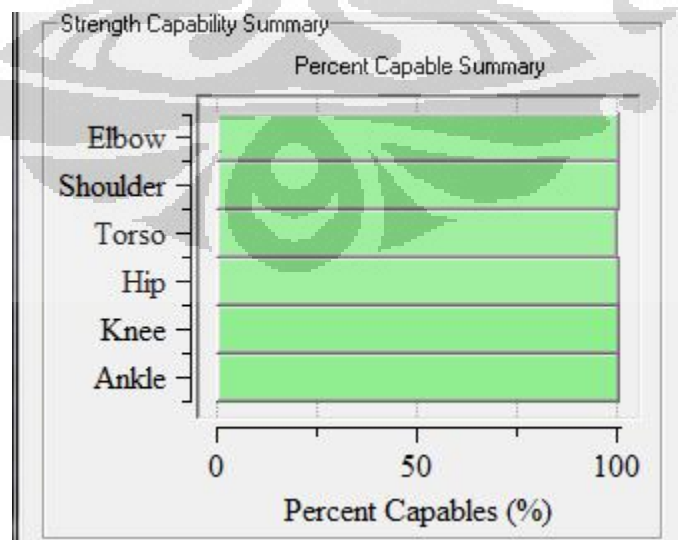
Tabel 4.5 Rekapitulasi Data Antropometri Operator dengan Persentil 95

no	dimensi	persentil 95
1	Tinggi	183
2	Tinggi lutut saat duduk	62
3	Tinggi popliteal	49
4	panjang telapak kaki	29
5	jarak bokong ke lutut depan	64
6	jarak bokong ke lutut belakang	54
7	tinggi bahu dari tempat duduk	67
8	tinggi mata dari tempat duduk	84
9	tinggi kepala dari tempat duduk	96
10	jarak bahu ke siku	37
11	jarak siku ke ujung jari	56
12	lebar bahu	52
13	lebar pelana	35
14	lebar bokong	43
15	lebar perut	29
16	Berat Badan	89.25



Gambar 4.6 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1B

Seperti analisis konfigurasi 1A pada sebelumnya, tahap awal analisis konfigurasi 1B ini, akan dimulai dengan analisa terhadap *Static Strength Prediction*. Hasil dari analisis SSP untuk konfigurasi 1B dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk *elbow*, *shoulder*, *trunk*, *hip*, *knee* dan *ankle* seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi 1B tersebut dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.



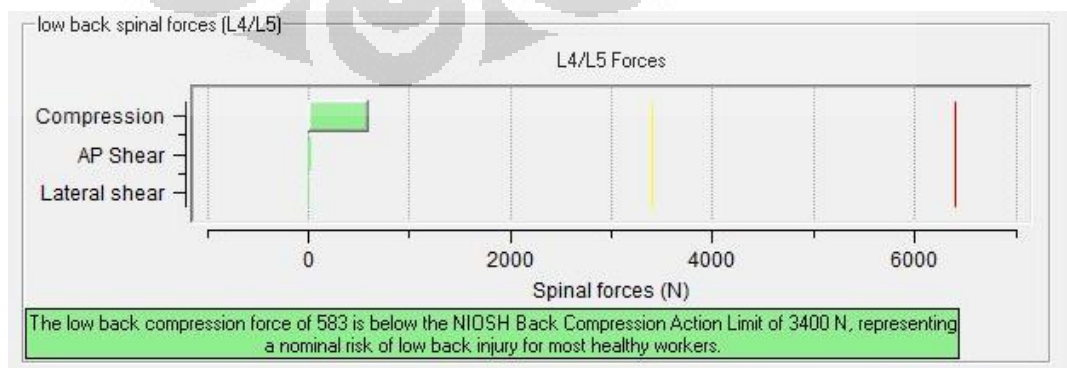
Gambar 4.7 Grafik SSP Disain awal pada Persentil 95

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa hampir keenam bagian tubuh kanan maupun kiri memiliki tingkat kapabilitas 100%, kecuali pada bagian pinggul kanan untuk persentil 95 yang memiliki tingkat kapabilitas 99 %. Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa 100% populasi pengguna memiliki kapabilitas untuk melakukan gerakan sesuai dengan postur yang awalnya direncanakan pada kokpit operator panzer kanon dengan desain aktual ini (disain awal).

Tabel 4.6 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Disain awal pada Persentil 95

Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	57	14	100	-1	FLEXN	77	19	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	77	19	100	-2	ABDUCT	74	18	100
	Rotation Bk/Fd	-1	FORWARD	97	26	100	-1	FORWARD	110	30	100
	Humeral Rot	-0	--	35	8	100	-0	--	36	8	100
Trunk	Flex/Ext	6	FLEXN	198	58	100					
	Lateral Bending	-3	RIGHT	26	6	100					
	Rotation	0	--	77	21	100					
	Hip	0	--	192	52	100	-0	--	217	87	99
	Knee	-0	--	140	49	100	0	--	140	49	100
	Ankle	-0	--	176	58	100	0	--	176	58	100

Setelah dilakukan analisis SSP dan disain awal ini telah memenuhi persyaratan dari segi kapabilitas, maka perhitungan PEI untuk disain awal ini dapat dilanjutkan. Tahap berikutnya dilakukan analisis *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Analysis System (OWAS)* serta *Rapid Upper Limb Assesment (RULA)*.



Gambar 4.8 Grafik LBA Disain awal pada Persentil 95

Berdasarkan *software Jack 6.1*, postur duduk pada konfigurasi 1B ini memberikan nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah sebesar 583 Newton (Gambar 4.8). Nilai tekanan ini terbentuk dari postur duduk operator dengan tulang belakang yang agak membungkuk dikarenakan sudut dari kursi, berat badan yang berbeda jauh dengan persentil 5 membuat nilai tekan pada ruas tulang belakang persentil 95 lebih besar dari persentil 5. Posisi tangan yang menggantung tanpa adanya tumpuan turut menyumbang tekanan yang diterima ruas tulang belakang. Pada konfigurasi 1B ini. Nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah yang sebesar 583 Newton ini masih berada jauh dibawah batasan nilai beban aman yang dapat diterima oleh ruas-ruas tulang belakang yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 3400 Newton.

Nilai OWAS pada perhitungan postur duduk konfigurasi 1B ini memberikan nilai sebesar 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami bisa memberikan efek yang buruk pada *musculoskeletal system*. Kode OWAS yang diperoleh untuk postur ini adalah 2211. Kode ini merupakan hasil penilaian postur pada 4 variabel yaitu punggung, tangan, kaki dan beban yang dialami.



Gambar 4.9 Grafik OWAS Disain awal pada Persentil 95

Menurut hasil perhitungan postur duduk yang dikeluarkan oleh *Task Analysis Toolkit*, disain awal pada persentil 95 menghasilkan nilai 3 dengan kode 2141. Berdasarkan kategori tingkat urgensi perlunya dilakukan perbaikan, angka

ini menunjukkan bahwa postur kerja saat ini secara nyata membahayakan sistem muskuloskeletal manusia. Tindakan perbaikan perlu dilakukan sesegera mungkin.

Berikut penjelasan secara mendetail mengenai skor OWAS postur ini.

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu gabungan antara karakteristik membungkuk dan membelok sehingga mengindikasikan terjadinya posisi tulang punggung yang membungkuk (*flexion*) dan berbelok (*twisting*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi kedua tangan model berada di bawah bahu. Postur ini merupakan postur yang memiliki resiko cedera yang cukup besar.
3. Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 4 yang menandakan bahwa pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk namun sedikit menyerupai postur jongkok, hal ini terjadi dikarenakan keterbatasan ruang untuk operator pada disain tersebut dikarenakan rendahnya tinggi monitor, yang mana pada disain usulan tinggi monitor akan dinaikan sehingga memberikan ruang gerak pada operator, namun dengan catatan tidak mempengaruhi desain luar dari panser kanon.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10kg.

The screenshot shows the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software window. It has three tabs: 'Task Entry', 'Reports', and 'Analysis Summary'. The 'Analysis Summary' tab is active, displaying the following data:

Field	Value
Job Title	
Location	
Comments	
Job Number	
Analyst	
Date	
Body Group A Posture Rating	
Upper arm	2
Lower arm	3
Wrist	2
Wrist Twist	1
Total	5
Body Group B Posture Rating	
Neck	5
Trunk	4
Total	8
Muscle Use	Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute
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	7
Action	Investigation and changes are required immediately.

At the bottom of the window, there is an 'Update Analysis' button and 'Usage' and 'Dismiss' buttons.

Gambar 4.10 Grafik RULA Disain awal pada Persentil 95

Hasil perhitungan RULA pada gambar 4.10 yang dikeluarkan oleh *Task Analysis Toolkit* software jack 6.1 menunjukkan bahwa postur duduk yang diuji dalam konfigurasi ini memiliki *grand score* sebesar 7. Nilai ini merupakan hasil perhitungan dua kelompok anggota tubuh, kelompok A dan kelompok B. Kelompok A adalah skor untuk postur lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Kelompok B adalah skor untuk leher, punggung, dan kaki. Kombinasi nilai dan perhitungan khusus yang dihasilkan pada *Body Group A* dan *Body Group B* akan menghasilkan suatu angka yang menunjukkan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas.

Untuk kelompok bagian tubuh A pada persentil 95 didapatkan nilai skor sebesar 2 untuk lengan atas, 3 untuk lengan bawah, 2 pergelangan tangan dan 1 untuk putaran tangan. Hal ini mengindikasikan bahwa bagian lengan atas memiliki pergerakan kearah depan dalam interval 45 derajat hingga 90 derajat. ini disebabkan oleh posisi tangan yang menggantung tanpa ada tempat bertumpu. Bagian lengan bawah memiliki karakteristik melewati sumbu x normal kearah bawah dan tengah sehingga memiliki skor sebesar 3. Selain itu, skor 1 yang dimiliki pergelangan tangan menunjukkan bahwa pergelangan tangan berada pada

posisi normal. Sedangkan untuk kelompok bagian tubuh B pada persentil 95, nilai yang didapatkan untuk bagian leher (*neck*) adalah sebesar 5. Hal ini dikarenakan pengemudi diharuskan melihat layar monitor sehingga leher mengalami sedikit pergerakan ke arah depan. Lalu untuk bagian batang tubuh (*trunk*) memiliki nilai 4 yang menggambarkan keadaan badan yang menyender ke arah belakang. Hal ini dikarenakan tinggi dari monitor yang terlalu rendah sehingga membuat operator harus membengkokkan leher agar bisa melihat ke layar. Hasil kalkulasi kedua bagian anggota tubuh ini menghasilkan *grand score* 7, dimana investigasi diperlukan dan sistem kerja segera dirubah.

Setelah mendapatkan nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PEI.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1B

Konfigurasi 1B	Persentil
SSP > 90%	Ya
LBA (N)	586
OWAS	3
Rula	7
Nilai PEI	2.342

4.3. Analisis Postur Duduk dengan Desain Usulan

Setelah dilakukan analisis terhadap disain awal yang dibuat berdasarkan peninjauan pada kondisi yang sebenarnya, selanjutnya dilakukan analisis terhadap rancangan konfigurasi yang telah dibuat. Pembuatan usulan konfigurasi pada desain kokpit operator kendaraan tempur panser kanon dilakukan dengan mengubah beberapa ukuran dari kokpit operator seperti yang telah di jelaskan pada bab 3, diantaranya adalah kedalaman dudukan kursi, sudut kemiringan kursi operator, seta Tinggi sandaran lengan kokpit operator. Kedalaman dudukan kursi diubah menjadi 2 ukuran yaitu 37 cm dan 45 cm, ukuran ini diambil dari panjang popliteal dan di olah menggunakan rumus yang ada pada bab 3, dengan dirubahnya kedalaman kursi, diharapkan kaki dari operator kokpit *Gun Turret* tidak dalam posisi menggantung dan bisa menyentuh lantai, sehingga kaki bisa

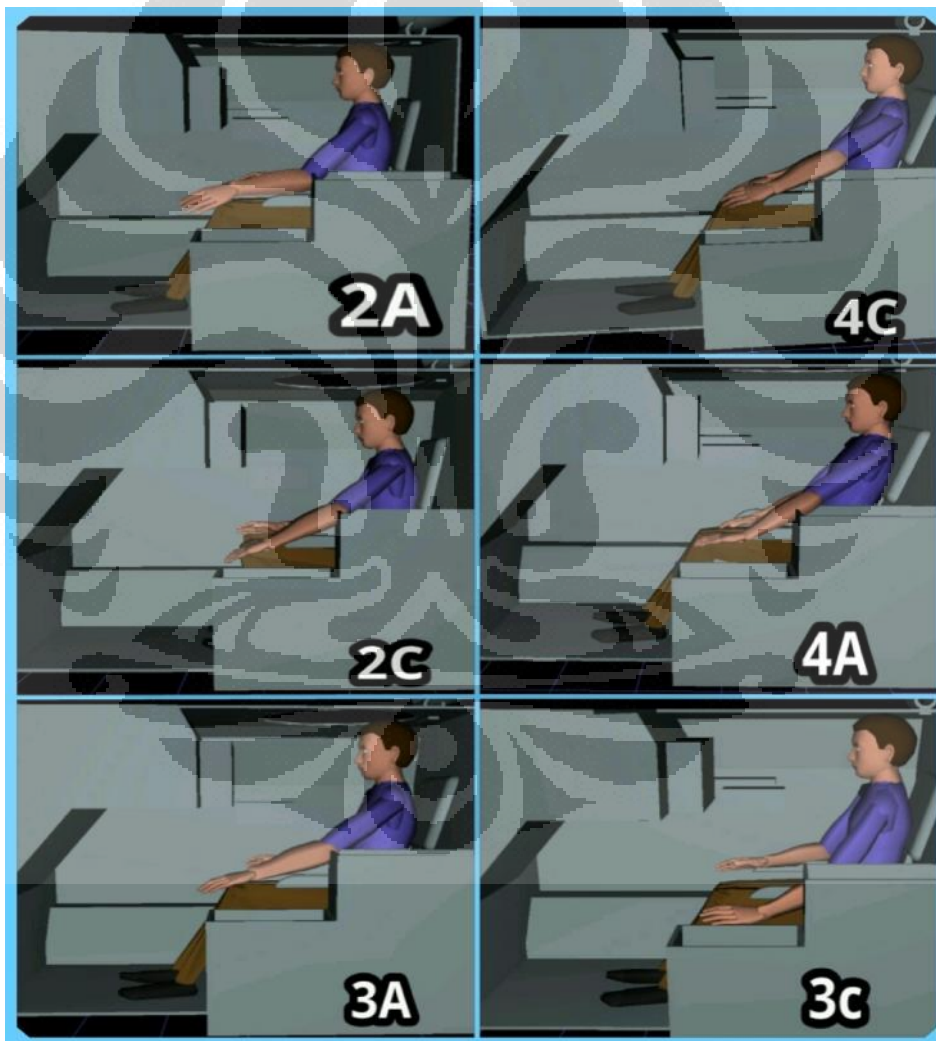
ikut meringankan tekanan dari tulang belakang. Sudut kemiringan diubah menjadi 3 ukuran, yaitu 100° , 105° , dan 110° . Dengan dibesarkannya sudut senderan kursi diharapkan dapat turut mengurangi beban dari tulang belakang dan juga menyediakan wadah yang pas untuk operator sehingga bisa bekerja dengan postur yang nyaman. Yang turut menjadi perhatian pada analisis yang dilakukan pada desain awal adalah tingginya nilai RULA pada kedua persentil, hal ini bisa terjadi dikarenakan kegiatan yang dilakukan oleh operator cukup sering dan berulang ulang namun tanpa tempat untuk bertumpu, sehingga pada disain usulan ini di tambahkan senderan lengan dalam dua ukuran yaitu 19 cm dan 30 cm. Berikut akan ditampilkan rekapitulasi 24 konfigurasi usulan.

Tabel 4.8 Rekapitulasi 24 Konfigurasi Usulan

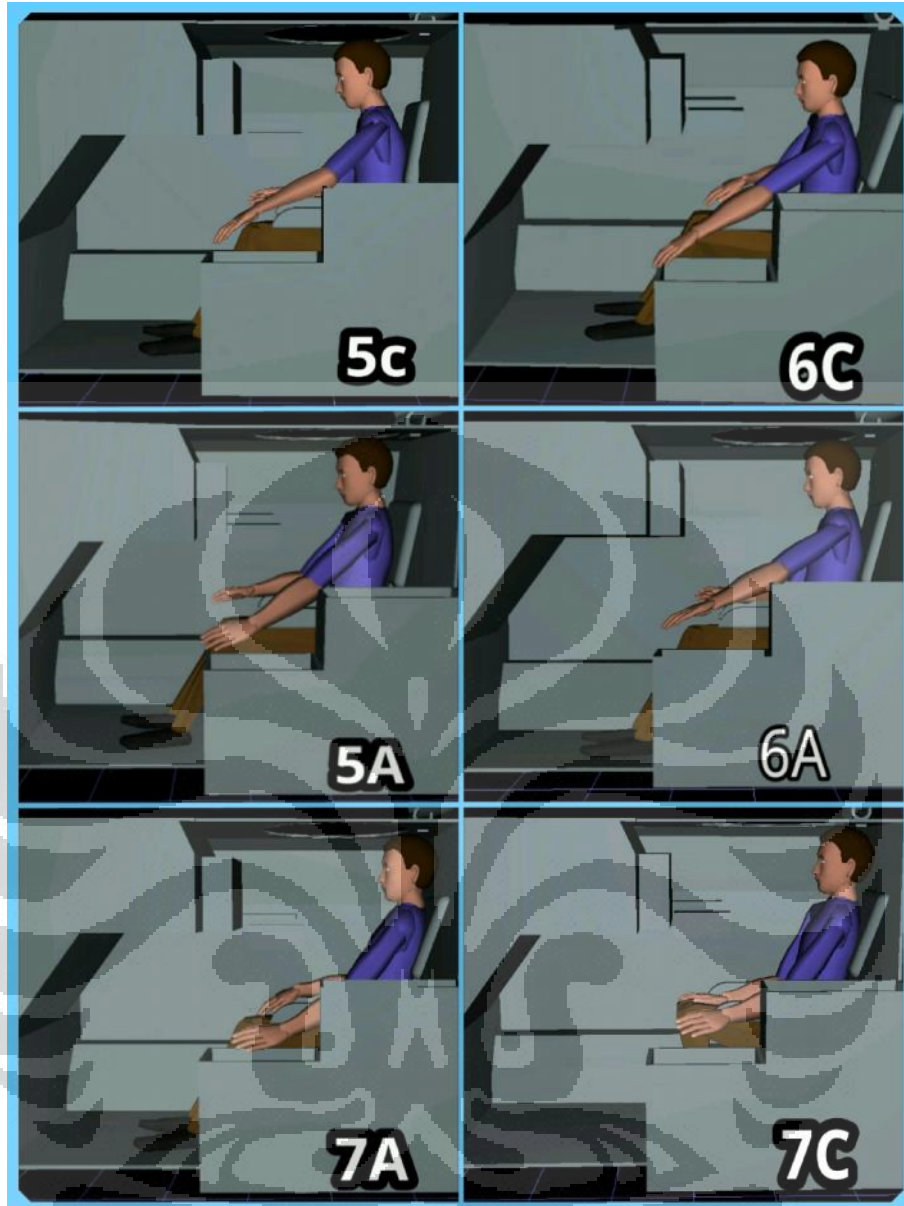
No	Konfigurasi	Persentil	Kedalaman Dudukan	Kemiringan Sandaran	Tinggi Sandaran Lengan
1	2A	5	37	100	26
2	2B	95	37	100	26
3	2C	5	45	100	26
4	2D	95	45	100	26
5	3A	5	37	105	26
6	3B	95	37	105	26
7	3C	5	45	105	26
8	3D	95	45	105	26
9	4A	5	37	110	26
10	4B	95	37	110	26
11	4C	5	45	110	26
12	4D	95	45	110	26
13	5A	5	37	100	28
14	5B	95	37	100	28
15	5C	5	45	100	28
16	5D	95	45	100	28
17	6A	5	37	105	28
18	6B	95	37	105	28
19	6C	5	45	105	28
20	6D	95	45	105	28
21	7A	5	37	110	28
22	7B	95	37	110	28
23	7C	5	45	110	28
24	7D	95	45	110	28

4.4. Analisis Postur Duduk Persentil 5 dengan Desain Usulan

Pada analisis ini terdapat 12 macam konfigurasi desain yang akan dilakukan, yaitu konfigurasi 2A, 2C, 3A, 3C, 4A, 4C, 5A, 5C, 6A, 6C, 7A, dan 7C. Objek dari analisis yang akan dilakukan kali ini adalah Operator dengan persentil 5. Proses penerapan postur pertama-tama dengan cara mengubah postur *Human Model* pada *Softwarare* jack mengikuti postur yang telah tersedia yaitu “*Seated Relaxed*” lalu setelah itu disesuaikan dengan kursi dan ruang kokpit yang tersedia.



Gambar 4.11 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5
(Bagian 1)



Gambar 4.12 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5
(Bagian 2)

Hal pertama yang dilakukan adalah melihat hasil dari analisa SSP, dan dari keduabelas konfigurasi diatas didapatkan nilai SSP yang semuanya berada diatas 90% untuk semua anggota tubuh yang menjadi sorotan apa analisis ini. Selanjutnya analisa akan dilanjutkan dengan menganalisis konfigurasi menggunakan metode LBA, OWAS, dan RULA dan dari nilai ketiga metode diatas kita bisa mendapatkan nilai PEI dari masing masing konfigurasi yang kan ditampilkan pada table rekapitulasi dibawah ini.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 5

konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
2a	329	1	3	0.95534
2c	401	2	3	1.22651
3a	263	1	3	0.93592
3c	270	1	3	0.93798
4a	356	2	4	1.41613
4c	344	2	4	1.41261
5a	334	1	4	1.15966
5c	496	2	4	1.45731
6a	306	1	4	1.15143
6c	423	1	4	1.18584
7a	359	2	5	1.61987
7c	338	2	6	1.81655

Pada tabel hasil analisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada software Jack 6.1 diatas dapat kita lihat bahwa nilai PEI untuk konfigurasi 3A merupakan nilai paling kecil dan nilai PEI paling besar ada pada konfigurasi 7C. dari data di atas, postur duduk yang paling baik untuk persentil 5 adalah postur duduk pada konfigurasi 3A dan yang paling tidak nyaman juga berpotensi menyebabkan cedera berada pada konfigurasi 7C.

Pada nilai LBA, konfigurasi yang memiliki nilai LBA paling rendah adalah konfigurasi 3A dengan nilai 263 dan konfigurasi dengan nilai LBA tertinggi adalah konfigurasi 5C dengan nilai LBA sebesar 496. Besar sudut sandaran sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai LBA. Pada Konfigurasi yang memiliki sudut sandaran kursi sebesar 100° seperti pada konfigurasi 2A, 2C, 5A, dan 5C, nilai LBA yang diperoleh cenderung tinggi dengan nilai rata-rata 390, hal ini disebabkan karena postur yang tercipta dari kursi dengan besar sudut sandaran 100° masih cukup tegak sehingga tulang bagian belakang masih menerima tekanan yang cukup besar. Sedangkan pada konfigurasi dengan desain sudut sandaran tempat duduk 110° seperti konfigurasi 4A,4C, 7A, dan 7C, memiliki nilai rata-rata 349.2, bila dibandingkan dengan sudut sebelumnya, konfigurasi dengan sudut sandaran kursi 110° mempunyai nilai LBA yang lebih kecil, namun yang menjadi kendala pada sandaran dengan konfigurasi sudut seperti ini adalah

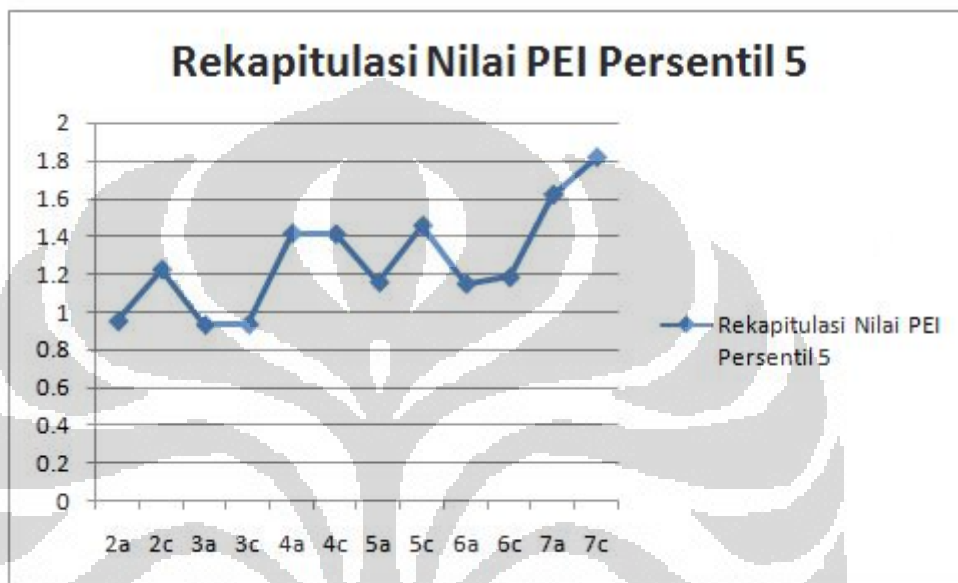
nilai OWAS yang diperoleh adalah 2. Pada konfigurasi yang memiliki sudut sandaran kursi sebesar 105° seperti pada konfigurasi 3A, 3C, 6A, dan 6C, nilai LBA yang diterima rata-rata berjumlah 315 yang merupakan nilai rata-rata terkecil.

Dari analisa di atas kita dapati bahwa besar sudut sandaran kursi yang terlalu tegak membuat postur kerja dari operator cenderung membungkuk yang mana menambah beban yang di terima oleh tulang belakang. Sedangkan besar sudut sandaran kursi yang rendah dapat meringankan beban yang diterima oleh ruas tulang belakang, ini terjadi karena beban yang di berikan tubuh terdistribusikan kepada sandaran kursi sehingga nilai LBA yang di peroleh cenderung lebih kecil dibandingkan dengan sudut sandaran kursi yang lebih tegak, namun sudut yang terlalu lebar dapat membuat posisi kerja menjadi sedikit terganggu dikarenakan beberapa bagian tubuh harus bekerja lebih, seperti pada bagian leher yang harus ditekuk lebih dalam jika ingin melihat dalam posisi menyender yang terlalu rendah.

Pada metode OWAS, konfigurasi desain seperti pada konfigurasi 2A, 3A, 3C, 5A, 6A, dan 6C menghasilkan nilai 1 yang merupakan nilai terendah dari metode OWAS, nilai OWAS sebesar 1 menandakan bahwa posisi duduk yang dilakukan operator adalah posisi duduk yang nyaman, sedangkan konfigurasi lain untuk persentil 5 menghasilkan nilai OWAS sebesar 2, nilai 2 pada OWAS menandakan postur yang dilakukan masih cukup baik. Postur kerja yang bagus sehingga menghasilkan nilai OWAS yang rendah adalah dimana sudut yang terbentuk antara paha dengan tubuh tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil. Aspek desain yang mempengaruhi besarnya nilai OWAS adalah besar sudut sandaran kursi dan kedalaman bantalan kursi operator. Bila kedalaman/panjang dari bantalan kursi tidak melebihi panjang dari popliteal operator, kaki dari operator dapat menyentuh tanah dan tidak menggantung.

Hasil analisis rula pada table 4.9 menunjukkan nilai yang bervariasi. Pada konfigurasi 2A, 2C, 3A, dan 3C nilai RULA yang dihasilkan adalah 3, pada konfigurasi 4A, 4C, 5A, 5C, 6A, dan 6C nilai RUIA yang dihasilkan adalah 4. Desain konfigurasi yang menghasilkan nilai RULA rendah cenderung memiliki desain sandaran lengan dengan ketinggian 26cm dan memiliki sudut sandaran

kurasi sebesar 100° dan 105° . Dengan ditambahkan sepasang sandaran lengan pada kursi operator *Gun Turret*, kedua tangan dari operator tersebut sekarang memiliki penyangga yang berfungsi sebagai tempat bertumpu tangan dan juga sebagai tempat sandaran untuk mengistirahatkan tangan operator yang tidak sedang melakukan suatu pekerjaan. Dengan adanya sandaran lengan ini, nilai RULA dan LBA yang dihasilkan dapat diperkecil.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan Nilai PEI Desain Usulan Persentil 5

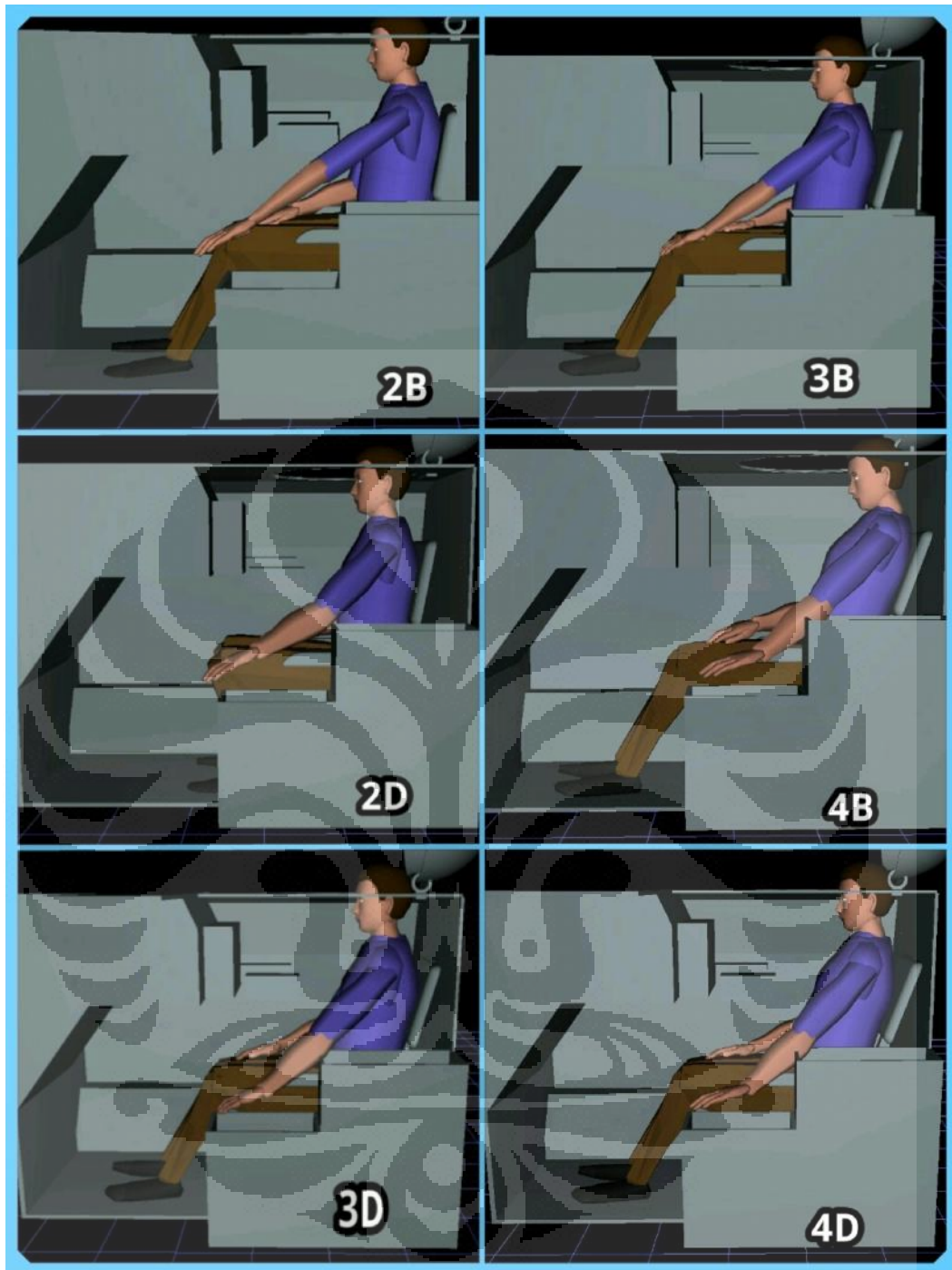
Grafik di atas menunjukkan perbandingan nilai PEI dari 12 desain konfigurasi usulan pada operator dengan persentil 5. Nilai PEI terkecil didapat oleh konfigurasi desain 3A dengan nilai 0,935 dan di susul oleh konfigurasi 3c dengan nilai 0,937. Pada persentil 5, kedua desain ini memiliki perbedaan hanya pada ukuran kedalaman tempat duduk, pada desain 3A panjang ukuran kedalaman kursi bernilai 37cm dan pada 3C bernilai 45cm, selebihnya ukuran dari kedua desain tersebut sama. Hal ini terjadi disebabkan oleh panjang popliteal dari persentil 5 masih memadai bila menggunakan ukuran kedalaman kursi sebesar 37cm maupun 45cm, sehingga perbedaan hanya terjadi pada besar nilai LBA dari kedua konfigurasi tersebut.

Nilai PEI terbesar dihasilkan oleh konfigurasi 7C dengan nilai 1.816 dan disusul oleh konfigurasi 7A dengan nilai 1.619. kedua desain diatas memiliki kesamaan disain yang terletak pada besar sudut sandaran tempat duduk serta tinggi sandaran lengan. Pada konfigurasi 4A, 4C, 7A, serta 7C yang mempunyai

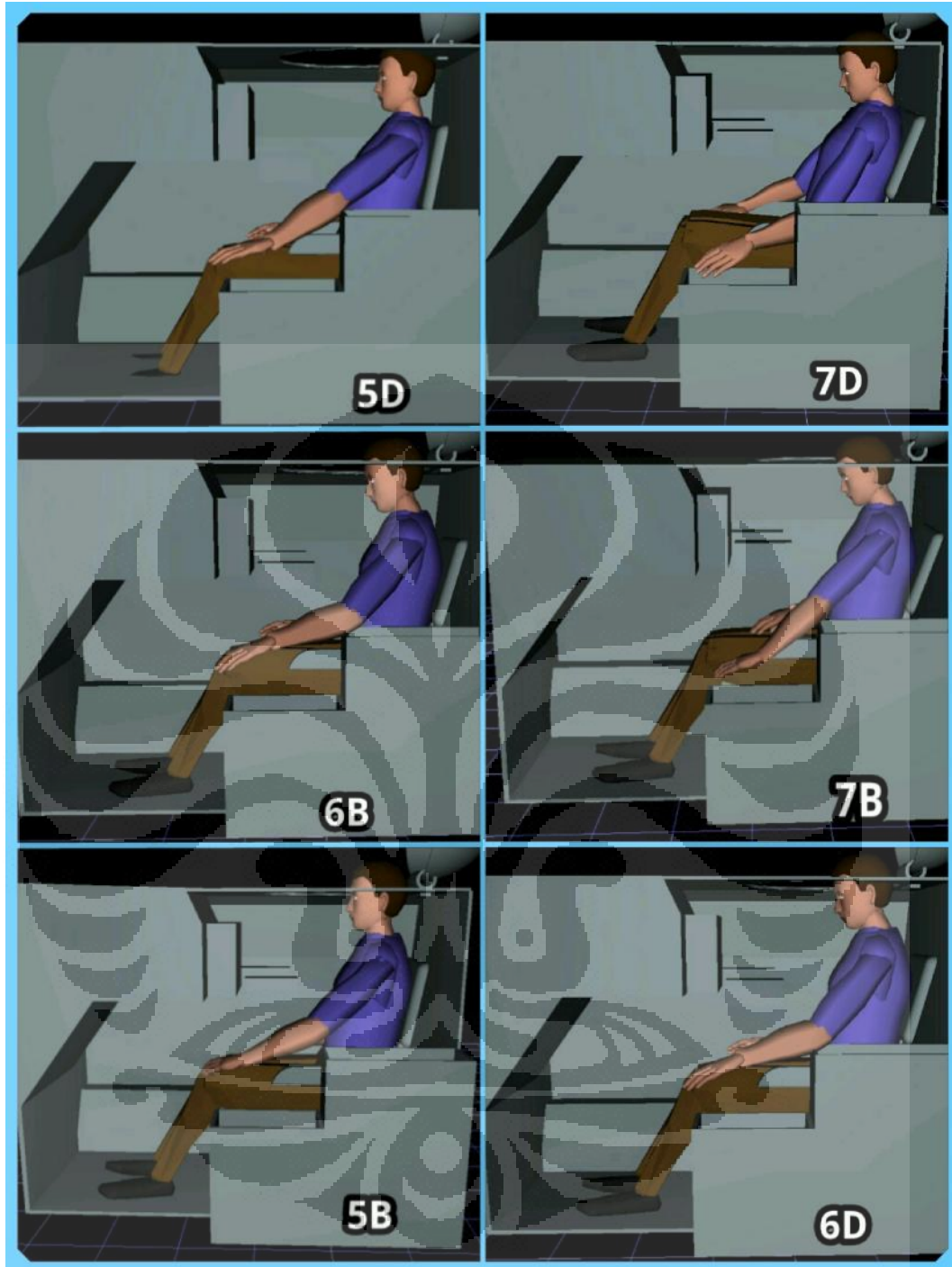
besar sudut sandaran tempat duduk yang sama yaitu 110° menghasilkan nilai LBA yang tidak terlalu tinggi namun mempengaruhi perolehan nilai OWAS yang bernilai 2 serta nilai RULA yang bernilai 4 keatas. dengan melihat analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa persentil 5 akan menghasilkan postur dengan nilai PEI terendah yaitu 0,935 yang terdapat pada konfigurasi 3A. desain konfigurasi 3A menggunakan nilai kedalaman dudukan yaitu sebesar 37cm, lebar sudut sandaran kursi sebesar 105° dan tinggi sandaran lengan sebesar 26cm.

4.4.1. Analisis Postur Duduk Persentil 95 dengan Desain Usulan

Pada analisis ini terdapat 12 macam konfigurasi desain yang akan dilakukan, yaitu konfigurasi 2B, 2D, 3B, 3D, 4B, 4D, 5B, 5D, 6B, 6D, 7B, dan 7D. Objek dari analisi yang akan dilakukan kali ini adalah Operator dengan persentil 5. Proses penerapan postur pertama-tama dengan cara mengubah postur *Human Model* pada *Software* jack mengikuti posture yang telah tersedia yaitu "*Seated Relaxed*" lalu setelah itu disesuaikan dengan kursi dan ruang kokpit yang tersedia.



Gambar 4.14 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95
(Bagian 1)



Gambar 4.15 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95
(Bagian 2)

Hal pertama yang dilakukan adalah melihat hasil dari analisa SSP, dan dari keduabelas konfigurasi diatas didapatkan nilai SSP yang semuanya berada diatas 90% untuk semua anggota tubuh yang menjadi sorotan apa analisis ini. Selanjutnya analisa akan dilanjutkan dengan menganalisis konfigurasi

menggunakan metode LBA, OWAS, dan RULA dan dari nilai ketiga metode diatas kita bisa mendapatkan nilai PEI dari masing masing konfigurasi yang kan ditampilkan pada table rekapitulasi dibawah ini.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 95

konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
2b	95	574	1	3	1.027395
2d	95	529	2	3	1.26416
3b	95	458	1	3	0.993277
3d	95	473	1	3	0.997689
4b	95	713	2	4	1.521134
4d	95	621	2	5	1.696933
5b	95	510	1	4	1.211429
5d	95	608	2	6	1.895966
6b	95	482	1	4	1.203193
6d	95	646	1	4	1.251429
7b	95	567	2	6	1.883908
7d	95	613	2	6	1.897437

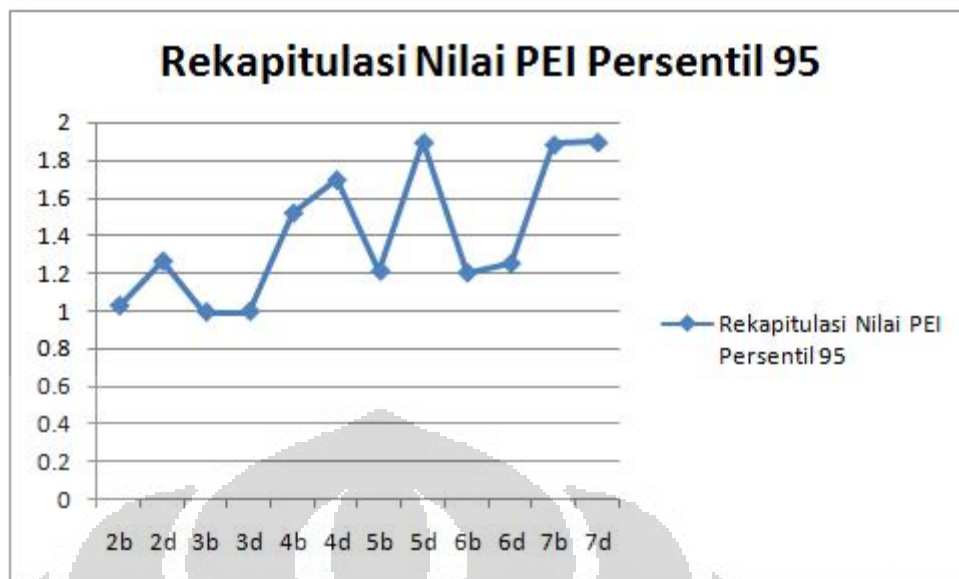
Pada tabel hasil analisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada software Jack 6.1 diatas dapat kita lihat bahwa nilai PEI untuk konfigurasi 3B merupakan nilai paling kecil dan nilai PEI paling besar ada pada konfigurasi 7D. dari data di atas, postur duduk yang paling baik untuk persentil 95 adalah postur duduk pada konfigurasi 3B dan yang paling tidak nyaman juga berpotensi menyebabkan cedera berada pada konfigurasi 7D.

Pada nilai LBA, konfigurasi yang memiliki nilai LBA paling rendah adalah konfigurasi 3B dengan nilai 458 dan konfigurasi dengan nilai LBA tertinggi adalah konfigurasi 6D dengan nilai LBA sebesar 646. Besar sudut sandaran sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai LBA. Pada Konfigurasi yang memiliki sudut sandaran kursi sebesar 100° seperti pada konfigurasi 2B, 2D, 5B, dan 5D, nilai LBA yang diperoleh cenderung tinggi dengan nilai rata-rata 555.25, hal ini disebabkan karena postur yang tercipta dari kursi dengan besar sudut sandaran 100° masih cukup tegak sehingga tulang bagian belakang masih menerima tekanan yang cukup besar. Sedangkan pada konfigurasi dengan desain sudut sandaran tempat duduk 110° seperti konfigurasi 4B,4D, 7B, dan 7D, memiliki nilai rata-rata 628, bila dibandingkan dengan sudut

sebelumnya, konfigurasi dengan sudut sandaran kursi 110° mempunyai nilai LBA yang lebih kecil, namun yang menjadi kendala pada sandaran dengan konfigurasi sudut seperti ini adalah nilai OWAS yang diperoleh adalah 2. Pada konfigurasi yang memiliki sudut sandaran kursi sebesar 105° seperti pada konfigurasi 3B, 3D, 6B, dan 6D, nilai LBA yang diterima rata-rata berjumlah 514,75 yang merupakan nilai rata-rata terkecil.

Pada metode OWAS, konfigurasi desain seperti pada konfigurasi 2B, 3B, 3D, 5B, 6B, dan 6D menghasilkan nilai 1 yang merupakan nilai terendah dari metode OWAS, nilai OWAS sebesar 1 menandakan bahwa posisi duduk yang dilakukan operator adalah posisi duduk yang nyaman, sedangkan konfigurasi lain untuk persentil 95 menghasilkan nilai OWAS sebesar 2, nilai 2 pada OWAS menandakan postur yang dilakukan masih cukup baik. Postur kerja yang bagus sehingga menghasilkan nilai OWAS yang rendah adalah dimana sudut yang terbentuk antara paha dengan tubuh tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil. Aspek desain yang mempengaruhi besarnya nilai OWAS adalah besar sudut sandaran kursi dan kedalaman bantalan kursi operator. Bila kedalaman/panjang dari bantalan kursi tidak melebihi panjang dari popliteal operator, kaki dari operator dapat menyentuh tanah dan tidak menggantung.

Hasil analisis rula pada table 4.10 menunjukkan nilai yang bervariasi. Pada konfigurasi 2B, 2D, 3B, dan 3D nilai RULA yang dihasilkan adalah 3, pada konfigurasi 4B, 4D, 5B, 5D, 6B, dan 6D nilai RULA yang dihasilkan bernilai di atas 4. Desain konfigurasi yang menghasilkan nilai RULA rendah cenderung memiliki desain sandaran lengan dengan ketinggian 26cm dan memiliki sudut sandaran kursi sebesar 100° dan 105° . Dengan ditambahkan sepasang sandaran lengan pada kursi operator *Gun Turret*, kedua tangan dari operator tersebut sekarang memiliki penyangga yang berfungsi sebagai tempat bertumpu tangan dan juga sebagai tempat sandaran untuk mengistirahatkan tangan operator yang tidak sedang melakukan suatu pekerjaan. Dengan adanya sandaran lengan ini, nilai RULA dan LBA yang dihasilkan dapat diperkecil.



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Persentil 95

Pola grafik perbandingan nilai PEI dari persentil 95 tidak jauh berbeda dengan persentil 5, yang membedakan hanyalah nilai LBA dari tiap tiap konfigurasi persentil 95 lebih besar dibandingkan persentil 5, hal inilah yang mempengaruhi perbedaan besar nilai PEI yang tercipta.

Nilai PEI terbesar dihasilkan oleh konfigurasi 7D dengan nilai 1.897 dan disusul oleh konfigurasi 5A dengan nilai 1.895. kedua desain diatas memiliki kesamaan disain yang terletak pada tinggi sandaran lengan dan memiliki besar sudut sandaran kursi 100° dan 110° . Pada konfigurasi 4B, 4D, 7B, serta 7D yang mempunyai besar sudut sandaran tempat duduk yang sama yaitu 110° menghasilkan nilai LBA yang tidak terlalu tinggi namun mempengaruhi perolehan nilai OWAS yang bernilai 2 serta nilai RULA yang bernilai 4 keatas. dengan melihat data di diatas, dapat disimpulkan bahwa persentil 95 akan menghasilkan postur dengan nilai PEI terendah yaitu 0,993 yang terdapat pada konfigurasi 3B. desain konfigurasi 3A menggunakan nilai kedalaman dudukan yaitu sebesar 37cm, lebar sudut sandaran kursi sebesar 105° dan tinggi sandaran lengan sebesar 26cm.

BAB 5 KESIMPULAN

Dalam bab 5 ini akan dipaparkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis desain kokpit operator maupun berbagai macam konfigurasi postur duduk yang telah dibahas pada bab 4. Selain itu bab ini juga akan memuat saran dan masukan dari penulis berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul “Evaluasi dan Perancangan Kokpit Operator *Gun Turret* panzer kanon yang ergonomis dalam *Virtual Environment*” ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain aktual dari kokpit operator *Gun Turret* panzer tipe kanon yang di rancang oleh PT.PINDAD memiliki luas yang sempit dan terbatas. Operator dengan persentil 5 bisa masuk kedalamnya dengan leluasa, namun pada operator dengan persentil 95, tinggi badan dari operator dengan persentil ini sedikit melewati batas, namun dengan desain penutup kepala yang berbentuk kubah, dapat mengatasi masalah ini.
2. Oleh karena terbatasnya ruang yang tersedia, pada saat merancang untuk desain usulan, konfigurasi hanya dapat dilakukan pada kursi dan monitor pengintai yang terletak didepan kursi, hal ini terjadi dikarenakan rancangan usulan yang telah dilakukan tidak diperkenankan untuk mempengaruhi desain luar dari kendaraan tersebut.
3. Rancangan (desain) awal dari kokpit operator menghasilkan nilai PEI sebesar 2.276 untuk persentil 5 dan 2.342 untuk persentil 95, dengan nilai LBA 362 untuk persentil 5 dan 586 untuk persentil 95, serta nilai OWAS 3 pada kedua persentil, dan RULA dengan nilai 7 pada kedua persentil.
4. Pada konfigurasi desain dengan menggunakan persentil 5, jumlah PEI paling kecil didapat pada konfigurasi 3A dengan nilai 0.935. konfigurasi ini mempunyai kombinasi ukuran kedalaman dudukan 37 cm, kemiringan sandaran tempat duduk 105° dan tinggi sandaran lengan sebesar 26 cm.

5. Pada konfigurasi desain dengan menggunakan persentil 95, jumlah PEI paling kecil didapat pada konfigurasi 3B dengan nilai 0.993. konfigurasi ini mempunyai kombinasi ukuran kedalaman dudukan 37 cm, kemiringan sandaran tempat duduk 105° dan tinggi sandaran lengan sebesar 26 cm.
6. Kedua nilai PEI yang dihasilkan oleh masing-masing konfigurasi 3A dan 3B tersebut jauh lebih baik dibandingkan nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi aktual 1A dan 1B. Maka dengan demikian dapat disimpulkan bahwa desain usulan kursi dan meja pada konfigurasi 3A dan 3B sudah lebih baik dibandingkan desain kursi dan meja aktual, sehingga dapat membentuk postur duduk yang benar dan tidak mencederai tubuh operator.

5.2. Saran

Setelah melakukan penelitian didapat bahwa dengan melakukan konfigurasi di atas nilai PEI persentil 5 dan persentil 95 dapat berkurang, namun ruang yang tersedia untuk persentil 95 masih kurang memadai, bisa dilihat dari posisi kepala operator dengan persentil 95 masih melewati atap dari kokpit. Oleh karena itu untuk kenyamanan dan performa kerja yang bagus, operator dari *Gun Turret* diharapkan mempunyai karakteristik persentil 50 kebawah. Selain itu, operator juga diwajibkan untuk menggunakan helm untuk perlindungan kepala, sebab jarak antara atap dan kepala operator sangat sedikit.

Dengan mengaplikasikan ilmu ergonomi dalam suatu rancangan kendaraan atau tempat kerja dapat menambah kinerja dari manusia yang melakukan pekerjaan pada tempat tersebut, oleh karena itu dengan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang desain kokpit operator *gun turret* diharapkan rancangan ini akan menjadi semakin baik dan nyaman.

DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S., (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis, h.1.
- Kalawsky, R. (1993b). *Critical Aspects of Visually Coupled Systems*. In: Earnshaw, R., Gigante, M. and Jones, H. (eds.), *Virtual Reality Systems*. London: Academic Press, h. 302–312.
- Karwowski, W., Marras, W.S. (2003). *Occupational Ergonomic Principles of Work Design*. Boca Raton: CRC Press. Pg 25-1 – 26-12
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Mark Sanders. S dan Ernest J McCormick,(1993). *Human Factor in Engineering and Design*, Attention (pp. 4), Singapore: MCGraw-Hill Inc.
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110*.
- Park, Se Jin., Lee, Jeong-Woo., Kwon, Kyu-Sik., Kim, Chae-Bogk., Kim, Han-Kyung. (1999). *Preferred Driving Posture and Driver's Physical Dimension*.
- Siemens PLM Software Inc. (2008). *Jack user manual version 6.0*. California: Author.
- Siemens PLM Software Inc. (2008). *Jack task analysis toolkit (TAT) training manual*. California: Author.
- UGS Tecnomatix (2005). *Jack human modeling and simulation*.
<http://www.ugs.com/>
- United States Department of Defense (1999). *Department of Defense Human Engineering Design Criteria Standard*.
- The International Ergonomics Association. (2000). *The Discipline of Ergonomics*.
<http://www.iea.cc/>
- Chuan,Tan Kay.,Hartono,Markus., Kumar,Naresh.(2010). *Anthropometry of the Singaporean and Indonesian populations*

LAMPIRAN

Anthropometric data for Indonesian males and females (all dimensions in cm, body weight in kg).

Dimension	Male citizens				Male Chinese				Female citizens				Female Chinese			
	5th	50th	95th	SD	5th	50th	95th	SD	5th	50th	95th	SD	5th	50th	95th	SD
1. Stature	162	172	183	6.23	165	171	180	4.81	150	159	169	5.76	151	159	166	5.06
2. Eye height	151	160	172	6.3	153	160	169	5.08	139	148	158	6.12	137	146	158	6.73
3. Shoulder height	134	143	155	6.41	134	143	151	5.05	123	132	141	5.91	123	132	139	5.43
4. Elbow height	99	107	114	5.12	99	106	112	4.29	91	99	108	6.4	92	98	107	5.35
5. Hip height	83	95	105	6.76	81	94	103	6.48	78	88	97	5.91	79	90	96	5.68
6. Knuckle height	68	75	82	4.75	69	74	80	5.13	63	70	78	4.37	64	69	77	3.89
7. Fingertip height	58	64	71	4.82	59	64	70	5.13	54	60	65	3.67	53	60	68	3.99
8. Sitting height	80	89	96	5.24	85	90	96	6.55	78	83	90	4.7	79	84	88	2.97
9. Sitting eye height	69	76	84	4.58	72	78	85	6.54	67	73	80	5.83	68	72	79	3.64
10. Sitting shoulder height	52	59	67	6.27	55	61	72	7.15	51	56	63	4.94	52	57	64	3.67
11. Sitting elbow height	19	24	30	4.74	19	25	31	7.13	19	25	32	5.19	21	24	30	3.24
12. Thigh thickness	12	16	22	3.59	13	16	20	2.76	11	15	19	3.22	12	15	19	2.81
13. Buttock-knee length	48	56	64	4.89	49	57	64	4.83	45	53	60	4.81	48	53	60	4.06
14. Buttock-popliteal length	40	46	54	4.82	38	47	56	5.36	37	43	51	4.21	39	44	52	3.97
15. Knee height	46	54	62	5.21	44	53	61	5.65	43	50	60	5.27	42	49	60	5.38
16. Popliteal height	38	44	49	3.78	36	44	50	5.36	38	44	50	3.92	36	43	47	3.85
17. Shoulder breadth (bilateral)	36	45	52	4.66	38	45	50	4.6	37	43	53	5.43	40	44	53	4.97
18. Shoulder breadth (biacromial)	31	37	43	3.61	33	38	44	3.83	33	38	44	3.56	34	38	44	3.18
19. Hip breadth	28	35	43	4.41	30	35	44	4.09	29	35	45	7.22	30	34	42	4.21
20. Chest (bust) depth	16	21	27	3.5	17	22	27	4.02	17	21	28	3.38	19	23	28	3.61
21. Abdominal depth	15	21	29	4.46	15	21	30	5.19	14	18	25	3.44	15	20	26	3.93
22. Shoulder-elbow length	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
23. Elbow-fingertip length	42	47	56	4.55	41	46	53	4.27	37	43	50	4.27	37	42	47	3.72
24. Upper limb length	68	76	84	6.39	68	75	85	5.06	62	70	77	4.69	64	68	74	3.92
25. Shoulder-grip length	56	65	73	6.29	59	66	74	5.13	54	60	68	4.3	54	60	68	4.64
26. Head length	17	20	24	2.21	17	20	24	2.58	15	18	22	3.95	15	19	22	2.13
27. Head breadth	15	18	22	2.06	15	18	21	1.89	14	17	21	2.48	14	18	21	2.11
28. Hand length	17	19	22	1.64	15	19	22	2.42	16	18	20	1.72	17	18	20	2.16
29. Hand breadth	7	9	11	1.09	8	9	11	0.89	6	8	10	4.85	6	8	9	0.73
30. Foot length	22	25	29	2.58	11	25	28	4.43	21	23	26	2.63	21	23	26	2.3
31. Foot breadth	8	10	12	3.96	8	10	12	1.16	7	9	11	2.2	7	9	10	1.08
32. Span	158	172	186	8.5	155	171	182	8.73	146	156	170	7.61	150	159	168	6.52
33. Elbow span	78	86	96	5.97	79	87	94	4.36	73	79	89	5.38	73	81	88	4.53
34. Vertical grip reach (standing)	192	206	221	10.54	197	206	222	7.74	174	186	204	9.1	176	189	202	8.07
35. Vertical grip reach (sitting)	112	122	136	7.9	116	123	130	5.18	101	113	124	7.2	106	115	128	10.25
36. Forward grip reach	64	73	81	5.89	66	74	81	4.7	61	67	76	4.39	60	67	74	4.76
37. Body weight (kg)	50	63	89.25	13.19	53.05	63	93.45	13.35	39.80	53	80	11.68	41.90	55	70.40	9.49

