

**ANALISIS ERGONOMI DESAIN SEPEDA MOTOR TIPE *CUB*  
TERHADAP PENGENDARA PRIA  
DENGAN METODE *POSTURE EVALUATION INDEX* (PEI)  
DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

**BUDI NURANTO KURNIAWAN  
0606077005**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2010**

**ANALISIS ERGONOMI DESAIN SEPEDA MOTOR TIPE *CUB*  
TERHADAP PENGENDARA PRIA  
DENGAN METODE *POSTURE EVALUATION INDEX* (PEI)  
DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
sarjana teknik**

**BUDI NURANTO KURNIAWAN  
0606077005**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Budi Nuranto Kurniawan

NPM : 0606077005

Tanda Tangan : .....

Tanggal : 5 Juli 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Budi Nuranto Kurniawan  
NPM : 0606077005  
Departemen : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Desain Sepeda Motor Tipe *Cub* Terhadap Pengendara Pria Dengan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) Dalam *Virtual Environment*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Arian Dhini, ST., MT. (.....)  
Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM (.....)  
Penguji : Ir. Yadrifil, MSc (.....)  
Penguji : Armand Omar Moeis, ST., MSc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

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

1. Ibu Arian Dhini, ST., MT. Terima kasih atas segala yang telah ibu berikan selaku dosen pembimbing skripsi; motivasi, arahan, saran, do'a, bimbingan akademis, dan bimbingan hidup. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan ibu dengan kebaikan yang lebih banyak.
2. Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE dan Ir. Erlinda Muslim, MEE., selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini.
3. Bpk. Ir. Yadrifil, MSc., selaku dosen pembimbing akademis.
4. Yin Aye Moe dari BES Tech, Aaron Chin dari Vicon dan Bapak Anton. Terima kasih atas pelatihan *Vicon Motion Capture System* dan bantuannya.
5. Bapak Ir. Agung Prehadi dan keluarga atas segala bantuannya, baik atas saran yang diberikan selama pembuatan skripsi, keramahan dan kemudahan akses yang bapak upayakan dalam membantu penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah SWT selalu menjaga kesehatan bapak sekeluarga.
6. Keluarga tercinta, terutama Ayah, Ibu, dan Besty yang tercinta, atas seluruh perhatian dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang ini.

7. Yulia Alfianti sebagai kekasih penulis yang menjadi motivator penulis untuk segera menyelesaikan studinyadan selalu menemani penulis baik dalam suka maupun duka.
  8. Yunika Harindra Putri sebagai rekan penulis dalam tim skripsi sepeda motor atas kerja sama yang hebat dalam 6 bulan ini.
  9. Herbert Nalle, Arya Abbyasa, Herian Atma, Herman Adrian, M. Aldi Wijaksono, Ayu Kusumawardhani, Novianti, Venita Anugrani, Sanny Salim, Jennifer, Amalia O. Paera, dan Sarah Damai atas 6 bulan yang hebat dan penuh perjuangan dalam tim skripsi ergonomi. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dan memberikan kalian petunjuk dan jalan terbaik.
  10. Zulkarnain, Romadhani, dan Artur atas pengetahuannya yang sangat membantu penulis.
  11. Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri terutama Mas Achiel, Mas Latief, Pak Mursyid, dan Mas Iwan atas kesediaannya membantu asisten Ergonomics Centre hingga malam dan bahkan di akhir pekan.
  12. Seluruh teman-teman Teknik Industri angkatan 2006: Abe, Alvin, Amenk, Andi, Anisa, Anton, Arya, Asa, Aziiz, Bacul, Billy, Cepe, Che, Christie, Dame, Daus, Debbie, Dije, Dira, Dita, Dito, Dudit, Eki, Ema, Enef, Eki, Fadhil, Faishal, Fajri, Fatur, Fero, Fitri, Hana, Herbert, Herian, Herman, Igay, Ijul, Inang, Ismi, Jenni, Kandep, Kiki, Kurnia, Leo, Lindi, Lintang, Linus, Mona, Monfi, Monic, Mumu, Nana, Naul, Nico, Nina, Norman, Nova, Novi, Nuki, Nuning, Okky, Ono, Pale, Pei, Pepe, Renta, Rere, Rika, Sadam, Sanny, Satria, Sekar, Sisca, Sisiy, Steven, Togi, Tuty, Venita, Vius, Yanti, Yudi, Yunika, Zuhri. Terima kasih atas 4 tahun yang luar biasa dan penuh hikmah ini. Semoga Allah menunjuki kalian jalan yang lurus.
  13. Pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu di sini.
- Saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam skripsi ini. Kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Depok, 13 Juni 2010

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

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

Nama : Budi Nuranto Kurniawan

NPM : 0606077005

Departemen : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**Analisis Ergonomi Desain Sepeda Motor Tipe *Cub***

**Terhadap Pengendara Pria Dengan Metode *Posture Evaluation Index (PEI)***

**Dalam *Virtual Environment***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, 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.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juni 2010

Yang menyatakan

( Budi Nuranto Kurniawan )

## ABSTRAK

Nama : Budi Nuranto Kurniawan  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Desain Sepeda Motor Tipe *Cub* Terhadap Pengendara Pria Dengan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) Dalam *Virtual Environment*

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis sepeda motor tipe *cub* dalam lingkungan virtual. Pengambilan data gerakan dilakukan dengan Vicon System dan dianalisis menggunakan *software* Jack 6.2.1. Pendekatan yang digunakan adalah *Posture Evaluation Index* (PEI) yang mengintegrasikan analisis dari tiga metode: *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Tujuannya adalah mengevaluasi desain aktual sepeda motor dan menentukan konfigurasi paling ergonomis ditinjau dari posisi duduk dan *footstep*. Dihasilkan 9 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Hasil penelitian menyarankan rancangan konfigurasi dengan perubahan posisi *footstep* lebih maju 13 cm dan posisi duduk lebih mundur 15 cm dari desain aktual karena memiliki nilai PEI terendah.

**Kata Kunci:**

Ergonomi, Sepeda Motor Tipe *Cub*, Lingkungan Virtual, *Motion Capture*, *Posture Evaluation Index*, Konfigurasi Optimal



## ABSTRACT

Name : Budi Nuranto Kurniawan  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Ergonomic Analysis of *Cub* Motorcycle toward Male Rider with Posture Evaluation Index within Virtual Environment

This research study the ergonomic aspect from *cub* motorcycle in virtual environment. Vicon System was used to capture motion and Jack 6.2.1 was used to analyzed it. Posture Evaluation Index was an approach that integrated the results of these three methods: Low Back Analysis, Ovako Working Analysis System, and Rapid Upper Limb Analysis. The objective is to evaluate existing motorcycle design and determine the most ergonomic configurations that concern at seating and *footstep* position. There are 9 configurations that will be analyzed. The results suggest that the most ergonomic design is with change the *footstep* position 13 cm onward and seating position 15 cm backward from its actual design because of the lowest PEI score was gained.

Key words:

Ergonomics, Motorcycle, Motion Capture, Posture Evaluation Index, Optimum Configurations

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PRNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah .....	3
1.3 Rumusan Permasalahan .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Metodologi Penelitian .....	5
1.7 Sistematika Penulisan .....	8
<b>2. LANDASAN TEORI .....</b>	<b>11</b>
2.1 Ergonomi.....	11
2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi .....	11
2.1.2 Ergonomi dan Desain Produk .....	14
2.2 Antropometri.....	15
2.2.1 Definisi Antropometri .....	17
2.2.2 Variabilitas Manusia .....	19
2.2.3 Data Antropometri .....	20
2.2.4 Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan .....	20
2.2.5 Aplikasi Distribusi Normal Dalam Data Antropometri .....	23
2.3 <i>Virtual Environment</i> .....	27
2.4 <i>Vicon Motion Capture System</i> .....	27
2.4.1 Pendahuluan Mengenai <i>Motion Capture</i> .....	27
2.4.2 Cara Kerja <i>Motion Capturing</i> .....	27
2.5 <i>Software</i> Siemens Jack 6.1.2.....	28
2.5.1 Pendahuluan Mengenai Jack .....	28
2.5.2 Jack Motion Capture Module.....	31
2.5.3 Jack Task Analysis Toolkit.....	31
2.6 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i> .....	33
2.7 <i>Low Back Analysis (LBA)</i> .....	36
2.8 <i>Ovako Working Posture Analysis (OWAS)</i> .....	37
2.9 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i> .....	41
2.10 <i>Metode Posture Evaluation Index (PEI)</i> .....	44
2.10.1 Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja .....	45

2.10.2 Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas .....	45
2.10.3 Fase Ketiga: <i>Static Strength Prediction</i> .....	45
2.10.4 Fase Keempat: <i>Low Back Analysis</i> .....	46
2.10.5 Fase Kelima: <i>Ovako Working Posture Analysis</i> .....	46
2.10.6 Fase Keenam: <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> .....	46
2.10.7 Fase Ketujuh: Evaluasi PEI .....	47
2.11 SEPEDA MOTOR .....	48
2.11.1 Jenis Sepeda Motor .....	48
<b>3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>54</b>
3.1 Pengumpulan Data .....	54
3.1.1 Data Spesifikasi Sepeda Motor .....	54
3.1.2 Data Antropometri Mahasiswa Universitas Indonesia .....	54
3.1.4 Data Postur dan Gerakan Pengendara Sepeda Motor .....	57
3.1.4.1 Mengkalibrasi Vicon System .....	59
3.1.4.2 Mempersiapkan Subjek Manusia .....	62
3.1.4.3 Melakukan Proses <i>Motion Capture</i> .....	66
3.1.4.4 Melabeli <i>Markers</i> .....	66
3.2 Pengolahan Data .....	69
3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual ( <i>Virtual Environment</i> ) .....	69
3.2.2 Memasukkan Data Postur Statis Manusia .....	70
3.2.3 Membuat Manekin ( <i>Virtual Human</i> ) .....	72
3.2.4 Menyatukan Manekin dengan Data Postur Statis Manusia .....	73
3.2.5 Memberikan Beban ( <i>Weights</i> ) .....	75
3.2.6 Menjalankan Simulasi dalam Virtual Environment .....	75
3.2.7 Menganalisis Kinerja Manekin .....	78
3.2.8 Perhitungan Nilai Posture Evaluation Index (PEI) .....	82
3.3 Perancangan Konfigurasi Model .....	82
3.4 Verifikasi dan Validasi Model .....	83
<b>4. ANALISIS .....</b>	<b>85</b>
4.1 Analisis Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 .....	85
4.1.1 Hasil <i>Static Strength Prediction</i> (SSP) .....	96
4.1.2 Hasil <i>Lower Back Analysis</i> (LBA) .....	89
4.1.3 Hasil <i>Ovako Working Analysis System</i> (OWAS) .....	90
4.1.4 Hasil <i>Rapid Upper Limb Assesment</i> (RULA) .....	93
4.1.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual .....	97
4.2 Analisis Rancangan Konfigurasi .....	98
4.2.1 Analisis Rancangan Konfigurasi 2 .....	98
4.2.2 Analisis Rancangan Konfigurasi 3 .....	99
4.2.3 Analisis Rancangan Konfigurasi 4 .....	101
4.2.4 Analisis Rancangan Konfigurasi 5 .....	102
4.2.5 Analisis Rancangan Konfigurasi 6 .....	104
4.2.6 Analisis Rancangan Konfigurasi 7 .....	105
4.2.7 Analisis Rancangan Konfigurasi 8 .....	107
4.2.8 Analisis Rancangan Konfigurasi 9 .....	109
4.3 Analisis Perbandingan .....	110

4.3.1 Analisis Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Rancangan Konfigurasi .....	110
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>116</b>
5.1 Kesimpulan .....	116
5.2 Saran .....	117
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>118</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	6
Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian (sambungan).....	7
Gambar 2.1 Sistem Kerja Sederhana .....	13
Gambar 2.2 Perbedaan Tinggi Tubuh Manusia Dalam Posisi Berdiri Tegak.....	18
Gambar 2.3 Distribusi Normal dengan Data Antropometri Persentil 95 .....	21
Gambar 2.4 Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i> .....	24
Gambar 2.5 Tampilan Hasil Rekonstruksi Gerakan pada Vicon Nexus.....	28
Gambar 2.6 Lingkungan pada Jack.....	29
Gambar 2.7 Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack .....	30
Gambar 2.8 Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian.....	34
Gambar 2.9 Kotak Dialog <i>Static Strength Prediction</i> pada Jack.....	35
Gambar 2.10 Kotak Dialog <i>Lower Back Analysis</i> pada Jack.....	37
Gambar 2.11 Kategori Postur Batang Tubuh.....	38
Gambar 2.12 Kategori Postur Tangan .....	38
Gambar 2.13 Kategori Postur Tubuh Bawah Bagian 1.....	39
Gambar 2.14 Kategori Postur Tubuh Bawah Bagian 2.....	39
Gambar 2.15 Kotak Dialog <i>Ovako Working Posture Analysis</i> pada Jack.....	41
Gambar 2.16 Kotak Dialog <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> pada Jack.....	42
Gambar 2.17 Contoh Lembar Kerja RULA.....	43
Gambar 2.18 Diagram Alir Metode PEI.....	44
Gambar 2.19 Sepeda Motor <i>Cruiser</i> .....	49
Gambar 2.20 Sepeda Motor <i>Sport</i> .....	50
Gambar 2.21 Sepeda Motor <i>Touring</i> .....	51
Gambar 2.22 Sepeda Motor <i>Standard</i> .....	51
Gambar 2.23 Sepeda Motor <i>Off-Road</i> .....	52
Gambar 2.24 Sepeda Motor Skuter.....	52
Gambar 2.25 Sepeda motor tipe <i>Cub</i> .....	53
Gambar 3.1 Spesifikasi Honda Supra X 125 .....	55
Gambar 3.2 Hasil Uji Normalitas Data Massa Badan Mahasiswa UI.....	56
Gambar 3.3 Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan Mahasiswa UI .....	57
Gambar 3.4 Tampilan Vicon Nexus 1.5.1 .....	58
Gambar 3.5 Tampilan <i>tab Calibration</i> pada Vicon Nexus .....	59
Gambar 3.6 Tampilan <i>Noise</i> yang Telah Ditutup .....	60
Gambar 3.7 Proses Kalibrasi dengan <i>Wand</i> .....	60
Gambar 3.8 Tampilan <i>Wand</i> pada Vicon Nexus .....	61
Gambar 3.9 Peletakan <i>L-Frame</i> pada Area Perekaman.....	61
Gambar 3.10 Tampilan Sebelum dan Sesudah proses <i>Set Volume Origin</i> .....	62
Gambar 3.11 Ilustrasi Penempatan <i>Markers</i> di Subjek Manusia.....	64
Gambar 3.12 Ilustrasi Penempatan <i>Markers</i> di Subjek Manusia.....	65
Gambar 3.13 (a)Hasil Rekonstruksi (b)Hasil Rekonstruksi yang Telah Dinamai.....	65
Gambar 3.14 Tampilan <i>tab Capture</i> .....	66
Gambar 3.15 Tampilan <i>Data Management</i> .....	67

Gambar 3.16 Tampilan Kerangka Sebelum dan Setelah Rekonstruksi dan Penamaan Otomatis .....	68
Gambar 3.17 Tampilan <i>tab Labelling</i> .....	68
Gambar 3.18 Model Sepeda motor Honda Supra X 125 .....	70
Gambar 3.19 Model Helm .....	70
Gambar 3.20 Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan <i>Pipeline</i> .....	71
Gambar 3.21 Postur dengan <i>Display Segments</i> .....	71
Gambar 3.22 Postur dengan <i>Show Markers</i> .....	72
Gambar 3.23 Manekin <i>High Resolution Male</i> sesuai Persentil 95 .....	74
Gambar 3.24 Menu <i>Add Pair</i> .....	74
Gambar 3.25 Manekin yang Telah Terkunci pada Segmen .....	75
Gambar 3.26 Modul <i>Loads And Weights</i> setelah Beban Dimasukkan .....	76
Gambar 3.27 Manekin Mengikuti Gerakan Sebenarnya .....	76
Gambar 3.28 Objek Sepeda Motor dan Helm pada Manekin .....	77
Gambar 3.29 Modul <i>Recording</i> .....	77
Gambar 3.30 Tampilan <i>Channelset</i> pada <i>Animation Window</i> .....	78
Gambar 3.31 Grafik Hasil SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 95 .....	79
Gambar 3.32 Grafik Hasil SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 5 .....	79
Gambar 3.33 Grafik Hasil LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 95 .....	80
Gambar 3.34 Grafik Hasil LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 5 .....	80
Gambar 3.35 Grafik Hasil OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 95 .....	80
Gambar 3.36 Grafik Hasil OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 5 .....	81
Gambar 3.37 Grafik Hasil RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 95 .....	81
Gambar 3.38 Grafik Hasil RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 5 .....	81
Gambar 4.1 Manekin Persentil 95 Mengendarai Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 .....	85
Gambar 4.2 Manekin Persentil 5 Mengendarai Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 .....	86
Gambar 4.3 Grafik SSP Konfigurasi 1 Persentil 5 .....	87
Gambar 4.4 Grafik SSP Konfigurasi 1 Persentil 95 .....	88
Gambar 4.5 Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 5 .....	90
Gambar 4.6 Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 95 .....	90
Gambar 4.7 Hasil OWAS Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 .....	93
Gambar 4.8 Hasil RULA Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 pada Persentil 5 .....	95
Gambar 4.9 Hasil RULA Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 pada Persentil 95 .....	95
Gambar 4.10 <i>Task Entry</i> RULA .....	97
Gambar 4.11 Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 5 .....	98
Gambar 4.12 Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 95 .....	99
Gambar 4.13 Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 5 .....	100
Gambar 4.14 Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 95 .....	100
Gambar 4.15 Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 5 .....	101
Gambar 4.16 Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 95 .....	102
Gambar 4.17 Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 5 .....	103
Gambar 4.18 Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 95 .....	103
Gambar 4.19 Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 5 .....	104
Gambar 4.20 Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 95 .....	105

Gambar 4.21 Rancangan Konfigurasi 7 pada Manekin Persentil 5 .....	106
Gambar 4.22 Rancangan Konfigurasi 7 pada Manekin Persentil 95 .....	106
Gambar 4.23 Rancangan Konfigurasi 8 pada Manekin Persentil 5 .....	107
Gambar 4.24 Rancangan Konfigurasi 8 pada Manekin Persentil 95 .....	108
Gambar 4.25 Rancangan Konfigurasi 9 pada Manekin Persentil 5 .....	109
Gambar 4.26 Rancangan Konfigurasi 9 pada Manekin Persentil 95 .....	109
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Rancangan Konfigurasi .. .....	112
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Rancangan Konfigurasi ... .....	112
Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Rancangan Konfigurasi .....	113
Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Rancangan Konfigurasi ..	114



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definisi Human Factors dan Ergonomi .....	12
Tabel 2.2 Struktur Kategori Terminologi Ergonomi .....	13
Tabel 2.3 Perhitungan Persentil .....	21
Tabel 2.4 Kategori Beban yang Diterima Tubuh .....	40
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Antropometri Mahasiswa UI .....	57
Tabel 3.2 Susunan Markers untuk <i>software</i> Jack .....	62
Tabel 3.3 Susunan Markers untuk <i>software</i> Jack (sambungan) .....	63
Tabel 3.4 Rekapitulasi Keluaran Jack TAT untuk Konfigurasi 1 .....	78
Tabel 3.5 Konfigurasi Redesain yang Akan Dibuat .....	83
Tabel 4.1 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 Persentil 5 .....	87
Tabel 4.2 Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 Persentil 95 .....	88
Tabel 4.3 Deskripsi Kode OWAS .....	91
Tabel 4.4 Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS .....	92
Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 1 .....	97
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2 .....	99
Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3 .....	101
Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4 .....	102
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5 .....	104
Tabel 4.10 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6 .....	105
Tabel 4.11 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 7 .....	107
Tabel 4.12 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 8 .....	108
Tabel 4.13 Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 9 .....	110



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Di kota-kota besar yang sering terjadi kemacetan seperti Jakarta, sepeda motor cenderung menjadi pilihan masyarakat menengah sebagai moda transportasi harian. Hal ini dikarenakan oleh beberapa faktor, antara lain:

- Murahnya harga sepeda motor dan dapat diangsur.
- Konsumsi bahan bakar yang kecil dan biaya perawatan yang murah.
- Kurangnya kenyamanan kendaraan umum
- Mudahnya mendahului dalam kemacetan sehingga cepat sampai tujuan

Untuk lebih jelasnya lagi, jenis sepeda motor yang paling banyak dipakai di Indonesia adalah sepeda motor tipe *cub* daripada jenis matik dan *sport* dilihat dari total unit penjualannya di tahun 2009<sup>1</sup>. Sepeda motor tipe *cub* ini lebih dikenal di masyarakat dengan sebutan motor bebek. Hal ini dikarenakan rangka bagian tengah melengkung ke atas seperti leher unggas dan spakbor depan lurus bagai paruh unggas.

Akan tetapi, tingkat kenyamanan dan keamanan desain sepeda motor yang ada masih perlu dipertanyakan. Aspek ergonomis desain sepeda motor sendiri dapat bertolak belakang dengan aspek aerodinamis dan estetikanya. Sebuah desain sepeda motor yang aerodinamis dapat mengakibatkan postur punggung membungkuk dan kaki meringkuk bagi pengendaranya<sup>2</sup>.

Sebagian besar produsen sepeda motor yang ada di Indonesia merupakan produsen asing yang masih mengambil desain dari negeri asalnya<sup>3</sup>. Hal ini dapat mengakibatkan ketidaksesuaian desain sepeda motor tersebut dengan antropometri manusia Indonesia. Hal ini juga ditambah dengan desain sepeda motor yang tidak banyak berubah dari tahun ke tahun.

---

<sup>1</sup> ZBJ. "Penjualan Sepeda Motor 2009 Mencapai 5,88 Juta Unit" Kompas 18 Januari 2010. 17 Juni 2010 <<http://otomotif.kompas.com/read/2010/01/18/07220016/>>

<sup>2</sup> Cocco, Gaetano. Motorcycle Design and Technology. 1999. 17 Juni 2010. <<http://books.google.com/books?id=80oc8EjsF>>

<sup>3</sup> Hana. "Honda Raja Penjualan Sepeda Motor 2009" 18 Januari 2010. 17 Juni 2010 <<http://scbsradiolombok.wordpress.com/2010/01/18/>>

Masih banyaknya keluhan-keluhan fisik pengendara sehabis mengendarai sepeda motor juga menjadi gejala permasalahan yang terlihat akibat tingkat ergonomis desain sepeda motor. Hal ini ditunjukkan oleh banyaknya kecelakaan akibat kelelahan fisik yang dialami pengendara sepeda motor. Nyeri otot pada tangan, leher, dan punggung bagian bawah merupakan salah satu gejala kelelahan fisik yang dialami pengendara sepeda motor dengan frekuensi mengendarai yang tinggi atau dalam waktu perjalanan yang lama.

Pengendalian kemudi yang tidak optimal, tidak nyamannya posisi berkendara, serta beratnya beban yang dibawa oleh pengendara merupakan akibat dari desain sepeda motor yang jauh dari nilai ergonomis dibanding nilai aerodinamis dan estetisnya. Hal inilah yang kemudian melatarbelakangi perlunya penulis untuk melakukan penelitian terhadap sepeda motor.

Analisis aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap sepeda motor mempertimbangkan empat komponen penting dalam desain sepeda motor yang berhubungan erat dengan pengendaranya, yaitu setang (*handlebar*), posisi duduk, dan pijakan kaki. Nilai ergonomis dari desain sepeda motor yang diteliti dapat diketahui dengan menganalisis evaluasi postur dan gerakan seseorang saat mengendarai sepeda motor pada lintasan jalan raya. Postur dan gerakan berkendara memiliki kaitan dengan kenyamanan seseorang saat mengendarai sepeda motor dan dapat menunjukkan desain sepeda motor tersebut sudah ergonomis bagi penggunanya sehingga nyaman dan aman dikendarai.

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 dan *AnthroScan* sebagai alat pengukuran antropometri. Peranti-peranti tersebut telah dimiliki oleh *Laboratorium Faktor-Faktor Manusia* Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. *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.

Pada penelitian ini, metode pendekatan yang akan digunakan adalah metode *Posture Evaluation Index* (PEI) yang dikembangkan oleh Francesco Caputo, Prof. , Giuseppe Di Gironimo, Ph.D, dan Adelaide Marzano, Ing. dari University of Naples Federico II, Italia. Metode ini bertujuan untuk mengkalkulasi tingkat kenyamanan postur manusia yang dimodelkan dalam *software* Jack 6.2.1 berdasarkan hasil yang dikeluarkan *Task Analysis Toolkit*.

Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat melihat apakah desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang ada saat ini sudah ergonomis atau belum bagi postur tubuh pengendaranya khususnya pengendara pria.

## **1.2 Diagram Keterkaitan Masalah**

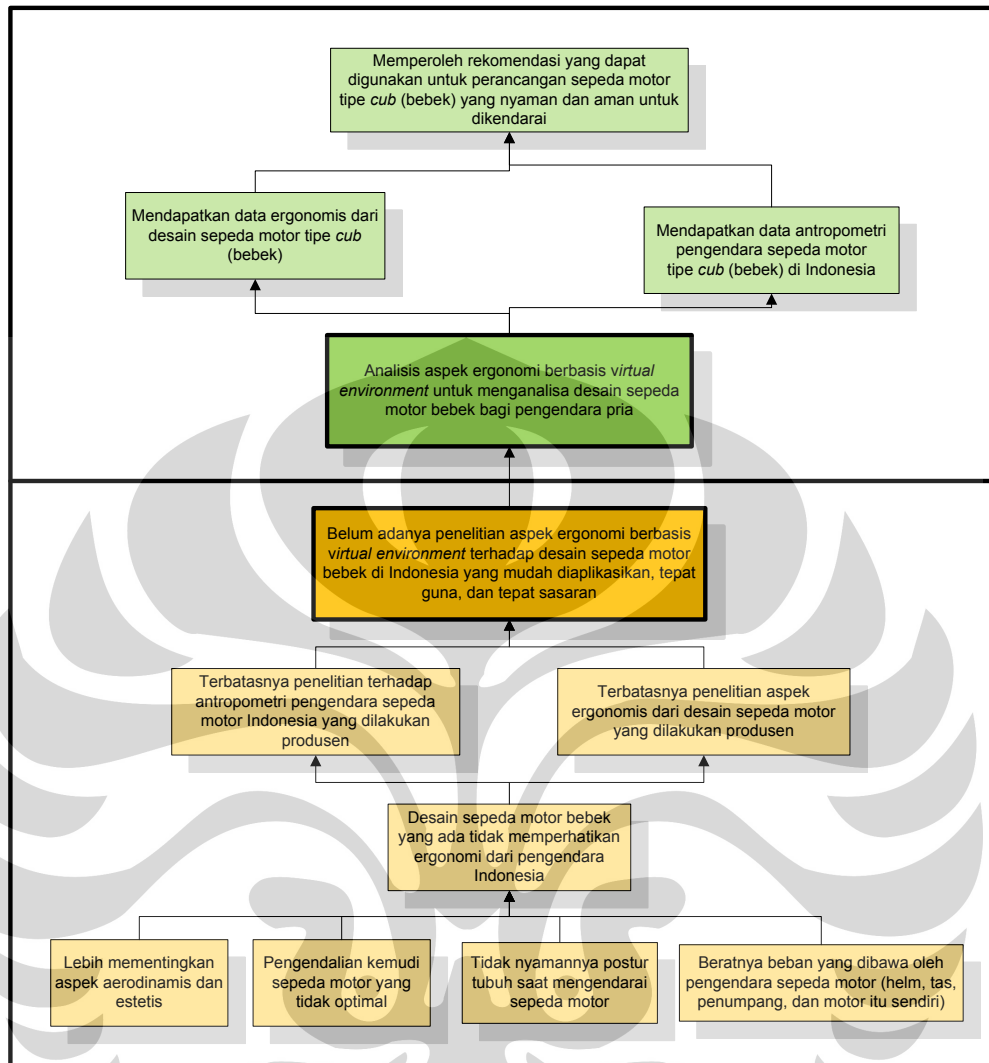
Untuk dapat melihat permasalahan dalam penelitian ini secara utuh, termasuk bagaimana setiap sub-permasalahan saling berinteraksi dan berhubungan satu sama lain, maka dibuatlah diagram keterkaitan masalah. Berdasarkan latar belakang di atas dibuat diagram keterkaitan masalah seperti pada gambar 1.1.

## **1.3 Rumusan Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah belum adanya penelitian ergonomis terhadap sepeda motor tipe *cub* sehingga perlu dilakukan analisis terhadap desain sepeda motor tipe *cub* terutama dalam aspek ergonomis yang mudah diaplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dalam penelitian ini adalah untuk menghasilkan rekomendasi desain sepeda motor tipe *cub* yang telah memenuhi standar ergonomi dan memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengendaranya. Tujuan ini dicapai dengan analisis aspek ergonomis dari desain sepeda motor tipe *cub* melalui simulasi model manusia berbasis *virtual environment* yang mudah untuk diaplikasikan, tepat guna, dan tepat sasaran.



**Gambar 1.1** Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.5 Batasan Masalah

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

1. Objek penelitian adalah sepeda motor dengan tipe *cub* yang digunakan di lingkungan kampus Universitas Indonesia bermesin 100-125cc dengan kondisi standar keluaran pabrik.
2. Penelitian dilakukan pada pengendara pria dengan ukuran tubuh persentil 5 dan 95.

3. Pengukuran antropometri dilakukan terhadap mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
4. Lintasan sepeda motor adalah jalan raya ideal dengan kerataan sempurna tanpa lubang.
5. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa rekomendasi redesain sepeda motor tipe *cub* yang merupakan analisis dengan menggunakan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment* berdasarkan data-data observasi langsung di lapangan dan di laboratorium.
6. Permodelan menggunakan *software* Jack 6.2.1.
7. Alat yang digunakan dalam perhitungan antropometri adalah perangkat AnthroScan di Laboratorium Faktor-faktor Manusia Departemen Teknik Industri UI. Pengukuran antropometri subjek dilakukan dengan cara pemindaian dengan laser sehingga hasil pengukuran yang didapat sangat akurat.
8. Pengambilan data gerakan menggunakan perangkat *Vicon Motion Capture System* yang baru dikembangkan di Laboratorium Faktor-faktor Manusia Departemen Teknik Industri UI. Dengan perangkat ini, semua gerakan tubuh subjek dapat direkam sehingga data pergerakan yang direkam mendekati kondisi yang sebenarnya.

### **1.6 Metodologi Penelitian**

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

#### **1. Pendahuluan**

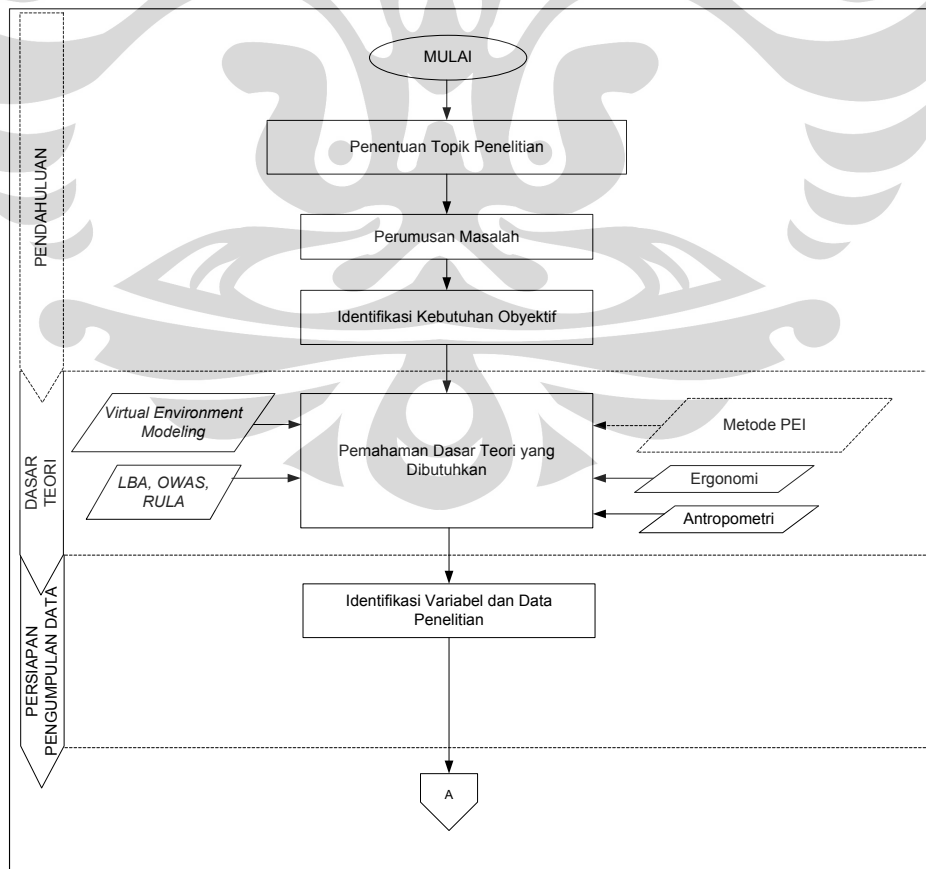
Adapun topik penelitian ini adalah menganalisis aspek ergonomis dari desain dan vibrasi mesin sepeda motor sport melalui simulasi model manusia dalam *virtual environment*.

#### **2. Landasan Teori**

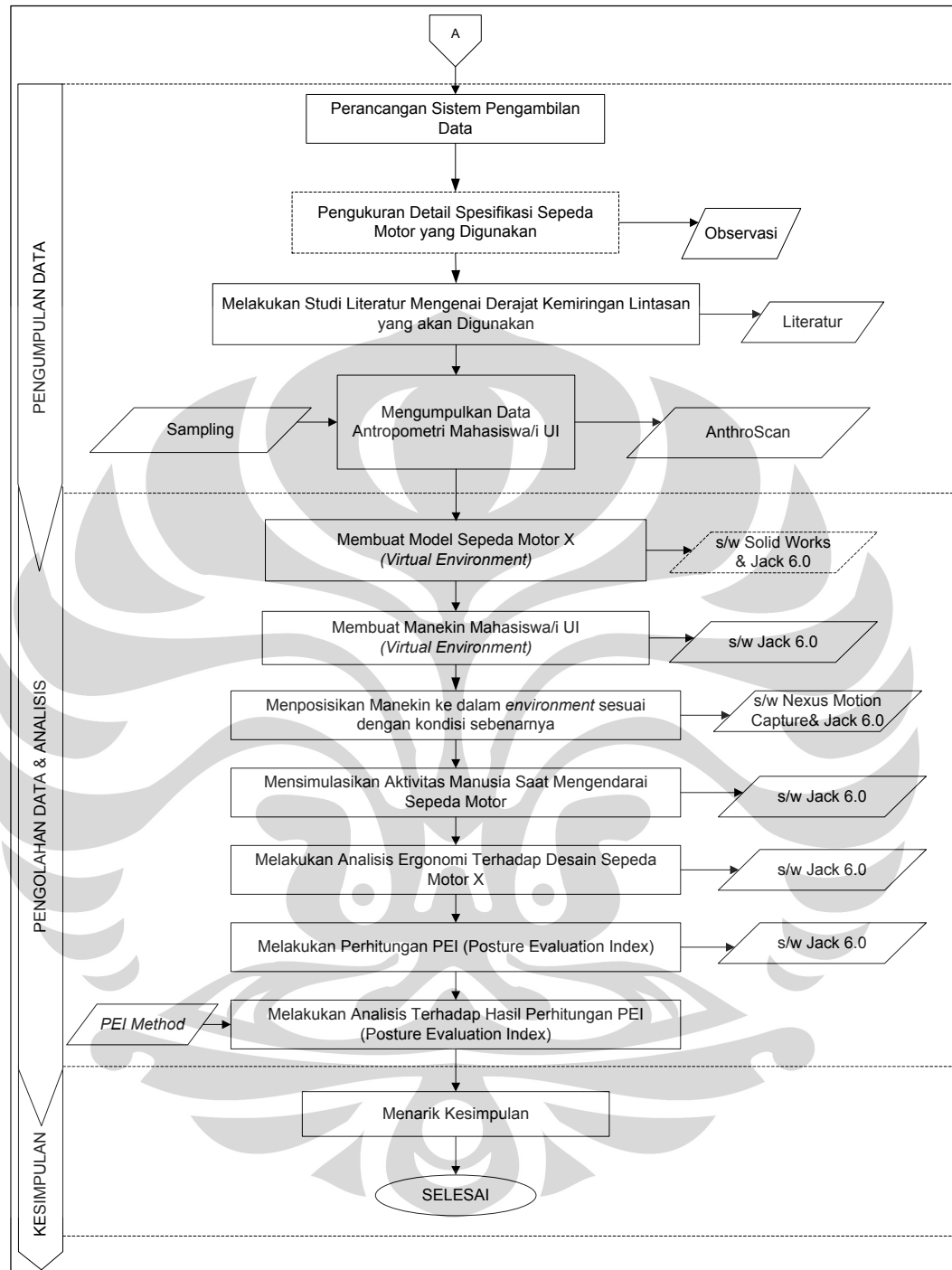
Setelah menentukan topik penelitian, penulis mencari berbagai jurnal dan buku panduan untuk memahami dasar teori sesuai dengan topik penelitian yang telah ditentukan. Dasar-dasar teori yang dipelajari adalah:

- Dasar-dasar perancangan penelitian

- Ergonomi
  - Prinsip penelitian ergonomi dengan *virtual environment*
  - Metode *Posture Evaluation Index*
  - Analisis ergonomi dengan LBA, OWAS, dan RULA
3. Persiapan Pengumpulan Data
- Pada tahap ini dilakukan identifikasi variabel apa saja yang diperlukan dan bagaimana data akan dikumpulkan.
4. Pengumpulan Data
- Pada tahap ini dilakukan pengukuran spesifikasi standar sepeda motor yang digunakan, kemudian melakukan studi literatur terhadap pemetaan kondisi lintasan (kemiringan) yang pernah dilakukan, serta mengumpulkan data antropometri mahasiswa UI sebagai pengguna sepeda motor.
5. Pengolahan Data dan Analisis
- Membuat model sepeda motor tipe *cub* dan lintasan jalan raya UI (*virtual environment*) dengan menggunakan *software Solidworks* dan Jack 6.2.1



**Gambar 1.2** Diagram Alir Metodologi Penelitian



**Gambar 1.3** Diagram Alir Metodologi Penelitian (sambungan)

- Membuat manekin mahasiswa UI (*virtual human*) sebagai pengendara sepeda motor sesuai data antropometri yang diperoleh dari perangkat Antroscan.

- Memosisikan manekin ke dalam *environment* sesuai dengan postur dan kondisi sebenarnya melalui perangkat *Vicon Nexus Motion Capture System*
  - Mensimulasikan aktivitas manusia saat mengendarai sepeda motor dengan menggunakan peranti Jack 6.2.1
  - Melakukan analisis ergonomi terhadap desain sepeda motor saat ini dengan bantuan peranti Jack 6.2.1
  - Melakukan perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)
  - Menganalisis hasil perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)
6. Penarikan Kesimpulan
- Berdasarkan analisis yang dibuat maka akan dapat disimpulkan konfigurasi desain sepeda motor yang nyaman dan ergonomis sehingga dapat meningkatkan kenyamanan dan keamanan berkendara.

### 1.7 Sistematika Penulisan

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

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

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

Bab 3 adalah bab pengumpulan data dan perancangan model. Pada bab ini akan dibahas mengenai berbagai data yang dikumpulkan selama penelitian berlangsung, seperti data antropometri pengendara sepeda motor, yaitu mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Indonesia, dan data spesifikasi sepeda motor tipe *cub*, 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 sepeda motor sesuai dengan tujuan penelitian ini. Penulis juga mengajukan saran terkait dengan rekomendasi desain sepeda motor yang dijadikan objek penelitian.



## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 ERGONOMI

##### 2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi

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

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

Istilah ergonomi seringkali digantikan atau disandingkan dengan istilah *human factors*. Banyak pakar profesional yang berpendapat bahwa istilah *human factors* merupakan sinonim dari ergonomi. Namun ada pula beberapa pendapat yang mencoba membedakan definisi di antara keduanya. Ergonomi lebih dikaitkan dengan aspek kerja fisik, sementara *human factors* lebih menyangkut aspek kognitif dan persepsi<sup>14</sup>. Pendapat lain membedakan kedua istilah itu berdasarkan lokasi geografis penggunaannya. Istilah *human factors* lebih sering digunakan di Amerika Serikat dan beberapa negara lain, sementara istilah

---

<sup>13</sup> Bridger, R.S., (2003). *Introduction to Ergonomics* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Taylor & Francis, h.1.

<sup>14</sup> Karwowski, Waldemar. (2006). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Volume 1*, Attention (hal.32-35) Kentucky: CRC Press.

ergonomi lebih sering digunakan di negara-negara eropa<sup>15</sup>. Selain *human factors*, beberapa istilah lain yang memiliki definisi dan konteks serupa antara lain *human engineering* dan *engineering psychology*.

Ergonomi merupakan suatu cabang ilmu yang mempelajari sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia, dimana secara hakiki akan berhubungan dengan segala aktivitas manusia yang dilakukan untuk menunjukkan performansinya yang terbaik (Sutalaksana,2006). Sementara itu pada Agustus 2000, *the International Ergonomics Association Executive Council* mendefinisikan ergonomi sebagai suatu disiplin ilmu *scientific* yang mempelajari interaksi antara manusia dengan elemen lain dalam sebuah sistem dan pekerjaan yang mengaplikasikan teori, prinsip, data dan metode untuk merancang suatu desain yang optimal bagi manusia dan kinerja sistem secara umum. Tabel 2.1 di bawah ini menunjukkan beberapa definisi lain tentang ergonomi.

**Tabel 2.1** Definisi *Human Factors* dan Ergonomi

Author	Definition of Human Factors and Ergonomics
Murrell, 1965	...the scientific study of the relationship between man and his working environment. In this sense, the term environment is taken to cover not only the ambient environment in which he may work but also his tools and materials, his methods of work and the organization of the work, either as an individual or within a working group. All these are related to the nature of man himself; to his abilities, capacities and limitations.
Grandjean, 1980	...is a study of man's behavior in relation to his work. The object of this research is man at work in relation to his spatial environment...the most important principle of ergonomics: Fitting the task to the man. Ergonomics is interdisciplinary: it bases its theories on physiology, psychology, anthropometry, and various aspects of engineering.
Meister, 1989	...is the study of how humans accomplish work-related tasks in the context of human-machine system operation and how behavioral and nonbehavioral variables affect that accomplishment.
Sanders and McCormick, 1993	...discovers and applies information about human behavior, abilities, limitations, and other characteristics to the design of tools, machines, tasks, jobs, and environments for productive, safe, comfortable, and effective human use.
Hancock, 1997	...is that branch of science which seeks to turn human-machine antagonism into human-machine synergy.

Sumber: Dempsey, P.G., Wolgalter, M.S., and Hancock, P.A., 2000

<sup>15</sup> Mark Sanders. S dan Ernest J McCormick,(1993). *Human Factor in Engineering and Design*, Attention (pp. 4), Singapore: MCGraw-Hill Inc.

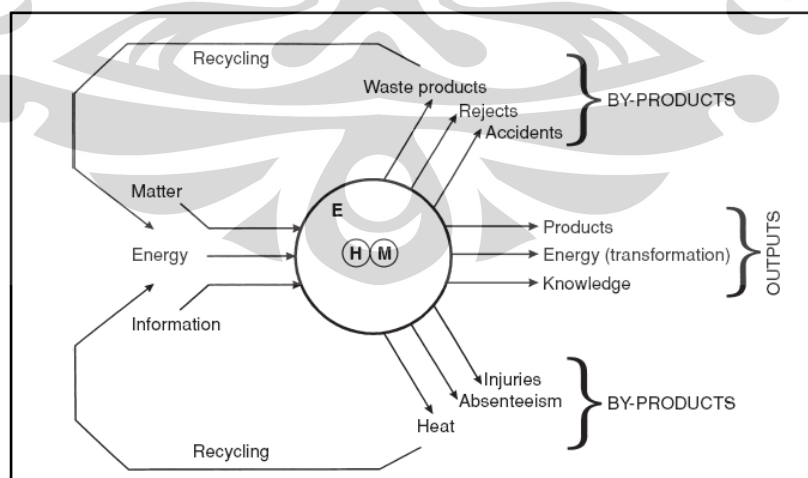
Pendekatan lain untuk memudahkan dalam memahami terminologi ergonomi bisa dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini. Pendekatan ini dilakukan dengan cara mengkategorikan struktur sederhana yang menjelaskan tentang ergonomi ke dalam bentuk *who, what, how, when/where, dan goal*.

**Tabel 2.2** Struktur Kategori Terminologi Ergonomi

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

Sumber: Karwowski, 2006

Fokus kajian dari ilmu ergonomi adalah interaksi antara manusia dengan mesin yang digunakan dan antar muka diantara keduanya (gambar 2.1). Ketika manusia berinteraksi dengan mesin, manusia tersebut berinteraksi melalui sebuah antar muka. Umpan balik (*feedback*) yang didapat juga diterima melalui antar muka.



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

Sumber: Bridger, 2003

Ilmu ergonomi mempelajari beberapa hal yang meliputi:

- a. Lingkungan kerja, meliputi kebersihan, tata letak, suhu, pencahayaan, sirkulasi udara, desain peralatan, dan lainnya.
- b. Persyaratan fisik dan psikologis (mental) pekerja untuk melakukan sebuah pekerjaan: pendidikan, postur badan, pengalaman kerja, umur dan lainnya
- c. Bahan-bahan atau peralatan kerja yang beresiko menimbulkan kecelakaan kerja: pisau, palu, barang pecah belah, zat kimia dan lainnya.
- d. Interaksi antara pekerja dengan peralatan kerja: kenyamanan kerja, kesehatan dan keselamatan kerja, kesesuaian ukuran alat kerja dengan pekerja, standar operasional prosedur dan lainnya. Sasaran dari ilmu ergonomi adalah meningkatkan prestasi kerja yang tinggi dalam kondisi aman, sehat, nyaman dan tenteram.

#### 2.1.2 Ergonomi dan Desain Produk

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

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

Dalam aplikasi ergonomi, secara ideal dapat diterapkan “*to fit the job to the man*” dalam perancangan sistem kerja begitu juga dalam pengembangan desain produk (Bridger, 1995; Kroemer, 200; Pulat, 1992), sehingga desain produk yang dihasilkan diharapkan akan memenuhi keinginan konsumen dan

diharapkan memiliki nilai tambah, dimana manfaat (*tangible & intangible benefits*) yang akan dirasakan konsumen memiliki totalitas manfaat yang lebih dibandingkan biaya pengorbanan yang harus dikeluarkan. Dengan demikian, desain produk tersebut telah memiliki *superior customer value* dibandingkan pesaingnya (Kotler & Amstrong, 2006). Keunggulan bersaing harus diciptakan sejak desain produk dan diwujudkan dengan produk jadi (*finished goods*) sebagai indikator performansi nyata (*tangible*) yang akan dilihat dan dirasakan oleh konsumen. Penilaian konsumen terhadap produk merupakan perwujudan tingkat performansi dari produk yang dihasilkan perusahaan (Kotler & Keller, 2006), apakah konsumen akan merasakan puas (*satisfied*)-jika performansi produk sesuai dengan harapan dari keinginan konsumen, atau tidak puas (*dissatisfied*)-jika performansi produk dibawah harapan dari keinginan konsumen, atau sangat puas (*delighted*)-jika performansi produk melebihi harapannya.

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

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

## 2.2 ANTROPOMETRI

### 2.2.1 Definisi Antropometri

Secara etimologis, istilah antropometri berasal dari bahasa Yunani, yaitu *antropos* yang berarti manusia, dan *metron* yang berarti ukuran. Sehingga bisa dikatakan, antropometri adalah studi tentang ukuran tubuh manusia. Manusia mempunyai ukuran dan bentuk tubuh yang berbeda-beda. Ilmu teknik yang

menggunakan informasi yang telah ada dan perkembangan informasi yang baru tentang ukuran tubuh manusia disebut ilmu antropometri.

Penelitian awal tentang ukuran tubuh manusia dilakukan akhir abad 14. Data antropometri yang cukup lengkap dihasilkan pada awal tahun 1800. Metode-metode pengukuran distandarisasikan beberapa kali yang dilakukan pada awal sampai pertengahan abad 20. Standarisasi yang paling abaru muncul pada tahun 1980-an yang dikeluarkan oleh *Internasional Standart Organization (ISO)*. Metode-metode pengukuran standart mengasumsikan tentang ukuran postur tubuh dan batas-batas penggunaannya. Pelaksanaan penelitian untuk penggunaan ilmu teknik hanya dilakukan untuk kepentingan militer.

Pengertian antropometri menurut Stevenson (1989) dan Eko Nurmianto (1991) adalah suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia ukuran, bentuk dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain. Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi-dimensi yang tepat berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan mengoperasikan atau menggunakan produk tersebut. Maka perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangan tersebut.

Secara umum sekurang-kurangnya 90% - 95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakannya dengan selayaknya. Pada dasarnya peralatan kerja yang dibuat dengan mengambil referensi dimensi tubuh tertentu jarang sekali bisa mengakomodasi seluruh range ukuran tubuh dari populasi yang akan memakainya.

Survey antropometri dalam skala besar menghabiskan waktu dan biaya. Ada sebuah metode alternatif yang dapat digunakan yaitu dengan mengerjakan survey khusus untuk memperoleh dimensi pokok. Lalu dimensi lain dihasilkan dari dimensi pokok ini dengan menggunakan prosedur statistik. Biasanya metode ini tidak dapat menghasilkan data yang akurat, akan tetapi metode ini akan menjadi cukup akurat untuk beberapa pelaksanaan praktek tertentu. Aplikasi utama dari penerapan data antropometri adalah :

- Desain lingkup kerja

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

### 2.2.2 Variabilitas Manusia

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

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

#### a. Usia

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

#### b. Jenis kelamin

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



c. Posisi Tubuh (*Posture*)

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

d. Cacat Tubuh

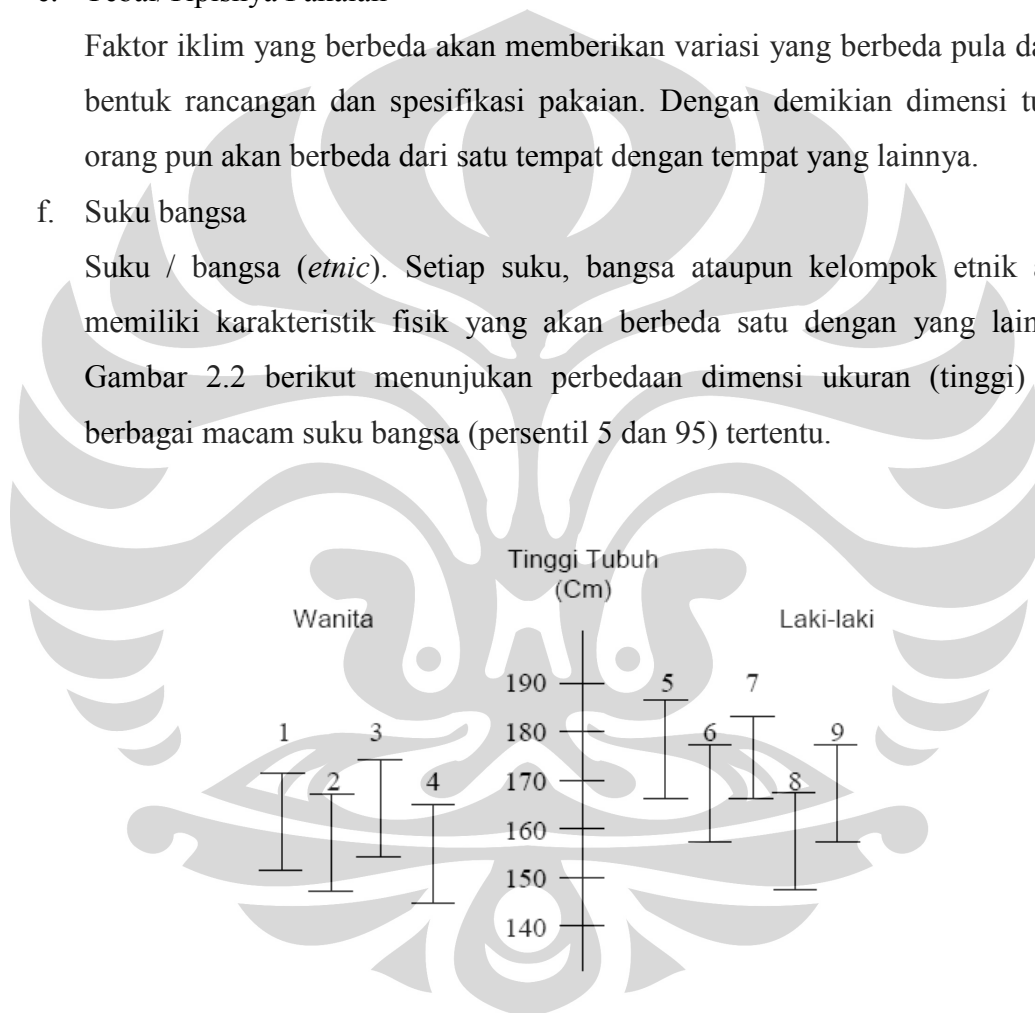
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki/tangan palsu, dan lain-lain).

e. Tebal/Tipisnya Pakaian

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

f. Suku bangsa

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



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

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

g. Kehamilan

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

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

### 2.2.3 Data Antropometri

Ada dua kategori data antropometri dalam kaitannya dengan posisi tubuh dikenal 2 cara pengukuran, yaitu :

a. Pengukuran dimensi struktur tubuh (*structural body dimension*)

Disini tubuh diukur dalam berbagai posisi standard dan tidak bergerak ( tetap tegak sempurna ). Istilah lain dari pengukuran tubuh dengan cara ini dikenal dengan istilah "*static anthropometry*". Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap antara lain meliputi berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri, maupun duduk, ukuran kepala, tinggi / panjang lutut pada saat berdiri / duduk, panjang lengan dan sebagainya. Ukuran dalam hal ini diambil dengan percentile tertentu seperti persentil 5 dan 95.

b. Pengukuran dimensi fungsional tubuh (*functional body dimensions*)

Disini pengukuran dilakukan terhadap posisi tubuh pada saat berfungsi melakukan gerakan-gerakan tertentu yang berkaitan dengan kegiatan yang harus diselesaikan. Hal pokok yang ditekankan dalam pengukuran dimensi fungsional tubuh ini adalah mendapatkan ukuran tubuh yang nantinya akan berkaitan erat dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan tubuh untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu. Berbeda dengan cara pengukuran yang pertama – *structural body dimensions* – yang mengukur tubuh dalam posisi tetap / statis (*fixed*); maka cara pengukuran kali ini dilakukan pada saat

tubuh melakukan gerakan-gerakan kerja atau dalam posisi yang “dinamis”. Cara pengukuran semacam ini akan menghasilkan data “*dynamic anthropometry*”. Antropometri dalam posisi tubuh melaksanakan fungsinya yang dinamis akan banyak diaplikasikan dalam proses perancangan fasilitas maupun ruang kerja. Sebagai contoh perancangan kursi mobil dimana posisi tubuh pada saat melakukan gerakan mengoperasikan kemudi, tangkai pemindah gigi, pedal dan jarak antara dengan atap mobil maupun dashboard harus menggunakan data “*dynamic anthropometry*”.

#### 2.2.4 Aplikasi Data Antropometri Dalam Perancangan

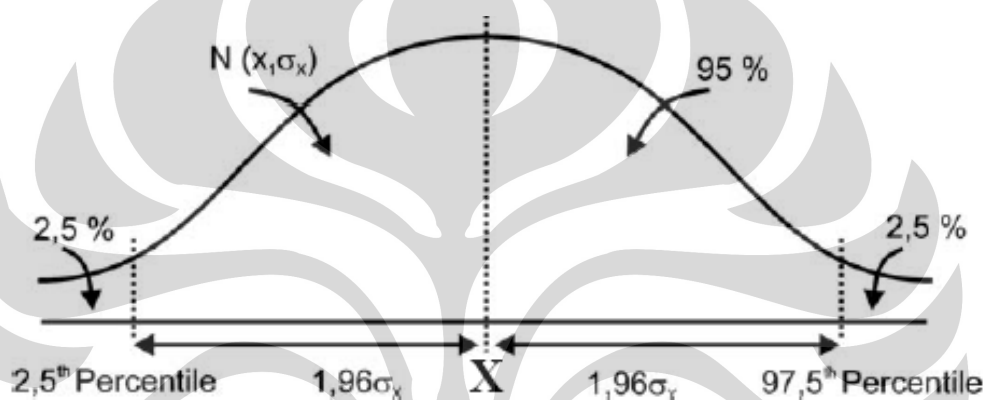
Untuk penetapan data antropometri ini, pemakaian distribusi normal dapat diformulasikan berdasarkan nilai mean (rata-rata) dan standar deviasi (SD). Dari nilai yang ada tersebut maka persentil dapat ditetapkan. Persentil adalah suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu dari sekelompok orang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

#### 2.2.5 Aplikasi Distribusi Normal Dalam Data Antropometri

Data antropometri jelas diperlukan agar supaya rancangan suatu produk bisa sesuai dengan orang yang akan mengoperasikannya. Ukuran tubuh yang diperlukan pada hakekatnya tidak sulit diperoleh dari pengukuran secara individual, seperti halnya yang dijumpai untuk produk yang dibuat berdasarkan pesanan (*job order*). Situasi menjadi berubah manakala lebih banyak lagi produk standard yang harus dioperasikan oleh banyak orang. Permasalahan yang timbul disini adalah ukuran siapakah yang nantinya akan dipilih sebagai acuan untuk mewakili populasi yang ada? Mengingat ukuran individu akan bervariasi satu dengan populasi yang menjadi target sasaran produk tersebut.

Untuk penetapan data antropometri ini, pemakaian distribusi normal akan umum diterapkan. Dalam statistik, distribusi normal dapat diformulasikan berdasarkan harga rata-rata (*mean*,  $\bar{X}$ ) dan simpangan standarnya (*standard*

*deviation*,  $\sigma_x$ ) dari data yang ada. Dari nilai yang ada tersebut, maka “percentiles” dapat diterapkan sesuai dengan tabel probabilitas distribusi normal. Dengan persentil, maka yang dimaksudkan disini adalah suatu nilai yang menunjukkan prosentase tertentu dari orang yang memiliki ukuran pada atau dibawah nilai tersebut. Sebagai contoh Persentil 95 akan menunjukkan 95% populasi akan berada atau dibawah ukuran tersebut; sedangkan 5-th *percentile* akan menunjukkan 5% populasi akan berada atau dibawah ukuran itu.



**Gambar 2.3** Distribusi Normal dengan Data Antropometri Persentil 95

**Tabel 2.3** Perhitungan Persentil

Persentil	Perhitungan
1 st	$X - 2.325 \sigma_x$
2.5 th	$X - 1.960 \sigma_x$
5 th	$X - 1.645 \sigma_x$
10 th	$X - 1.280 \sigma_x$
50 th	$X$
90 th	$X + 1.280 \sigma_x$
95 th	$X + 1.645 \sigma_x$
97.5 th	$X + 1.960 \sigma_x$
99 th	$X + 2.325 \sigma_x$

Sumber: Pheasant, 2003

Dalam antropometri, angka 95-th akan menggambarkan ukuran manusia yang “terbesar” dan 5-th *percentile* sebaliknya akan menunjukkan ukuran

“terkecil”. Bilamana diharapkan ukuran yang mampu mengakomodasi 95% dari populasi yang ada, maka disini diambil rentang *2,5-th* dan *97,5-th percentile* sebagai batas-batasnya.

Prinsip-prinsip yang harus diambil dalam aplikasi data antropometri adalah sebagai berikut :

a. Prinsip perancangan produk bagi individu dengan ukuran yang ekstrim.

Disini rancangan produk dibuat agar bisa memenuhi 2 (dua) sasaran produksi, yaitu :

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

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

b. Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata.

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

- Anggota tubuh mana yang nantinya akan difungsikan untuk mengoperasikan rancangan tersebut.
- Menentukan dimensi tubuh yang penting dalam proses perancangan tersebut.

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

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

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

Aplikasi data untuk kasus desain sesuai dengan prosedur yang berikut :

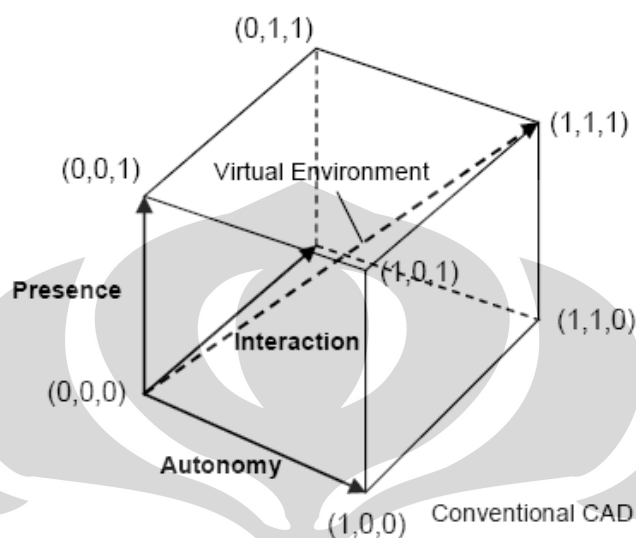
- Menemukan dimensi-dimensi tubuh yang penting dari dalam desain
- Menetapkan populasi pengguna
- Memilih perentase populasi yang akan direkomendasikan

### 2.3 VIRTUAL ENVIRONMENT

*Virtual environment* (VE) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu representasi yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintetis sesuai dengan keadaan lingkungan nyata<sup>16</sup>. 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. Dalam *virtual reality* terdapat tiga buah komponen; otonomi,

<sup>16</sup> Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company, h. 396.

keberadaan, dan interaksi yang kesemuanya berada pada nilai maksimalnya dalam kubus Zelter<sup>17</sup>. Gambar 2.4 di bawah menunjukkan dimensi dari *virtual reality*.



**Gambar 2.4** Kubus Zelter untuk Konsep *Virtual Reality*

Sumber: Kalawsky, 1993

Zelzer 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.

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

<sup>17</sup> Zeltzer, D. (1992). *Autonomy, Interaction and Presence*. Presence, 1(1), p.127-132.

tersebut<sup>18</sup>. 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<sup>19</sup>:

- 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*.

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<sup>20</sup>.

*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.

<sup>18</sup> 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.

<sup>19</sup> Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D’Cruz, M.D. & Eastgate, R.M. (1995). *Manufacturing Operations in Virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4, hal. 306–317.

<sup>20</sup> Wilson, J.R. (1999). *Virtual Environments and Applied Ergonomics*.” *Applied Ergonomics* 30.



Lapangan aplikasi dari *virtual environment* sangatlah luas. Beberapa diantaranya adalah<sup>21</sup>:

- 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.

---

<sup>21</sup> Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.

## 2.4 VICON MOTION CAPTURE SYSTEM

### 2.4.1 Pendahuluan mengenai *Motion Capture*

*Motion capture* adalah sebuah perekaman gerakan oleh kamera video untuk direproduksi ke dalam lingkungan virtual. Sistem Vicon terdiri atas peranti keras dan lunak untuk mengontrol dan menganalisis *motion capture*.

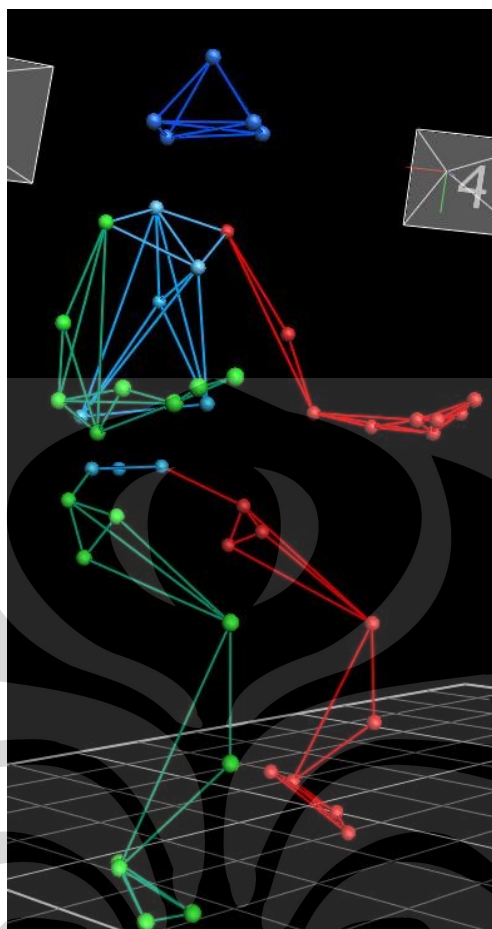
Reproduksi tiga dimensi sendiri memiliki beberapa kegunaan, diantaranya:

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

### 2.4.2 Cara Kerja Vicon System

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

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



**Gambar 2.5** Tampilan Hasil Rekonstruksi Gerakan pada *Vicon Nexus*

## 2.5 SOFTWARE SIEMENS JACK 6.1

### 2.5.1 Pendahuluan Mengenai Jack

Jack adalah produk ergonomi dan faktor manusia yang memungkinkan penggunaanya untuk memposisikan model biomekanikal manusia secara akurat dalam *virtual environment*, memberikan model tersebut sebuah set tugas yang akan dikerjakan, dan menganalisis kinerja dari pelaksanaan tugas<sup>22</sup>.

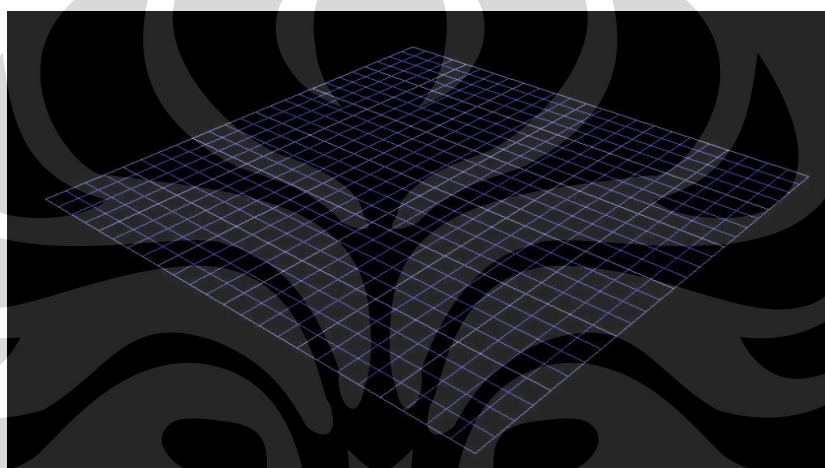
Beberapa kegunaan dari *software* Jack adalah sebagai berikut:

- Membuat dan memvisualisasikan *digital mock-up* dari sebuah desain
- Membuat analisis ergonomi pada desain yang dibuat
- Mempelajari manusia dalam tempat kerja yang disimulasikan

<sup>22</sup> Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. In: *Proceed of The 7<sup>th</sup> International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process" – ATA 2001, Florence.*

- Mengevaluasi operasi pemeliharaan
- Sebagai alat bantu dalam proses pelatihan

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



Gambar 2.6 Lingkungan pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version 6.1

Model manekin pada Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan. Jack telah memperhatikan keseimbangan tubuh, mampu melakukan kegiatan berjalan, dan dapat diberikan perintah untuk mengangkat suatu benda. Model pada Jack juga memiliki “kekuatan” dan jika telah melebihi batas tertentu, maka Jack dapat memberikan peringatan pada penggunaanya. Selain itu, pengguna Jack dapat membuat model pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran tubuh, berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Jack 6.1 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 untuk membuat model. Namun, Jack juga menyediakan formulir khusus jika pengguna ingin membuat model manekin berdasarkan data antropometri yang ingin diteliti. Gambar 2.7 menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



**Gambar 2.7** Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version

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

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

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

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

### 2.5.2 Jack Motion Capture Modules

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

- Flock Of Birds
- Motionstar
- Cyberglove
- 5DT Data Glove
- MotionAnalysis
- Vicon

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

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

### 2.5.3 Jack Task Analysis Toolkit

*Task Analysis Toolkit* (TAT) adalah sebuah modul tambahan pada *software* Jack yang dapat memperkaya kemampuan pengguna untuk menganalisis aspek ergonomi dan faktor manusia dalam desain kerja di dunia industri. Dengan TAT, para perancang bisa menempatkan *virtual human* ke dalam berbagai macam lingkungan untuk melihat bagaimana model manusia tersebut menjalankan tugas

yang diberikan. TAT dapat menaksir resiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi. Kemudian, TAT dapat memberikan intervensi untuk mengurangi resiko. Modul ini juga dapat menunjukkan batasan maksimal dari kemampuan pekerja ketika melakukan kegiatan mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membengkokkan. Selain itu, TAT juga dapat menunjukkan kegiatan-kegiatan yang tidak produktif dan rentan menjadi penyebab cedera atau kelelahan. Dengan Jack TAT, analisis ergonomi dapat dilakukan lebih awal, yaitu pada fase pembuatan desain, sebelum bahaya dan resiko menjadi semakin sulit untuk diatasi dan menimbulkan biaya yang lebih tinggi.

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

- *Low Back Compression Analysis*, yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan yang bekerja pada tulang belakang dalam kualitas postur dan kondisi beban tertentu.
- *Static Strength Prediction*, yang digunakan untuk mengevaluasi jumlah persentase populasi pekerja yang mampu menjalankan pekerjaan yang diberikan berdasarkan postur, tenaga yang dibutuhkan, dan ukuran antropometri.
- *NIOSH Lifting Analysis*, yang digunakan untuk mengevaluasi kegiatan mengangkat benda berdasarkan persamaan NIOSH.
- *Metabolic Energy Expenditure*, yang digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja berdasarkan karakteristik pekerja dan rangkaian kegiatan yang akan dilakukan.
- *Fatigue and Recovery Analysis*, yang digunakan untuk menaksir apakah waktu pemulihan yang diberikan bisa mencegah pekerja mengalami kelelahan.
- *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*, yang digunakan untuk mengecek apakah postur yang digunakan dalam bekerja sudah memberikan kenyamanan.
- *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*, yang digunakan untuk mengevaluasi resiko yang menyebabkan gangguan pada tubuh bagian atas.

- *Manual Material Handling Limits*, yang digunakan untuk mengevaluasi dan merancang kegiatan kerja yang berkaitan dengan proses *material handling*, sehingga tingkat resiko cedera dapat dikurangi, dan
- *Predetermined Time Analysis*, yang digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja berdasarkan sistem *method time measurement* (MTM-I).

## 2.6 Static Strength Prediction (SSP)

*Static Strength Prediction* adalah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi persentase populasi yang memiliki kemampuan untuk melaksanakan suatu tugas. Analisis ini dibuat berdasarkan kualitas postur, tenaga yang dibutuhkan, dan ukuran antropometri dari populasi. Prinsip dasar yang digunakan SSP adalah<sup>23</sup>:

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

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:

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

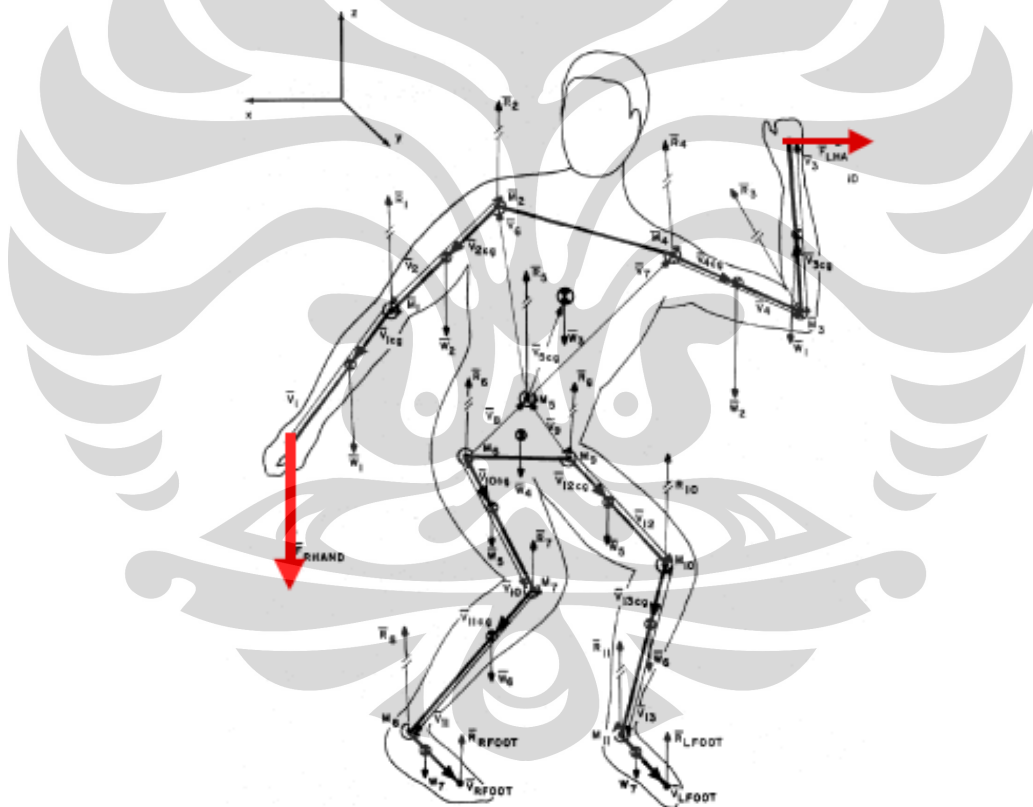
dimana  $M_j$  adalah gaya eksternal pada setiap persendian dan  $S_j$  adalah gaya maksimal yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Nilai dari  $M_j$  dipengaruhi oleh tiga faktor:

<sup>23</sup> Chaffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.



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

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



**Gambar 2.8** Model Biomekanika Prediksi Beban dan Gaya Persendian

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

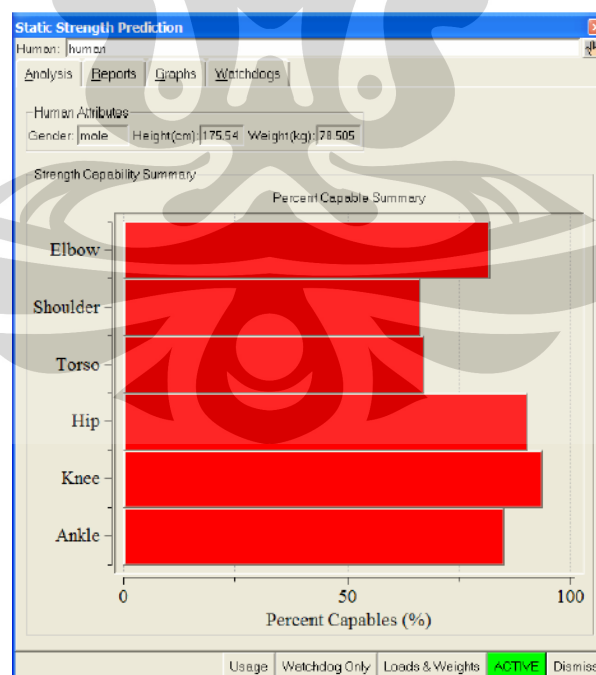
Metode SSP dapat digunakan untuk membantu:

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

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

Di dalam fase perancangan, sebuah kegiatan kerja (seharusnya) hanya dapat diterima, jika persentase pekerja yang mampu melakukannya mencapai 100%. Dalam praktiknya, hal ini mustahil dilakukan karena banyak kerja yang menghasilkan nilai di bawah 100%. Rancangan kegiatan kerja yang menghasilkan nilai 0% haruslah dieliminasi. Selain itu, kegiatan yang memiliki nilai di bawah batas tertentu sebaiknya juga tidak dilanjutkan ke fase selanjutnya pasca perancangan.

Dengan informasi yang diberikan SSP, seorang perancang dapat mendesain sebuah kerja yang mampu dilaksanakan oleh sebanyak mungkin orang dalam suatu populasi. Gambar 2.9 menunjukkan salah satu kotak dialog SSP pada *software* Jack:



**Gambar 2.9** Kotak Dialog *Static Strength Prediction* pada Jack

Sumber: Jack TAT Manual

## 2.7 Low Back Analysis (LBA)

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

Secara matematis, standar *lifting* NIOSH dapat dirumuskan sebagai berikut<sup>24</sup>:

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

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

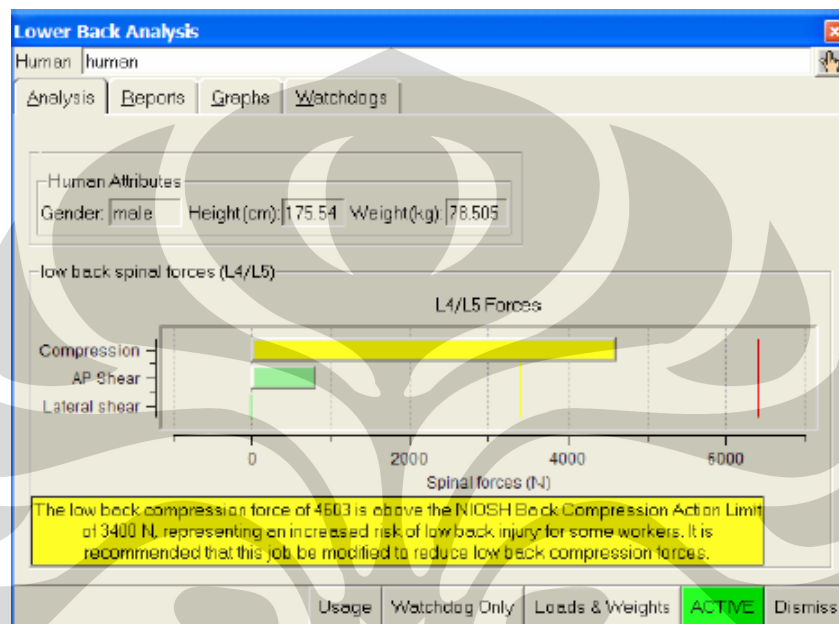
- HM, faktor "Horizontal Multiplier",
- VM, faktor "Vertical Multiplier",
- DM, faktor "Distance Multiplier",
- FM, faktor "Frequency Multiplier",
- AM, faktor "Asymmetric Multiplier", dan
- CM, faktor "Coupling Multiplier".

Metode LBA dapat digunakan untuk membantu:

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

<sup>24</sup> NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110.*

Selain menyediakan informasi mengenai tekanan pada *vertebral disc* L4/L5, hasil analisis metode LBA juga memberikan informasi mengenai momen reaksi (torsi) sagital, lateral, dan aksial yang terjadi pada *disc* L4/L5. Selain itu, informasi mengenai tingkat aktivitas otot-otot batang tubuh yang digunakan dalam menyeimbangkan momen spinal juga dapat dihasilkan. Sebuah contoh kotak dialog metode LBA pada *software* Jack terlihat pada gambar 2.10.



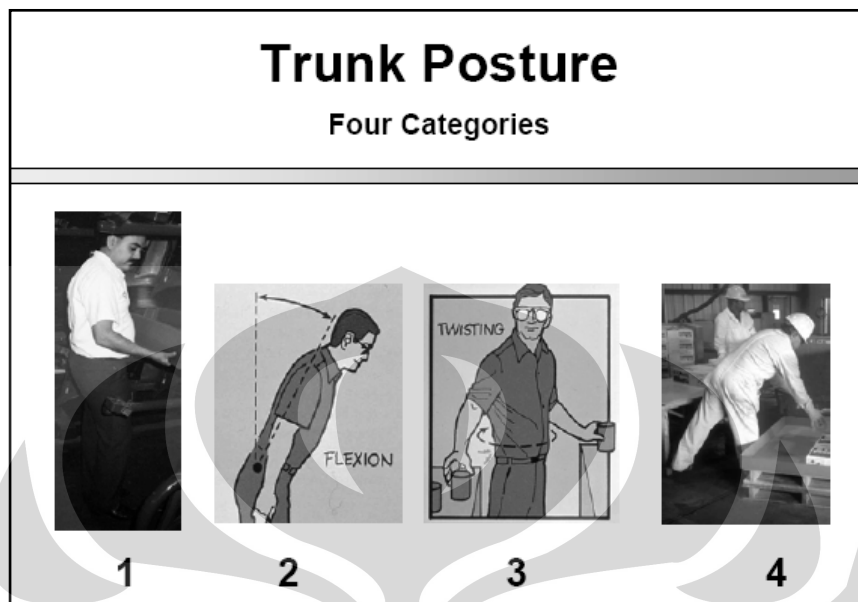
**Gambar 2.10** Kotak Dialog *Lower Back Analysis* pada Jack

Sumber: Jack TAT Manual

## 2.8 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

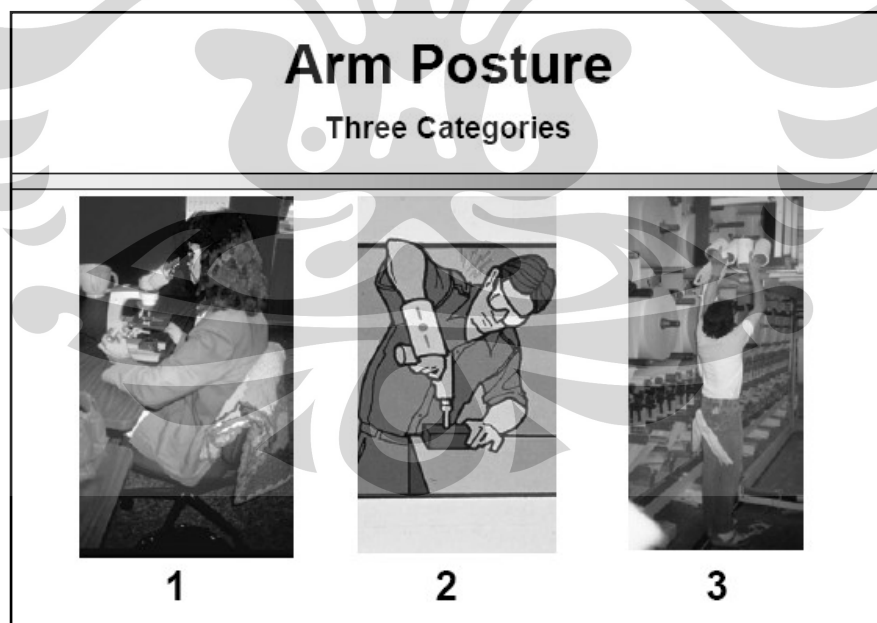
*Ovako Working Posture Analysis* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengecek tingkat kenyamanan pada postur kerja dan kemudian menentukan langkah-langkah koreksi yang dibutuhkan. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Ovako Oy, salah satu perusahaan industri baja di negara Finlandia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

bawah kategori 4, dan beban kategori 1. Kategori postur pada tiap bagian tubuh dan beban yang diterima terlihat pada gambar 2.11. sampai dengan 2.15.<sup>25</sup>.



**Gambar 2.11** Kategori Postur Batang Tubuh

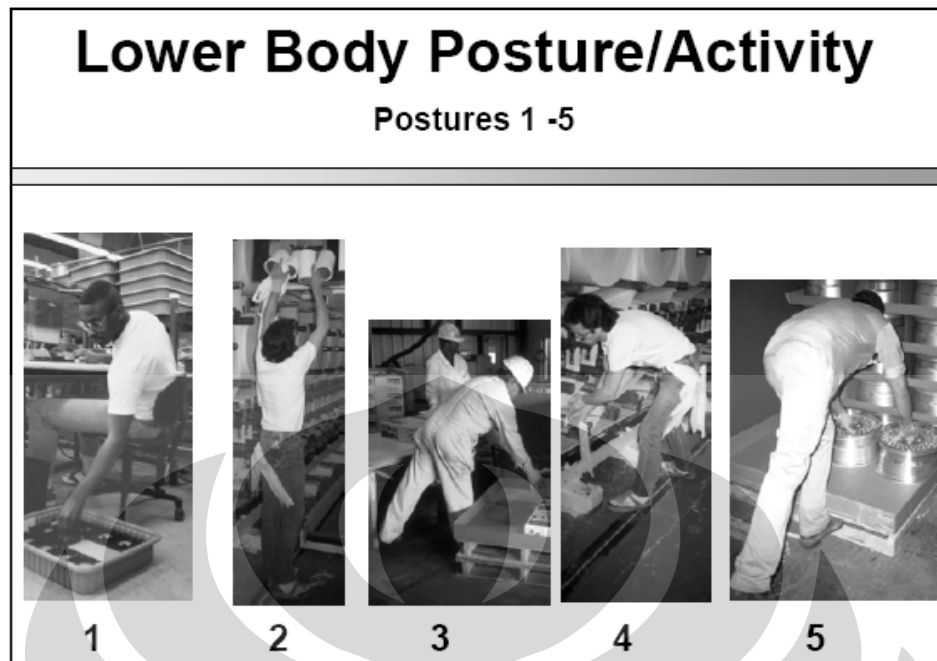
Sumber: Keyserling, 2004



**Gambar 2.12** Kategori Postur Tangan

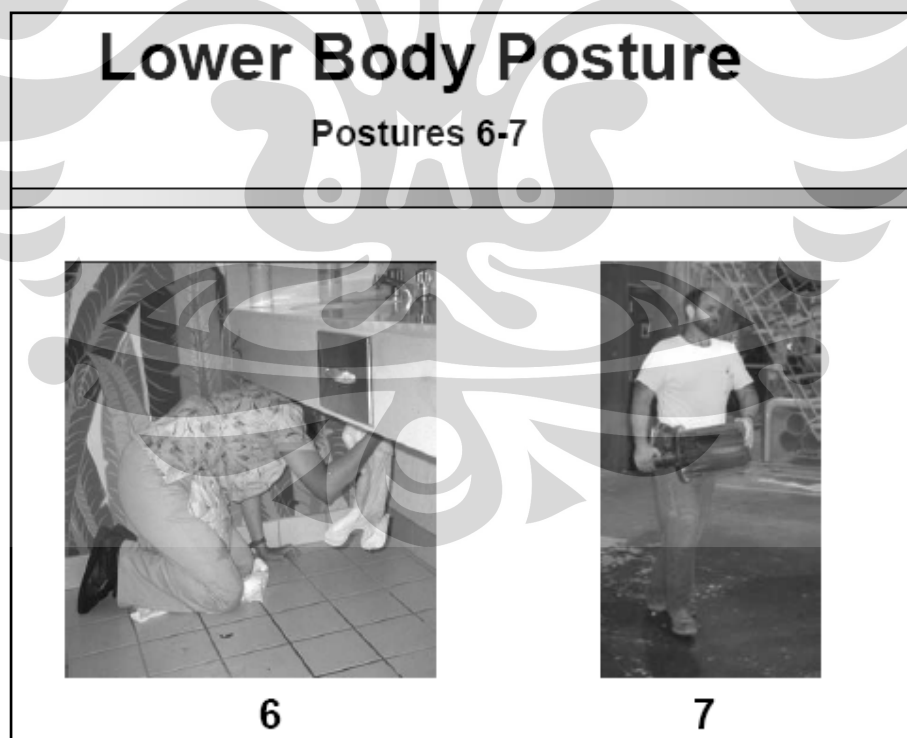
Sumber: Keyserling, 2004

<sup>25</sup> Keyserling, W. M. (2004). OWAS: An Observational Approach to Posture Analysis. The University of Michigan.



**Gambar 2.13** Kategori Postur Tubuh Bawah Bagian 1

Sumber: Keyserling, 2004



**Gambar 2.14** Kategori Postur Tubuh Bawah Bagian 2

Sumber: Keyserling, 2004

**Tabel 2.4** Kategori Beban yang Diterima Tubuh

Load Handle	1	Load < 10kg
	2	10 < Load < 20kg
	3	Load > 20kg

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

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

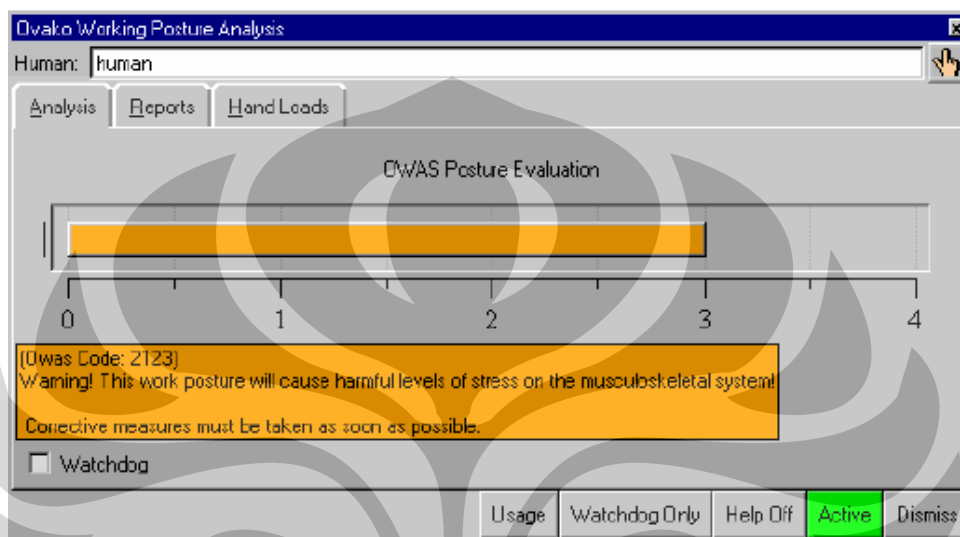
1. Level 1  
Postur dalam kondisi normal, tidak dibutuhkan langkah koreksi.
2. Level 2  
Postur memungkinkan untuk menimbulkan rasa sakit, tidak diperlukan langkah koreksi yang harus segera dilakukan, tetapi langkah koreksi mungkin dibutuhkan di masa yang akan datang.
3. Level 3  
Postur memberikan rasa sakit, langkah koreksi harus dilakukan secepat yang dapat dilakukan.
4. Level 4  
Postur memberikan rasa sakit yang sangat, langkah koreksi harus dilakukan dengan segera.

Metode OWAS dapat memberikan manfaat bagi penggunaanya yaitu:

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

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

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



**Gambar 2.15** Kotak Dialog *Ovako Working Posture Analysis* pada Jack

Sumber: Jack TAT Manual

## 2.9 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

*Rapid Upper Limb Assessment* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat resiko cedera dan gangguan muskuloskeletal pada tubuh bagian atas. Analisis dibuat berdasarkan kualitas postur, penggunaan otot, berat beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensinya. Metode ini dibuat melalui pengisian lembar kerja, dimana lembar tersebut akan memudahkan penggunaannya untuk menghitung sebuah nilai yang mengindikasikan derajat kepentingan dari tingkat intervensi yang diperlukan untuk mereduksi resiko dan bahaya yang dapat terjadi. Salah satu bentuk lembar kerja dari analisis metode RULA terlihat pada gambar 2.16. Seperti terlihat pada gambar 2.16 dan 2.17, bagian tubuh yang dianalisis dibagi menjadi dua grup. Grup A terdiri dari bagian tubuh tangan dan pergelangan tangan. Grup B terdiri dari leher, batang tubuh, dan kaki. Nilai akhir yang dihasilkan RULA adalah sebagai berikut:



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

Metode RULA akan membantu penggunaannya untuk:

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

Gambar 2.16 menunjukkan contoh kotak dialog RULA pada *software* Jack.

The screenshot shows the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' dialog box. It features three tabs: 'Task Entry', 'Reports', and 'Analysis Summary'. The 'Task Entry' tab is selected. The dialog includes a 'Human' field with the text 'No\_Name' and a dropdown arrow. Below this are three main sections for assessment: 'Body Group A Loading (Arm, Wrist)', 'Legs and Feet', and 'Body Group B Loading (Neck, Trunk)'. Each section contains two sub-sections: 'Muscle Use' and 'Forces and Loads'. The 'Muscle Use' sub-sections have three radio button options: 'Normal, no extreme use' (selected), 'Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute', and 'Action repeated more than 4 times per minute'. The 'Forces and Loads' sub-sections have four radio button options: '< 2 kg intermittent load' (selected), '2-10 kg intermittent load', '2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load', and 'More than 10 kg static. Shock forces.'. There is also an 'Arm Support' checkbox labeled 'Arm Supported'. At the bottom right of the dialog are 'Usage' and 'Dismiss' buttons.

**Gambar 2.16** Kotak Dialog *Rapid Upper Limb Assessment* pada Jack

Sumber: Jack TAT Manual

# 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 person is leaning: -1

**Step 2: Locate Lower Arm Position**

**Step 2a: Adjust...**

If arm is working across midline of the body: +1;  
If arm out to side of body: +1

**Step 3: Locate Wrist Position**

**Step 3a: Adjust...**

If wrist is bent from the midline: +1

**Step 4: Wrist Twist**

If wrist is twisted in mid-range = 1;  
If twist at or near end of range = 2

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A**

Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in Table A

**Step 6: Add Muscle Use Score**

If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or if action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

**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 shock: +3

**Step 8: Find Row in Table C**

The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C

## SCORES

**Table A**

Upper Arm	Lower Arm	Wrist			
		Flexion	Extension	Ulnar Dev.	Radial Dev.
1	1	1	2	3	4
2	2	2	3	4	5
3	3	3	4	5	6
4	4	4	5	6	7
5	5	5	6	7	8
6	6	6	7	8	9
7	7	7	8	9	10
8	8	8	9	10	11
9	9	9	10	11	12
10	10	10	11	12	13

**Table B**

Neck	Legs		Legs		Legs		Legs	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	2	1	2	1	2	1	2
2	2	3	2	3	2	3	2	3
3	3	4	3	4	3	4	3	4
4	4	5	4	5	4	5	4	5
5	5	6	5	6	5	6	5	6
6	6	7	6	7	6	7	6	7
7	7	8	7	8	7	8	7	8
8	8	9	8	9	8	9	8	9
9	9	10	9	10	9	10	9	10
10	10	11	10	11	10	11	10	11

**Table C**

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

### B. Neck, Trunk & Leg Analysis

**Step 9: Locate Neck Position**

**Step 9a: Adjust...**

If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1

**Step 10: Locate Trunk Position**

**Step 10a: Adjust...**

If trunk is twisted: +1; If trunk is side-bending: +1

**Step 11: Legs**

If legs & feet supported and balanced: +1;  
If not: +2

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B**

Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B

**Step 13: Add Muscle Use Score**

If posture mainly static or; if action 4 minutes or more: +1

**Step 14: Add Force/load Score**

If load less than 2 kg (intermittent): +0;  
If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;  
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;  
If more than 10 kg load or repeated or shock: +3

**Step 15: Find Column in Table C**

The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C

**Final 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

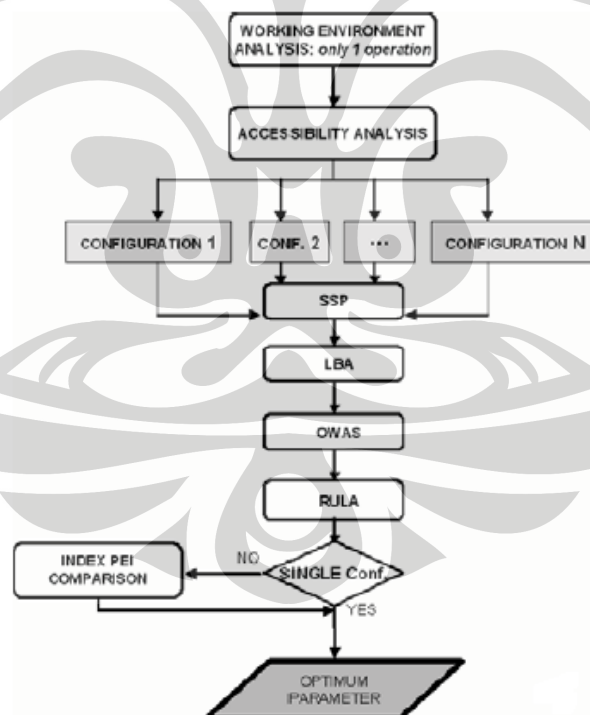
Gambar 2.17 Contoh Lembar Kerja RULA

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 ditentukan<sup>17</sup>.

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 2.18** Diagram Alir Metode PEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

<sup>17</sup> Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica* Vol. 46 No. 5/2006.

### 2.10.1 Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan seluruh pergerakan alternatif yang memungkinkan: hal ini, secara umum, meliputi pemahaman terhadap rute alternatif, postur dan kecepatan eksekusi, yang kesemuanya memberikan kontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil. Sangatlah penting untuk mensimulasikan semua operasi di atas untuk memverifikasi kelayakan dari operasi tersebut. Faktanya, sebagai contoh, tidak menjadi jaminan apakah semua titik yang ditentukan bisa dijangkau oleh postur yang berbeda. Eksekusi dari analisis ini menjamin tingkat kelayakan dari tugas yang ada. Diantara seluruh fase optimalisasi, fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena fase ini membutuhkan pembuatan simulasi secara *real time* dalam jumlah yang banyak, padahal banyak diantaranya yang akan menjadi sia-sia.

### 2.10.2 Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas

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

### 2.10.3 Fase Ketiga: *Static Strength Prediction*

Setelah konfigurasi kegiatan kerja disusun, pertanyaan berikutnya adalah: berapa banyak pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan tiap kegiatan

yang ada pada konfigurasi. Seperti yang telah tertuang pada sub-bab 2.6, kegiatan yang memiliki nilai persentase di bawah batas tertentu sebaiknya tidak dilanjutkan ke fase selanjutnya. Batas bawah yang digunakan dalam penelitian ini adalah 90% seperti yang juga dipakai pada penelitian PEI<sup>18</sup>. Sehingga konfigurasi yang memiliki persentase di bawah 90% akan dieliminasi.

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

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

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

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

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

Dari skenario konfigurasi yang diajukan, prosedur mengeliminasi secara progresif kegiatan kerja pada konfigurasi yang: 1) tidak memungkinkan untuk mengakses titik-titik kritis, 2) tidak mampu dilakukan oleh populasi pekerja yang ada 3) sangat memungkinkan memberikan bahaya dan cedera pada bagian tulang belakang. Pada fase kelima, kualitas dari postur kerja dianalisis. Analisis ini mengacu pada keberadaan resiko terjadinya penyakit dan atau bahaya yang dapat

---

<sup>18</sup> Marzano, A. (Mei 2009). Wawancara personal.

timbul pada tubuh bagian atas. Resiko tersebut diberikan nilai antara 1 s.d. 7. Nilai tersebut mengindikasikan tingkat bahaya dari resiko beserta langkah korektif yang harus dilakukan.

#### 2.10.7 Fase Ketujuh: Evaluasi PEI

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

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

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

dimana:

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

Definisi dari PEI dan penggunaan dari ketiga buah metode analisis (LBA, OWAS, RULA) bergantung terhadap hal-hal berikut. Faktor-faktor yang menjadi penyebab utama dari pembebanan yang berlebihan pada biomekanikal adalah: repetisi, frekuensi, postur, usaha kerja, dan waktu pemulihan. Faktor yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kegiatan adalah postur ekstrim,

<sup>19</sup> Di Gironimo, G., Monacelia, G., Patalano, S. (2004). A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference - Design 2004*

khususnya pada tubuh bagian atas. Konsekuensinya, perhatian yang lebih harus diberikan pada evaluasi tingkat ketidaknyaman pada *lumbar disc* L4/L5 (pengaruh  $I_1$ ) dan evaluasi dari tingkat kelelahan pada tubuh bagian atas (pengaruh  $I_3$ ). PEI memungkinkan penggunaannya untuk menentukan modus operandi untuk menjalankan kegiatan kerja dalam cara yang sederhana. Faktanya, postur optimal yang berkaitan dengan kegiatan dasar adalah postur kritis dengan nilai PEI minimum. Variabel yang mempengaruhi nilai akhir PEI bergantung pada tingkat ketidaknyaman pada postur yang dianalisis: semakin tinggi tingkat ketidaknyaman, semakin tinggi nilai PEInya.

Untuk memastikan tingkat kenyamanan dari kerja, dengan memperhatikan standar keamanan dan keselamatan, sebuah postur yang nilai  $I_1$ -nya lebih dari atau sama dengan 1 akan diasumsikan tidak absah. Berdasarkan hal ini, nilai maksimal yang dapat diterima adalah 3 (kekuatan tekanan yang bekerja pada *lumbar disc* L4/L5 sama dengan batas pada standar NIOSH 3400 N, nilai dari sudut sendi tidak dapat diterima). Dengan mengulangi semua fase di atas untuk tiap konfigurasi, maka nilai ergonomi dari tiap konfigurasi dapat ditentukan, dan akhirnya, kegiatan kerja yang paling optimal dalam konfigurasi dapat dipilih.

## 2.11 SEPEDA MOTOR

Sepeda motor adalah kendaraan bermotor beroda dua. Sepeda motor digerakkan oleh tenaga yang dihasilkan mesin. Jenis sepeda motor sangat bervariasi tergantung untuk tujuan apa sepeda motor tersebut didesain, seperti perjalanan panjang, melewati jalanan macet, pertandingan balap ataupun kondisi *off-road*. Sepeda motor pertama kali diciptakan oleh penemu berkebangsaan Jerman bernama Gottlieb Daimler dan Wilhelm Maybach pada tahun 1885. Penemuan mereka dinamakan *Petroleum Reitwagen*. Uniknya, temuan mereka tersebut sebenarnya digunakan sebagai alat pengetesan mesin daripada sebuah *prototype* sepeda motor.

### 2.11.1 Jenis Sepeda Motor

Ada berbagai cara mengklasifikasi jenis sepeda motor, seperti dilihat dari kegunaannya, desain, atau perpaduan antara keduanya. Tidak ada sistem universal

dalam pengklasifikasian jenis sepeda motor walaupun terdapat pengklasifikasian informal dari produsen, media, dan pengendara sepeda motor sendiri. Setiap jenis sepeda motor memiliki kelebihan dan kapabilitas berbeda, juga pada postur dari pengendaranya.

Postur pengendara sepeda motor bergantung pada antropometri pengendara dan geometri dari sepeda motor itu sendiri. Faktor-faktor yang mempengaruhi postur duduk pengendara dari sisi geometri sepeda motor adalah ketinggian, sudut dan posisi pada bagian pijakan kaki, tempat duduk, dan setang. Berikut ini merupakan beberapa jenis sepeda motor yang telah banyak dikenal, yaitu:

- Sepeda Motor *Cruiser*

Desain sepeda motor *Cruiser* banyak dikaitkan dengan pabrikan Harley-Davidson. Desainnya meletakkan kedua kaki pengendara ke depan dan dengan setang yang tinggi dan lebar menyebabkan tangan agak ke atas sehingga menyebabkan punggung condong ke belakang. Jenis ini nyaman digunakan pada jalan lurus pada kecepatan tidak terlalu cepat tetapi memiliki kekurangan dalam hal berbelok akibat rendahnya *ground clearance*.



**Gambar 2.19** Sepeda Motor *Cruiser*

Sumber: [http://media.photobucket.com/image/harley%20davidson/bitch\\_this67/2006-Harley-Davidson-FXSTISPrin-1.jpg?o=55](http://media.photobucket.com/image/harley%20davidson/bitch_this67/2006-Harley-Davidson-FXSTISPrin-1.jpg?o=55)



- Sepeda Motor *Sport*

Desain sepeda motor *Sport* menekankan pada kecepatan, akselerasi, pengereman, dan berbelok. Desainnya meletakkan pijakan kaki dibelakang dan lebih dekat dengan pengendara. Setangnya yang pendek dan rendah menyebabkan punggung condong ke depan. Jenis ini tidak nyaman digunakan pada kecepatan rendah sebab berat tubuh bagian atas akan ditopang oleh tangan pengendara sehingga akan lebih cepat mengalami keletihan pada tangan.



**Gambar 2.20** Sepeda Motor *Sport*

Sumber:

[http://media.photobucket.com/image/gsxr%20750/justhaas06/2007\\_GSX\\_R7501.jpg?o=20](http://media.photobucket.com/image/gsxr%20750/justhaas06/2007_GSX_R7501.jpg?o=20)

- Sepeda Motor *Touring*

Sepeda motor *Touring* didesain untuk perjalanan jarak jauh. Desain sepeda motor *Touring* mempunyai *windscreen* dengan posisi duduk yang nyaman serta dilengkapi tangki bensin dan bagasi dengan kapasitas besar.

- Sepeda Motor *Standard*

Sepeda motor *Standard* merupakan desain umum sepeda motor. Desainnya membuat punggung pengendara tegak, tidak membungkuk seperti jenis *Sport* atau condong kebelakang seperti *Cruiser*.

- Sepeda Motor *Off-Road*

Sepeda motor *off-road* didesain untuk melewati medan tanah yang tidak rata. Jenis ini memiliki tangki bahan bakar yang kecil tetapi dengan suspensi yang

besar untuk menunjang medan yang tidak rata. Jenis *off-road* memiliki jarak tinggi yang besar antara tempat duduk dan setang sehingga memungkinkan pengendara dapat mengendalikan sepeda motor dengan posisi berdiri pada pijakan kaki.



**Gambar 2.21** Sepeda Motor *Touring*

Sumber: [http://media.photobucket.com/image/goldwing/lael\\_07/D\\_2010-honda-gl1800-goldwing-motorc.jpg?o=12](http://media.photobucket.com/image/goldwing/lael_07/D_2010-honda-gl1800-goldwing-motorc.jpg?o=12)



**Gambar 2.22** Sepeda Motor *Standard*

Sumber: <http://www.astra-honda.com/app/webroot/tiger/> “telah diolah kembali”



**Gambar 2.23** Sepeda Motor *Off-Road*

Sumber: [http://media.photobucket.com/image/klx450r/gmlion/1b71\\_3.jpg?o=13](http://media.photobucket.com/image/klx450r/gmlion/1b71_3.jpg?o=13)

- Sepeda Motor Skuter

Skuter biasanya memiliki mesin transmisi otomatis dan diameter ban yang lebih kecil. Tidak terdapat pijakan kaki pada jenis skuter tetapi terdapat *floorboard* sehingga kaki pengendara dapat lebih bebas ditambah dengan transmisinya yang otomatis.



**Gambar 2.24** Sepeda Motor Skuter

Sumber:

[http://media.photobucket.com/image/piaggio%20et4/hendranantha/vespa\\_motor\\_scooter\\_dragon-red\\_et4.jpg?o=3](http://media.photobucket.com/image/piaggio%20et4/hendranantha/vespa_motor_scooter_dragon-red_et4.jpg?o=3)

- Sepeda motor Honda Supra X 125 (*Cub*)

Berbeda dengan skuter, sepeda motor Honda Supra X 125 memiliki rangka melengkung seperti leher angsa. Sepeda motor Honda Supra X 125 memiliki

diameter ban yang lebih besar daripada skuter. Sepeda motor Honda Supra X 125 memakai pijakan kaki dan biasanya dilengkapi dengan transmisi semi-otomatis sehingga pengendara masih harus berganti transmisi dengan kopling otomatis.



**Gambar 2.25** Sepeda motor Honda Supra X 125

Sumber: <http://www.astra-honda.com/app/webroot/supraX125/> “telah diolah kembali”

## BAB 3

### PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA

#### 3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan mengambil data yang sudah tersedia dan juga dengan melakukan pengukuran langsung terhadap sepeda motor tipe *cub* yang akan menjadi objek penelitian. Selanjutnya, akan dijelaskan lebih detail data-data yang diperlukan

##### 3.1.1 Data Spesifikasi Sepeda Motor Tipe *Cub* Honda Supra X 125

Sepeda motor yang menjadi objek penelitian adalah sepeda motor tipe *cub* (bebek). Sepeda motor tipe *cub* yang digunakan adalah Honda Supra X 125 keluaran tahun 2006. Sepeda motor yang digunakan memiliki massa 105 kg dalam keadaan tangki bahan bakar kosong. Detail spesifikasi sepeda motor Honda Supra X 125 dapat dilihat pada keterangan di bawah ini:

- Massa : 105 kg
- Radius roda depan : 29 cm
- Radius roda belakang : 30 cm
- Panjang setang : 34 cm
- Panjang *handle* : 11cm
- Kemiringan setang : 25°
- Jarak antara pijakan kaki-tempat duduk : 50 cm
- Jarak antara setang-tempat duduk : 12 cm

##### 3.1.2 Data Antropometri Mahasiswa Universitas Indonesia

Data antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) adalah data mahasiswa S1 Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pemilihan mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Indonesia dikarenakan representatif terhadap pangsa pasar sepeda motor tipe *cub*, yaitu pemuda pemudi. Data antropometri tersebut diperoleh dengan cara melakukan pengukuran langsung menggunakan peralatan AnthroScan terhadap sampel mahasiswa Universitas Indonesia sebanyak 89 orang responden. Pengukuran antropometri

dengan menggunakan peralatan AnthroScan akan menghasilkan data antropometri seluruh dimensi tubuh secara akurat.



**Gambar 3.1** Spesifikasi Honda Supra X 125

Dari keseluruhan data keluaran AntroScan, hanya data dimensi-dimensi tubuh yang diperlukan untuk dijadikan masukan dalam *software* Jack 6.1 sebanyak 13 dimensi tubuh yaitu:

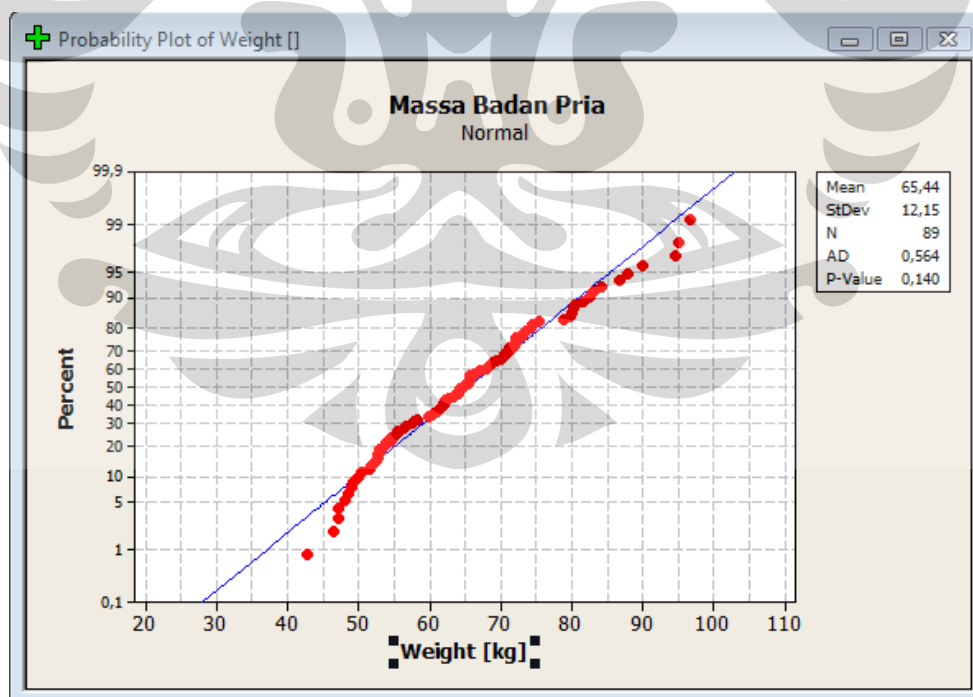
- Dimensi tinggi tubuh posisi berdiri tegak (*stature*)
- Panjang lengan (*arm length*)
- Jarak antara siku dan ujung jari (*elbow fingertip*)
- Jarak antara bahu dan siku (*shoulder elbow*)
- Lebar tangan (*hand breadth*)
- Panjang tangan (*hand length*)
- Panjang paha dari pantat sampai lutut (*buttock-knee*)
- Lebar pinggul (*hip breadth*)
- Lebar kaki (*foot breadth*)
- Panjang kaki (*foot length*)
- Tinggi mata kaki (*ankle height*)
- Tinggi lutut dari lantai dalam posisi duduk (*sit knee*)

Pengambilan data antropometri mahasiswa Universitas Indonesia dilakukan dengan peralatan *AnthroScan* oleh dua orang operator. Semua ukuran

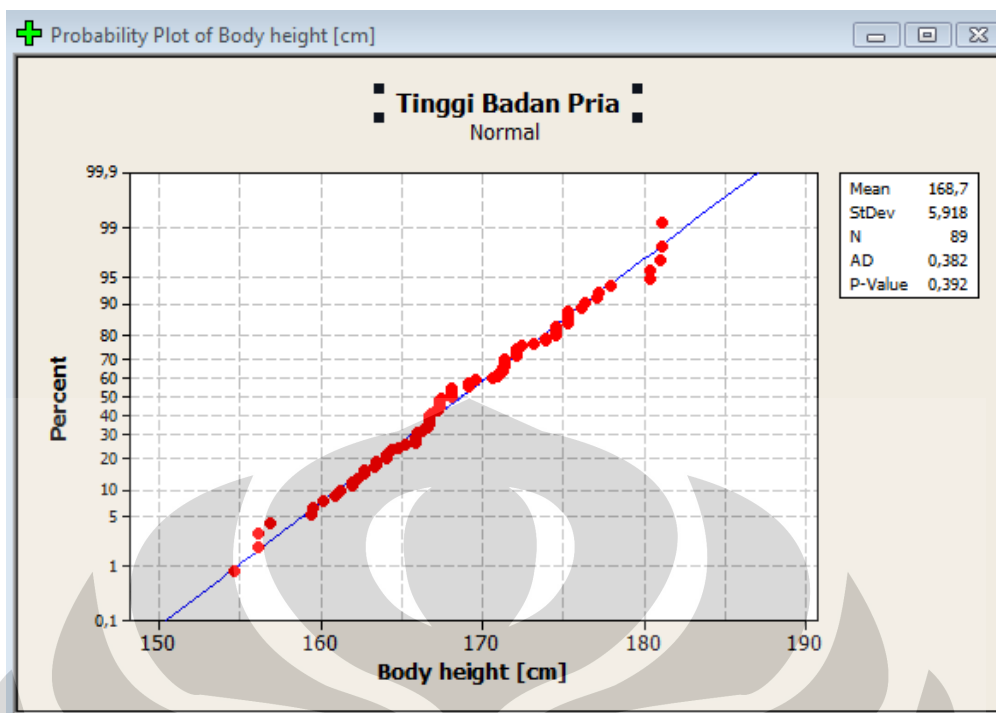
dimensi antropometri diambil dalam satuan sentimeter (cm) dan untuk berat badan diukur dalam satuan kilogram (kg).

Untuk mengetahui apakah data antropetri yang diperoleh cukup baik untuk digunakan dalam penelitian ini, maka perlu dilakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data antropometri tersebut terdistribusi secara normal atau tidak. Jika hasil uji normalitas menghasilkan *p-value* lebih dari 5%, maka data tersebut terdistribusi secara normal. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 14. Hasil uji normalitas pada *software* tersebut tersaji pada gambar 3.2 dan 3.3 di bawah ini.

Berdasarkan hasil uji normalitas, *p-value* dari data tinggi badan adalah 39,2 %. Sedangkan *p-value* dari data massa badan adalah 14%. Berdasarkan uji normalitas tersebut dapat dilihat bahwa data massa dan tinggi badan mahasiswa Universitas Indonesia terdistribusi secara normal. Dengan demikian, data antropometri yang sudah diukur dapat digunakan sebagai data utama yang digunakan untuk membuat manekin dalam *software* Jack 6.1. data antropometri yangtelah didapat dibuatkan persentil 5, 50, 95 yang dapat dilihat pada tabel 3.1.



**Gambar 3.2** Hasil Uji Normalitas Data Massa Badan Mahasiswa UI



**Gambar 3.3** Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan Mahasiswa UI

**Tabel 3.1** Rekapitulasi Data Antropometri Mahasiswa UI

Dimensi	Persentil		
	5	50	95
massa badan (kg)	48,32	64,8	87,4
Tinggi badan (cm)	159,44	168,1	179,4
Panjang lengan (cm)	82,77	79	74,675
Panjang dari siku ke jari (cm)	50	47,25	45
Jarak dari bahu ke siku(cm)	38	36	34
Lebar tangan (cm)	11	10	9
Panjang tangan (cm)	20,5	19	17,75
Jarak dari pantat ke lutut (cm)	61,27	58	57
Lebar pinggul (cm)	37,77	34	31,45
Lebar kaki (cm)	11,16	10	8,5
Panjang kaki (cm)	26,5	25,5	24
Tinggi mata kaki (cm)	7	7,4	7,86
Tinggi lutut (cm)	42,4	45,4	48,92

#### 3.1.4 Data Postur dan Gerakan Pengendara Sepeda Motor

Perekaman postur dan gerakan pengguna dalam mengendarai sepeda motor Honda Supra X 125 difokuskan pada penggunaan pada jalan lurus mendatar. Perekaman ini dilakukan dengan peralatan *motion capture* dari Vicon

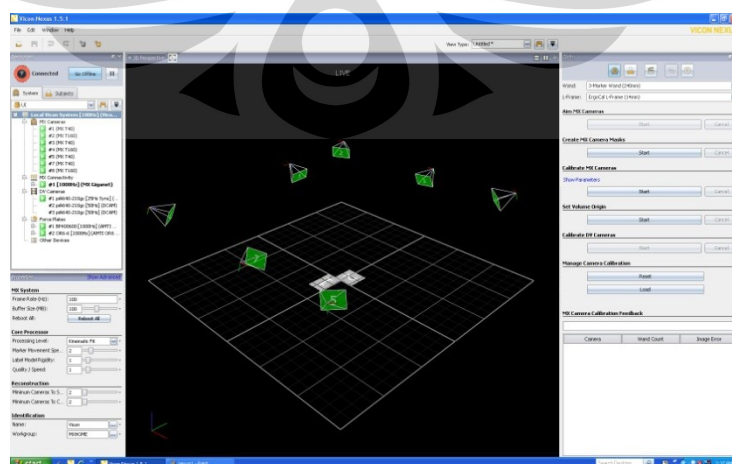


System. Observer sebagai operator Vicon System merekam postur dan gerakan yang dilakukan pengendara sepeda motor saat mengendarai sepeda motor di dalam area *motion capture*.

Data postur dan gerakan yang didapat dari perekaman pengendara sepeda motor ini akan dijadikan *input* untuk mensimulasikan manekin (*virtual human*) dalam mengendarai *virtual motorcycle* pada simulasi menggunakan *software* Jack 6.1. Dengan demikian, *virtual human* akan bergerak persis dengan apa yang dilakukan manusia sebenarnya. Hal ini dikarenakan *software* Jack 6.1 sangat menjadikan postur *virtual human* dalam *virtual environment* sebagai pertimbangan utama dalam mengeluarkan hasil analisis aspek ergonomi yang dimilikinya.

Peralatan *motion capture* Vicon System yang digunakan terdiri dari 8 kamera MX, 3 kamera DV, 2 plat gaya (*forceplate*) dan 100 *marker*. *Marker* adalah bola-bola kecil yang digunakan untuk memantulkan cahaya inframerah yang dipancarkan kamera LED ke lensa kamera. Penggunaan Vicon System sendiri dilakukan lewat *software* Vicon Nexus 1.5.1. Tampilan *software* Vicon Nexus 1.5.1 dapat dilihat pada Gambar 3.4. Tahap-tahap yang dilakukan dalam proses *motion capture* ketika mengendarai sepeda motor dijelaskan di bawah ini.

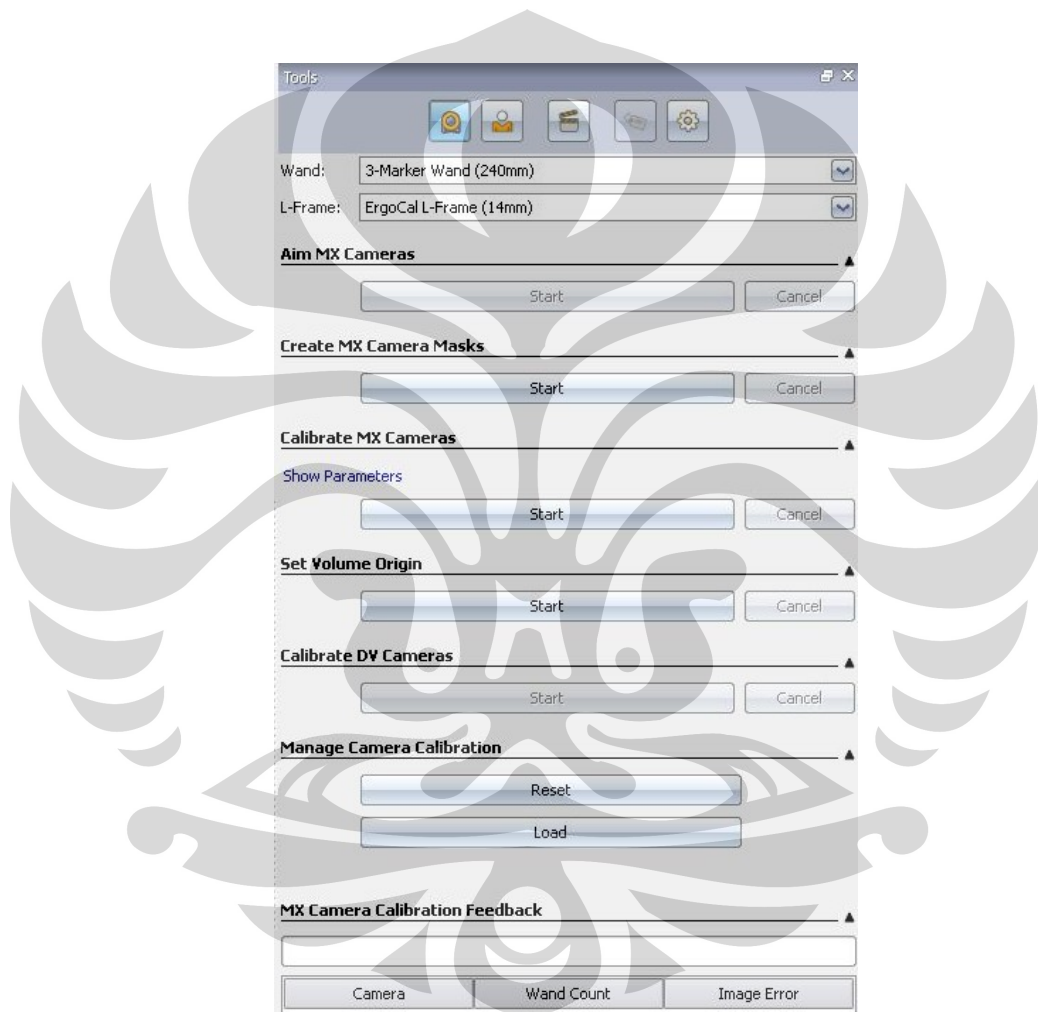
1. Mengkalibrasi Vicon System
2. Mempersiapkan subjek manusia
3. Melakukan proses *motion capture*
4. Menandai *markers*



**Gambar 3.4** Tampilan Vicon Nexus 1.5.1

### 3.1.4.1 Mengkalibrasi Vicon System

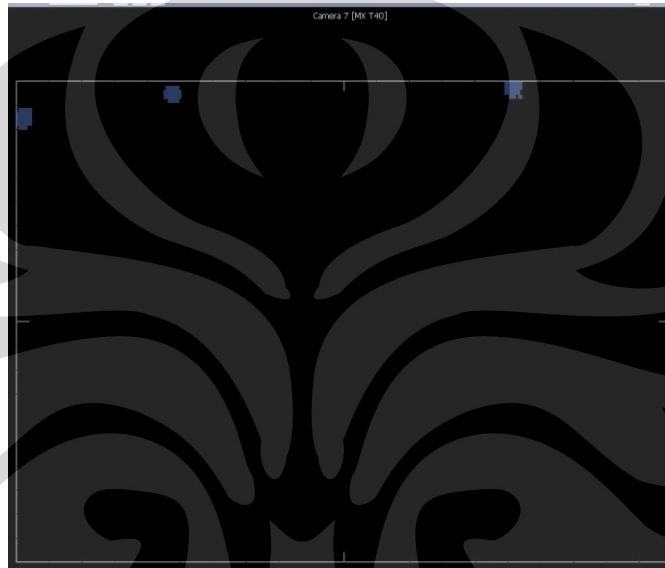
Sebelum digunakan untuk pengambilan data, Vicon System harus dikalibrasi agar peralatan berjalan baik dan hasil gerakan yang didapat seperti keadaan nyata. Kalibrasi Vicon Sistem menggunakan 2 jenis alat, yaitu *wand* dan *L-frame*. Jenis *wand* yang dipakai adalah *3-marker wand (240mm)* dan untuk *L-frame* adalah *ErgoCal L-Frame (14mm)*. Pada Vicon Nexus, langkah-langkah kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Tampilan *tab Calibration* pada Vicon Nexus

Dalam keadaan *Live*, kalibrasi dimulai dengan proses penutupan cahaya-cahaya *noise (masking)* agar hasil kalibrasi menjadi bagus. *Noise* tersebut berasal dari cahaya yang bukan merupakan pantulan dari *markers*, tetapi merupakan pantulan dari benda-benda yang dapat memantulkan cahaya di sekitar kamera. Apabila *noise* tersebut tidak ditutup maka akan mengganggu proses kalibrasi selanjutnya.

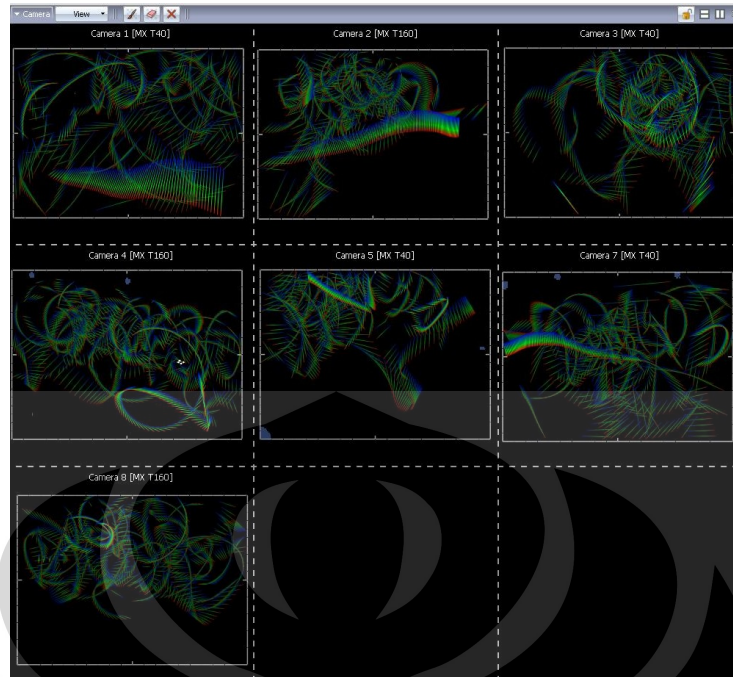
Hasil *masking* pada dapat dilihat pada Gambar 3.5 dimana *noise* cahaya yang telah ditutupi berwarna ungu. Setelah melalui proses *masking*, dilanjutkan dengan kalibrasi kamera MX dengan menggunakan *3-marker wand* (240mm). *Wand* tersebut diputar-putar seperti Gambar 3.7 mengelilingi area perekaman sehingga kamera MX dapat mengenali *markers* dalam area perekaman. Pada *software* Vicon Nexus 1.5.1 akan terlihat seperti Gambar 3.8 ketika dilakukan proses kalibrasi kamera MX.



**Gambar 3.6** Tampilan Noise yang Telah Ditutup



**Gambar 3.7** Proses Kalibrasi dengan *Wand*

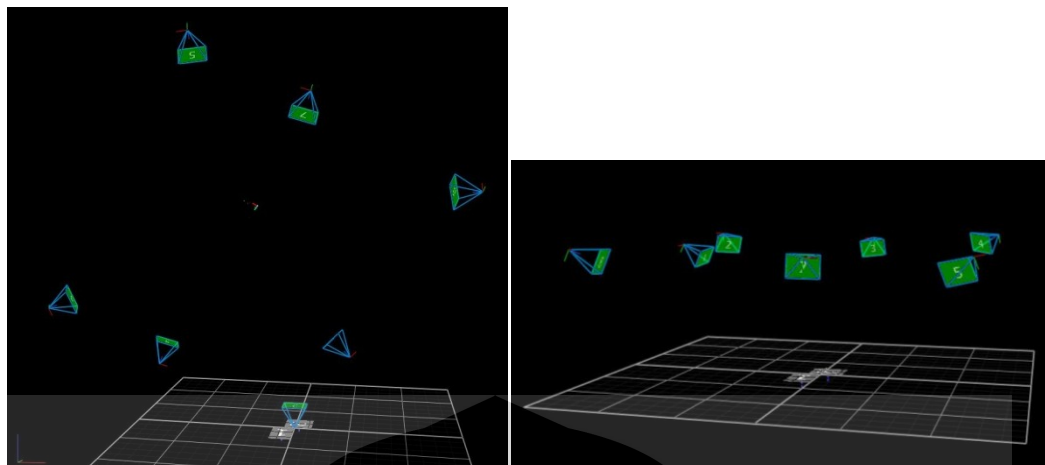


**Gambar 3.8** Tampilan *Wand* pada Vicon Nexus

Setelah dilakukan kalibrasi kamera MX, dilakukan proses *Set Volume Origin*. Hal ini dilakukan untuk menetapkan arah X, Y, dan Z pada *virtual environment*. Pada Gambar 3.9 dapat dilihat peletakan *ErgoCal L-Frame (14mm)* sebagai titik awal (*origin*) dan pada Gambar 3.10 dapat dilihat tampilan sebelum dan sesudah proses *Set Volume Origin*.



**Gambar 3.9** Peletakan *L-Frame* pada Area Perekaman



**Gambar 3.10** Tampilan Sebelum dan Sesudah proses *Set Volume Origin*

#### 3.1.4.2 Mempersiapkan Subjek Manusia

Subjek manusia yang akan direkam gerakannya ditempelkan *markers* pada titik-titik tubuh tertentu sehingga gerakannya dapat terdeteksi oleh Vicon System. Terdapat susunan penempatan *markers* yang berbeda tergantung analisis apa yang akan digunakan. Sedangkan pada penelitian ini, data postur dan gerakan akan dianalisis lebih lanjut di *software* Jack 6.1 sehingga dipakai susunan *markers* sesuai yang diperlukan dalam *software* Jack. Pada Tabel 3.2 dapat dilihat titik-titik tempat *markers* ditempelkan dan penamaannya. Sedangkan ilustrasi penempatan *markers* pada subjek manusia dapat dilihat pada Gambar 3.11.

**Tabel 3.2** Susunan *Markers* untuk *software* Jack

Label	Penempatan
1. TopHead	ubun-ubun
2. BackHead	bagian tengah belakang kepala
3. FrontHead	kening bagian atas
4. LHead	atas telinga kiri
5. RHead	atas telinga kanan sedikit ke depan
6. RShoulder	tengah bahu kanan
7. LShoulder	tengah bahu kiri
8. BNeck	belakang leher
9. Sternum	ujung tulang dada dekat perut
10. LBack	tonjolan belikat kiri
11. RBack	ujung tulang rusuk bagian belakang
12. RBicep	tengah lengan kanan
13. RElbow	siku kanan bagian luar

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

<b>Label</b>	<b>Penempatan</b>
14. RPostElbow	siku kanan bagian dalam
15. RForeArm	tengah tangan kanan
16. RRadius	pergelangan tangan kanan searah ibu jari
17. RUlna	pergelangan tangan kanan searah kelingking
18. Rthumb	pangkal ibu jari tangan kanan
19. RMHand	tengah metakarpal kanan
20. Rpinky	pangkal jari kelingking tangan kanan
21. LBicep	tengah lengan kiri
22. LElbow	siku kiri bagian luar
23. LPostElbow	siku kiri bagian dalam
24. LForearm	tengah tangan kiri
25. LRadius	pergelangan tangan kiri searah ibu jari
26. LUlna	pergelangan tangan kiri searah kelingking
27. LThumb	pangkal ibu jari tangan kiri
28. LMHand	tengah metakarpal kiri
29. LPinky	pangkal kelingking tangan kiri
30. Clav	pangkal tulang dada dekat leher
31. RASIS	tonjolan depan tulang panggul kanan
32. LASIS	tonjolan depan tulang panggul kiri
33. RPSIS	tonjolan belakang tulang panggul kanan
34. LPSIS	tonjolan belakang tulang panggul kiri
35. Sacrum	punggung sejajar RPSIS dan LPSIS
36. Rhip	pangkal paha kanan
37. LHip	pangkal paha kiri
38. RThigh	paha kanan bagian depan
39. RPostThigh	paha kanan bagian belakang
40. RKnee	lutut kanan
41. RShank	betis kanan
42. RAnkle	mata kaki kanan
43. RHeel	tumit kanan
44. RToe	pangkal ibu jari kaki kanan
45. RLatFoot	pangkal kelingking kaki kanan
46. LThigh	paha kiri bagian depan
47. LPostThigh	paha kiri bagian belakang
48. LKnee	lutut kiri
49. LShank	betis kiri
50. LAnkle	mata kaki kiri
51. LToe	pangkal ibu jari kaki kiri
52. LHeel	tumit kiri
53. LLatFoot	pangkal kelingking kaki kiri

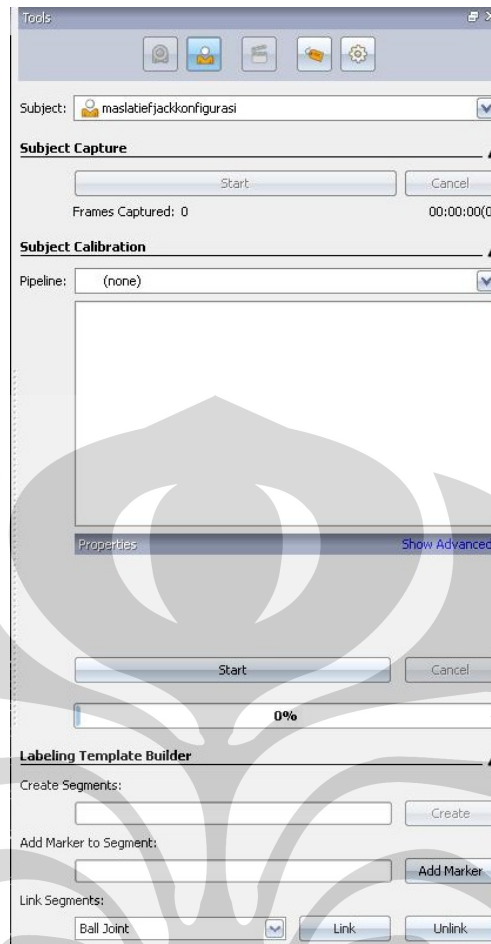


**Gambar 3.11** Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia

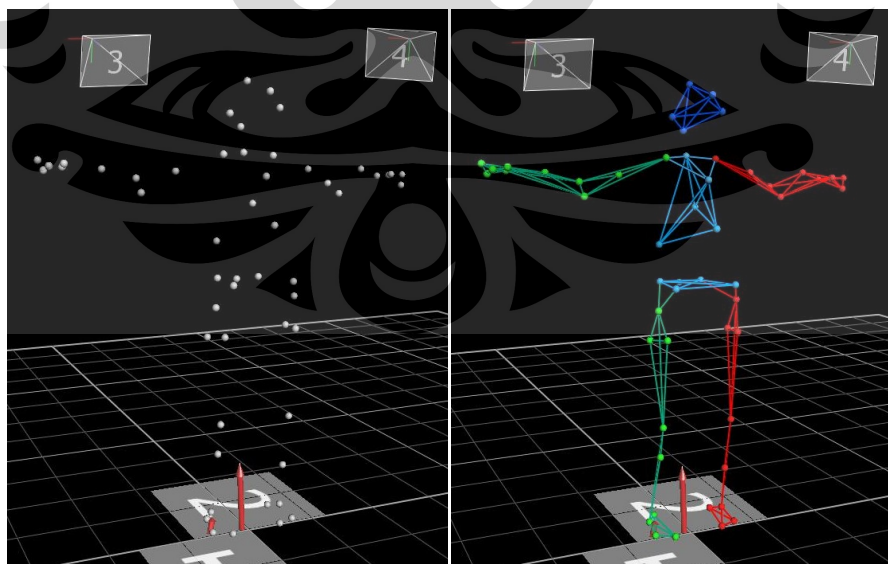
Setelah semua *markers* dilekatkan pada subjek, maka pada *software* Vicon Nexus 1.5.1 akan dimulai proses *Subject Calibration*. Tab *Subject Calibration* dapat dilihat seperti Gambar 3.12.

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

Alur kerjanya dimulai dengan merekam *T-Pose* selama 1-3 detik. Kemudian pada keadaan *Offline*, data posisi statis tersebut direkonstruksi dan akan terlihat seperti Gambar 3.13(a). Setelah itu, pada tab *Labelling*, titik-titik tersebut dinamai sesuai dengan nama dan penempatannya seperti pada Tabel 3.3 dan hasilnya akan terlihat seperti Gambar 3.13(b). Dengan demikian, Vicon Nexus akan otomatis mengenali *markers* tersebut dan mempermudah pengamat dalam mengolah data.



**Gambar 3.12** Ilustrasi Penempatan Markers di Subjek Manusia



(a)

(b)

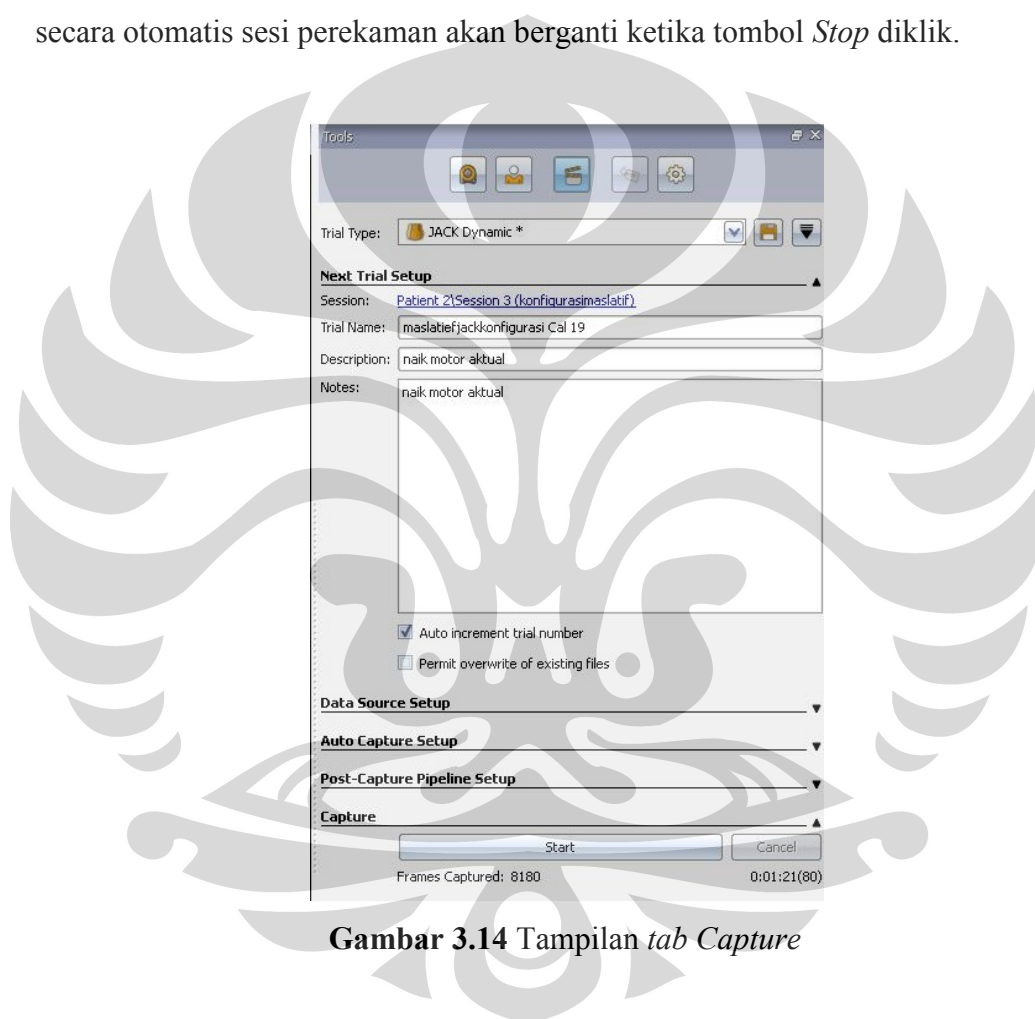
**Gambar 3.13** (a) Hasil Rekonstruksi (b) Hasil Rekonstruksi yang Telah Dinamai



### 3.1.4.3 Melakukan Proses *Motion Capture*

Setelah subjek siap direkam dan sistem telah dikalibrasi, maka saatnya untuk melakukan proses *motion capture* mengendarai sepeda motor Honda Supra X 125. Tampilan *tab Capture* pada Vicon Nexus dapat dilihat pada Gambar 3.14. Perekaman dapat langsung dilakukan dengan mengeklik tombol *capture* ketika subjek telah siap di area perekaman.

Perekaman dapat dilakukan sebanyak-banyaknya secara cepat karena secara otomatis sesi perekaman akan berganti ketika tombol *Stop* diklik.



**Gambar 3.14** Tampilan *tab Capture*

### 3.1.4.4 Melabeli *Markers*

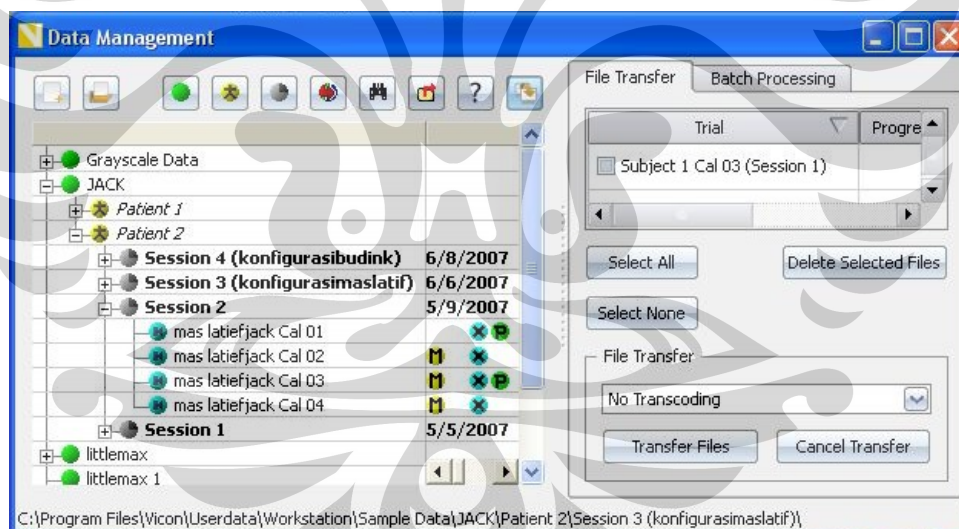
Gerakan yang telah direkam pada proses ini dirapuhkan. Hal ini dikarenakan *markers* kadang tidak terdeteksi oleh kamera MX atau Vicon Nexus salah menamai *markers* sesuai pada kalibrasi *T-pose*. Tidak terdeteksinya *markers* dapat diakibatkan tertutupi oleh bagian tubuh subjek manusia itu sendiri.

Dalam keadaan *Offline*, Pilih sesi perekaman yang akan dirapuhkan lewat *Data Management* seperti terlihat pada Gambar 3.15. Data gerakan tersebut

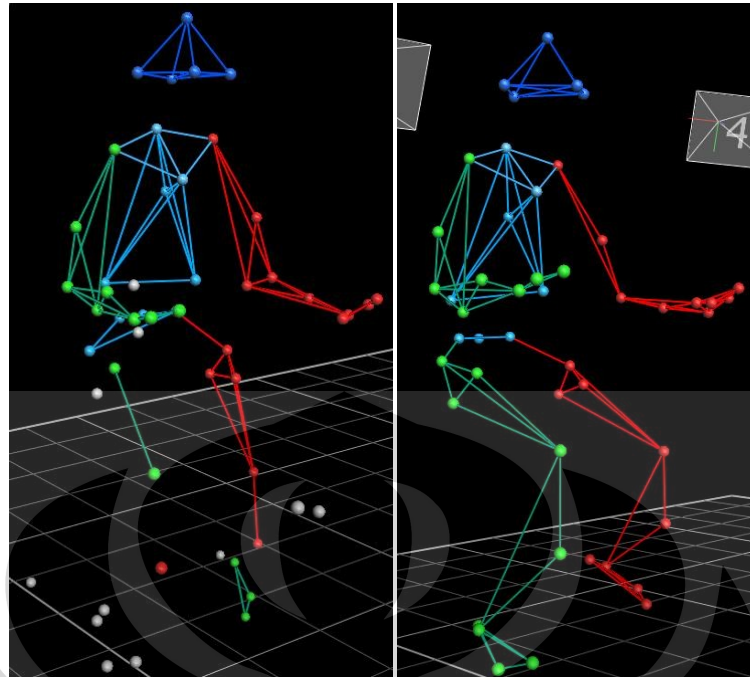
direkonstruksi dan dilabel secara otomatis sehingga akan terlihat pada Gambar 3.16. Dapat dilihat pada Gambar 3.16 bahwa terdapat *markers* yang salah penempatan dan hilang sehingga kerangka manusia menjadi aneh. Disinilah perlunya proses *Labelling* secara manual dimana *markers* yang hilang dan salah penamaan dibetulkan sehingga kerangka manusia menjadi semestinya dan dapat diolah lebih lanjut di *software* Jack.

Gambar 3.17 merupakan tampilan *tab* *Labelling* pada *Vicon* Nexus. Penamaan *markers* secara manual dilakukan dengan mengklik nama-nama *markers* tersebut dan menaruhnya pada titik-titik *markers* yang benar. Hasil pada proses *Labelling* ini akan menghasilkan kerangka manusia yang bagus seperti Gambar 3.16 dimana terlihat postur mengendarai sepeda motor.

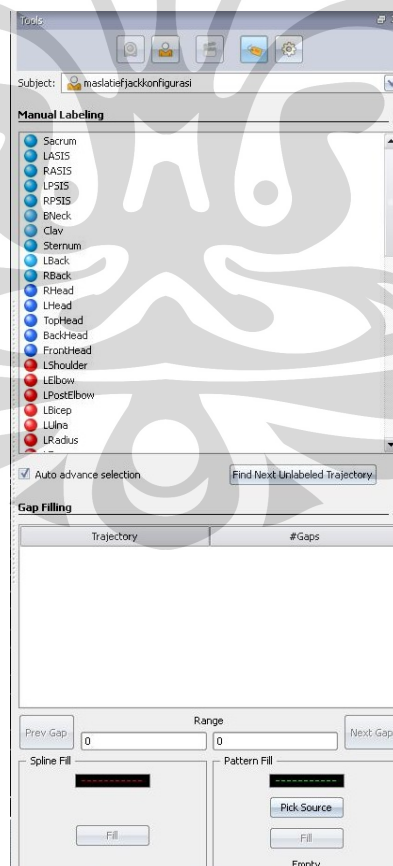
Setelah proses *Labelling* ini, data postur dan gerakan mengendarai sepeda motor berupa kerangka manusia telah siap untuk diolah menjadi *virtual human* pada *software* Jack 6.1.



Gambar 3.15 Tampilan *Data Management*



**Gambar 3.16** Tampilan Kerangka Sebelum dan Sesudah Rekonstruksi dan Penamaan Otomatis



**Gambar 3.17** Tampilan *tab* Labelling

### 3.2 Pengolahan Data

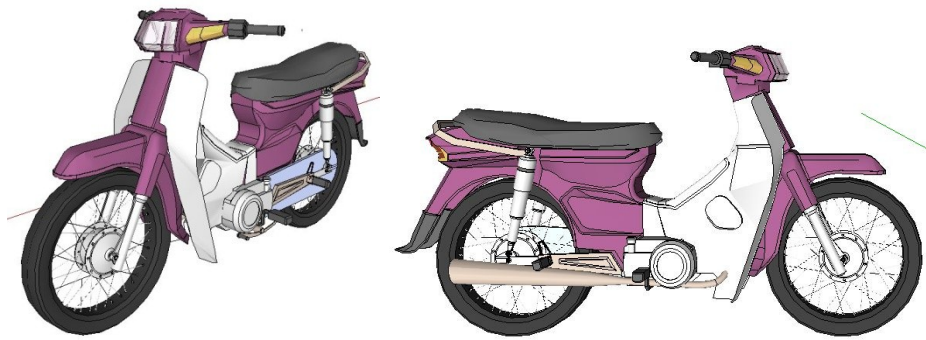
Pengolahan data merupakan tahapan selanjutnya yang dilakukan setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Jack 6.1. Ada enam tahapan umum yang dilakukan dalam pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack 6.1, yaitu:

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

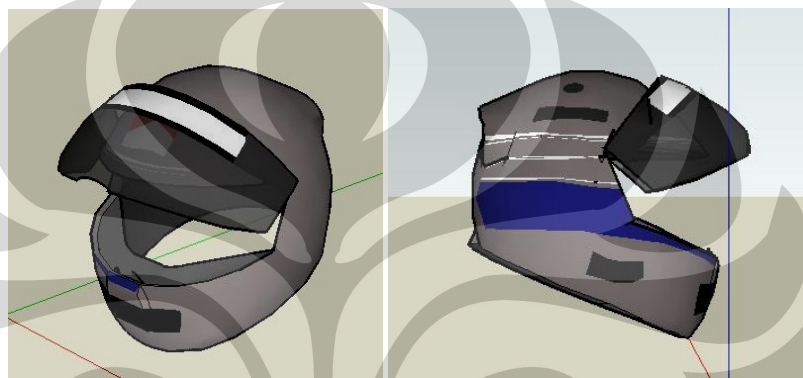
#### 3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual (*Virtual Environment*)

Tahapan awal dari pengolahan data menggunakan *software* Jack 6.1 adalah membangun lingkungan virtual. Lingkungan virtual yang ada pada penelitian ini adalah model sepeda motor Honda Supra X 125 dan model helm sepeda motor.

Model sepeda motor Honda Supra X 125 dibuat dengan menjadikan data spesifikasi sepeda motor Honda Supra X 125 sebagai acuan. Sedangkan model helm sepeda motor mengacu ke model helm *fullface* yang memenuhi standar SNI. Pembuatan kedua model tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* Google Sketchup. Pemilihan *software* Google Sketchup sebagai aplikasi dalam membuat model sepeda motor Honda Supra X 125 dan model helm didasari oleh beberapa pertimbangan. Diantara pertimbangan tersebut adalah *software* Google Sketchup merupakan aplikasi desain grafis berbasis vektor yang mudah digunakan dan bersifat *open source*.



**Gambar 3.18** Model Sepeda motor Honda Supra X 125

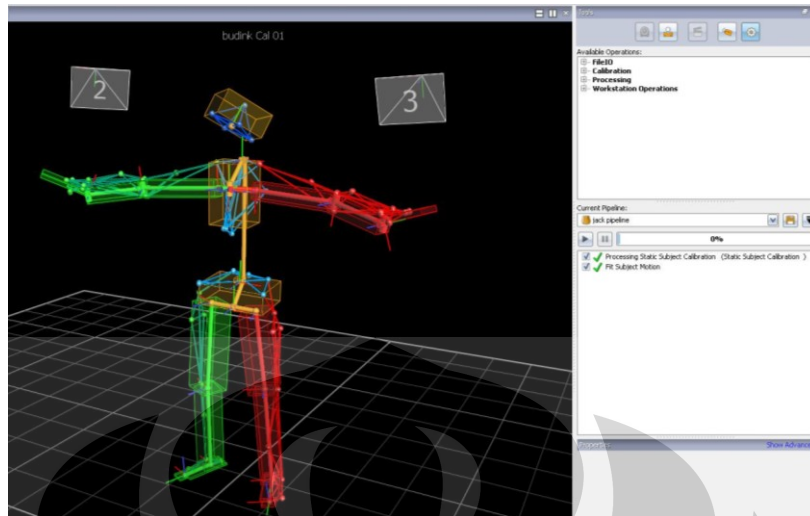


**Gambar 3.19** Model Helm

Setelah model sepeda motor Honda Supra X 125 dibuat, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan model tersebut ke dalam *software* Jack 6.1. Sebelum dimasukkan, model sepeda motor Honda Supra X 125 tersebut harus dikonversi menjadi berformat Vis (\*.jt). Konversi dimulai pada *software* Google Sketchup dikonversi ke format AutoCAD (\*.dwg). Setelah itu file tersebut kembali dikonversi ke format Vis (\*.jt) dalam *software* UGS NX 6.0 agar dapat dibuka dalam Jack 6.1.

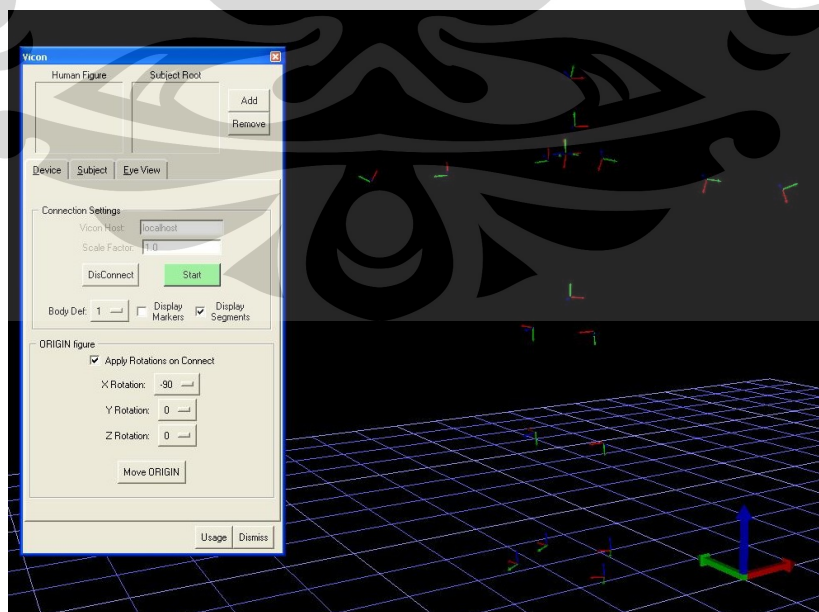
### 3.2.2 Memasukkan Data Postur Statis Manusia

Data postur statis manusia digunakan sebagai kunci bagi manekin agar dapat bergerak sesuai gerakan sebenarnya. Pada proses ini, *software* Vicon Nexus 1.5.1 dan Jack 6.1 saling berhubungan. Pada *software* Vicon Nexus pertama kali dibuka data postur *T-pose* yang telah dilabel. Pada *tab Processing* dijalankan *pipeline Static Subject Calibration* dan *Fit Subject Motion* dan klik *Play*.

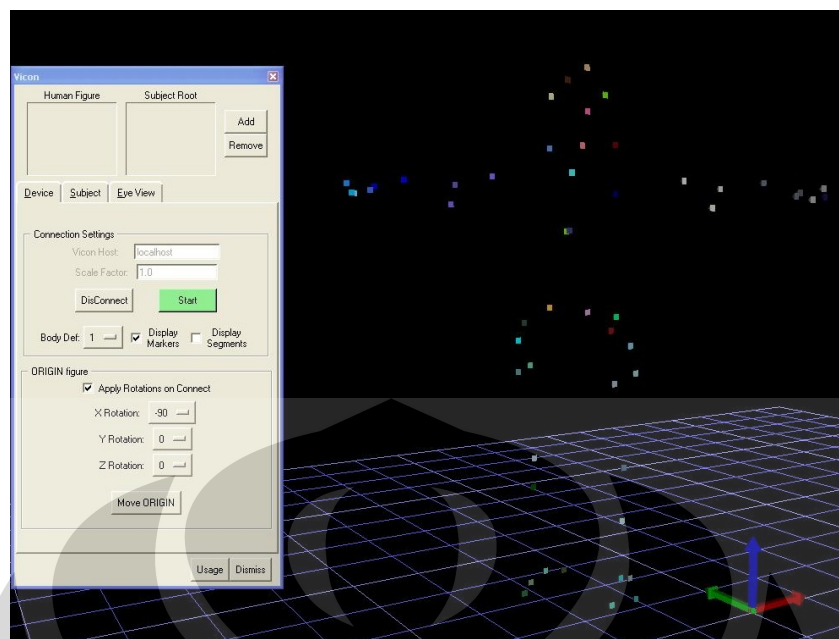


**Gambar 3.20** Tampilan Data Postur Setelah Dijalankan *Pipeline*

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



**Gambar 3.21** Postur dengan *Display Segments*



**Gambar 3.22** Postur dengan *Show Markers*

### 3.2.3 Membuat Manekin (*Virtual Human*)

Setelah postur tubuh *T-pose* telah dimasukkan, maka langkah selanjutnya adalah membuat manekin (*virtual human*). Membuat manekin akan berdasarkan data antropometri mahasiswa yang sudah ada.

Manekin pada *software* Jack 6.1 terdiri dari 71 segmen, 69 persendian, serta 135 derajat kebebasan. Dalam mendefinisikan bentuk dan ukuran dimensi tubuh manekin manusia, *software* Jack 6.1 menyediakan *database* antropometri yang mengacu pada ANSUR (*Army Natick Survey User Requirement*) sebagai *default*. Namun demikian *software* Jack 6.1 juga menyediakan menu tersendiri yang memungkinkan pengguna untuk membuat manekin dengan data antropometri tertentu.

Manekin pada penelitian ini menggunakan manekin *High Resolution Man*. Maka secara otomatis manekin manusia akan muncul pada lingkungan virtual. Setelah itu manekin tersebut diubah ukuran tubuhnya sehingga sesuai dengan data antropometri yang digunakan.

Ada dua cara memasukkan data antropometri pada manekin. Cara pertama adalah *basic scaling* dan yang kedua adalah *advanced scaling*. Metode *basic*

*scaling* adalah dengan cara memasukkan nilai tinggi badan dan berat badan yang dimiliki ke dalam form isian yang tersedia tampilan menu.

Selain dengan metode *basic scaling*, *software* Jack 6.1 juga menyediakan metode *advanced scaling* dalam mendefinisikan dimensi dan bentuk tubuh manekin. Perbedaannya bila dibandingkan dengan *basic scaling* adalah *advanced scaling* memungkinkan pengguna untuk memasukkan data ukuran tubuh secara lebih detail, seperti tampilan yang tercantum pada gambar 3.23.

Manekin pada simulasi ini dibuat dengan cara *basic scaling*, yaitu dengan memasukkan nilai tinggi badan dan berat badan. Nilai tinggi dan berat badan untuk persentil 5 adalah 159,44 cm dan 48,32 kg. Sedangkan untuk persentil 95 memiliki tinggi 176 cm dan 80 kg. Kedua persentil tersebut berdasarkan data antropometri mahasiswa yang sudah dikumpulkan. Pemilihan persentil 5 dan 95 sebagai data antropometri yang dimasukkan dilakukan dengan pertimbangan bahwa desain untuk mengemudikan sebuah kendaraan erat kaitannya dengan masalah meraih (*reach*). Dengan demikian, pemilihan persentil 5 dan 95 dilakukan untuk mengatasi kesulitan peralihan kemudi untuk manusia dengan ukuran tubuh yang ekstrem maksimal dan ekstrem minimal. Setelah dilakukan perubahan pada antropometri manekin maka manekin akan memiliki bentuk dan dimensi tubuh yang lengkap dan sesuai karena kemampuan *software* Jack 6.1 dalam memprediksi ukuran tubuh manusia seutuhnya secara regresi berdasarkan tinggi badan dan berat badan dengan mengacu pada *database* antropometri yang dimiliki oleh *software* Jack 6.1.

#### 3.2.4 Menyatukan Manekin dengan Data Postur Statis Manusia

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

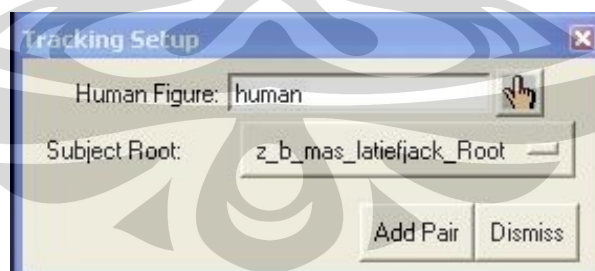
Manekin akan otomatis mengikuti pose huruf T sesuai segmen dengan menekan *Capture T-pose Offset* pada *tab Subject* menu modul Vicon. Pose T tersebut akan mengunci pada manekin dengan menekan *Constraint*. Setelah



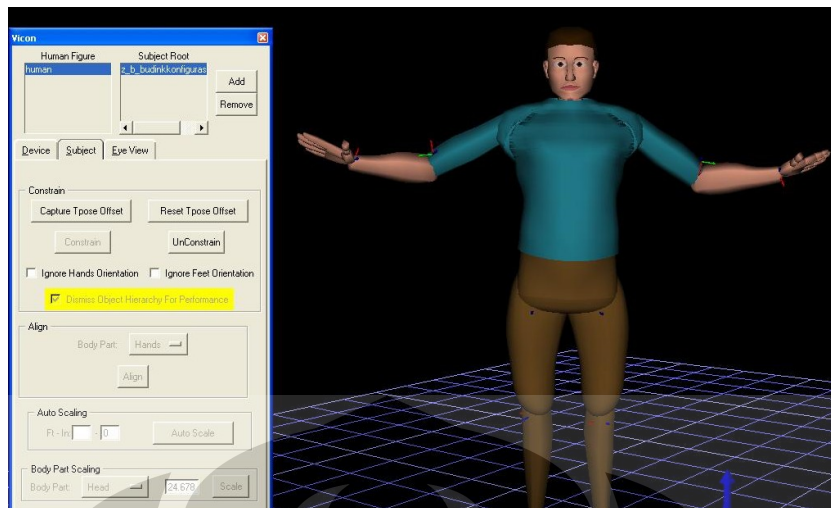
kembali ke *tab Device* dan menekan *Start*, maka manekin akan mengikuti gerakan-gerakan sesuai yang diputar pada Vicon Nexus.



**Gambar 3.23** Manekin High Resolution Male sesuai Persentil 95



**Gambar 3.24** Menu *Add Pair*



**Gambar 3.25** Manekin yang Telah Terkunci pada Segmen

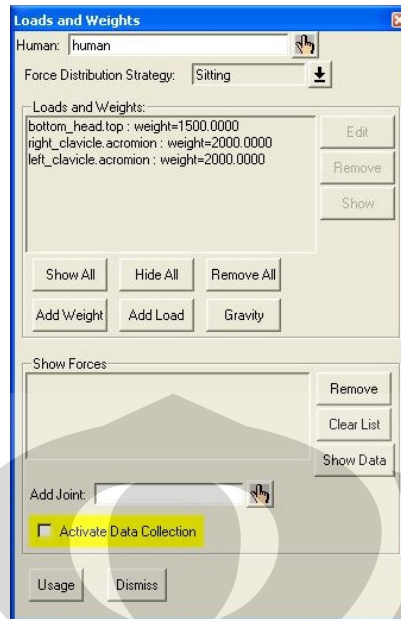
### 3.2.5 Memberikan Beban (Weights)

Beban diberikan pada bagian kepala dan bahu manekin. Beban yang diberikan pada kepala berupa beban helm yang dipakai pengendara ketika mengendarai sepeda motor. Beban juga diberikan pada bagian bahu sebesar 4 kg dan terdistribusi merata di kedua bahu manekin. Beban pada bahu tersebut dianggap sebagai representasi beban tas ransel yang dibawa oleh pengendara sepeda motor pria.

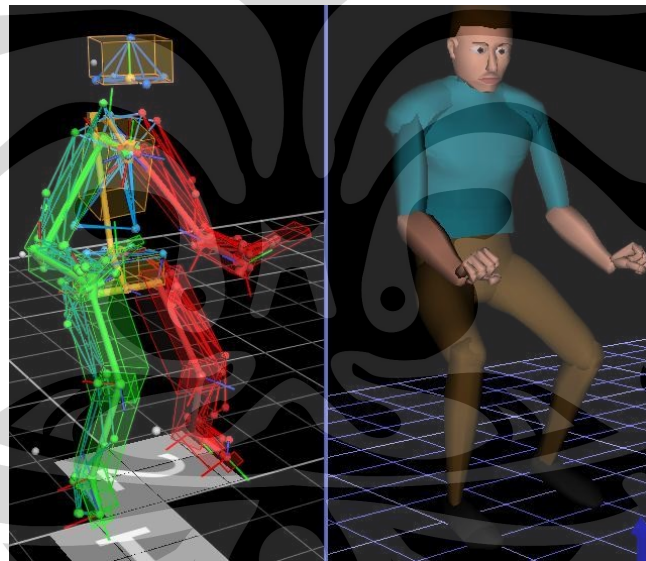
Pemberian beban pada kedua bagian tersebut dilakukan melalui modul *LoadsAndWeights*. Karena postur pengendara sepeda motor merupakan postur duduk, maka dipilih *force sitribution strategy* “*Sitting*” sehingga distribusi gaya terpusat pada tubuh bagian pinggul.

### 3.2.6 Menjalankan Simulasi dalam *Virtual Environment*

Simulasi dimulai membuka data gerakan yang akan dijalankan pada *Data Management Vicon Nexus*. Setelah dibuka, pipeline *Fit Subject Motion* dijalankan dan data gerakan juga dijalankan sehingga manekin pada Jack akan mengikuti gerakan tersebut.



**Gambar 3.26** Modul Loads And Weights setelah Beban Dimasukkan

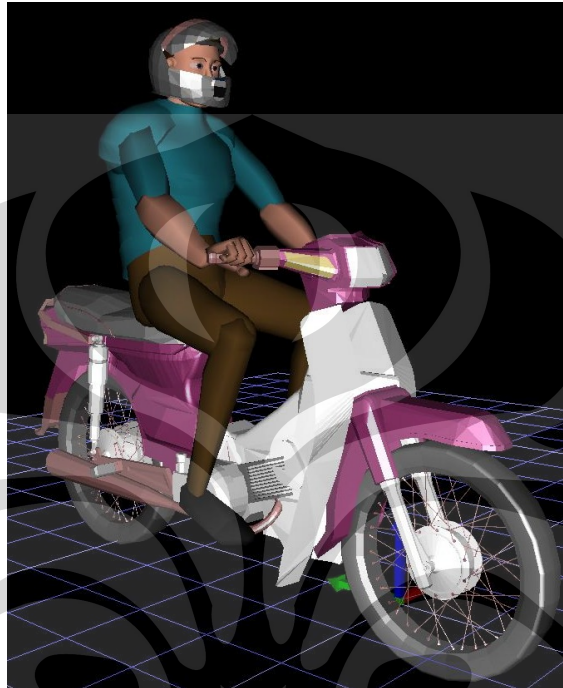


**Gambar 3.27** Manekin Mengikuti Gerakan Sebenarnya

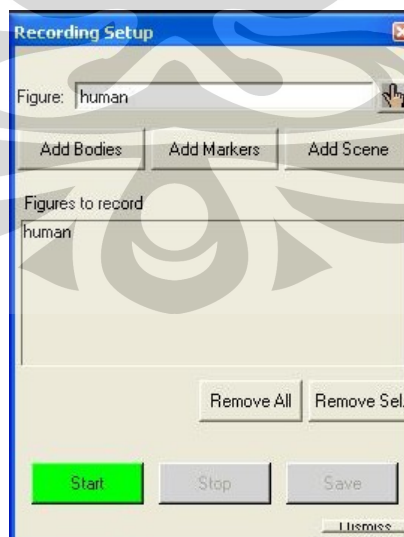
Selanjutnya dimasukkan objek sepeda motor Honda Supra X 125 dan helm ke dalam *virtual environment*. Kedua objek tersebut diposisikan seperti keadaan sebenarnya dan kemudian dikunci sehingga akan mengikuti gerakan manekin.

Simulasi secara *online* antara Vicon Nexus dan Jack telah dilakukan. Selanjutnya agar mempermudah menganalisis gerakan tersebut, maka simulasi *online* ini disimpan dalam bentuk animasi dengan modul *Recording*. Simulasi

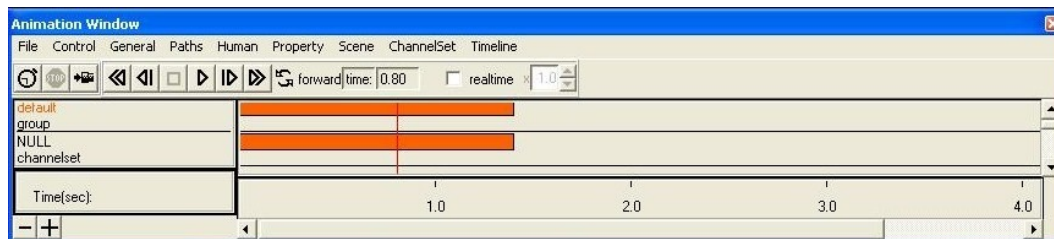
tersebut akan tersimpan dalam bentuk *virtual environment* dan *channelset*. *Channelset* merupakan animasi yang secara otomatis terbuat dari gerakan-gerakan manekin tersebut. Simulasi yang telah disimpan dapat diputar kembali lewat modul *Playback* tanpa harus online dengan *software* Vicon Nexus.



**Gambar 3.28** Objek Sepeda Motor dan Helm pada Manekin



**Gambar 3.29** Modul *Recording*



**Gambar 3.30** Tampilan *Channelset* pada *Animation Window*

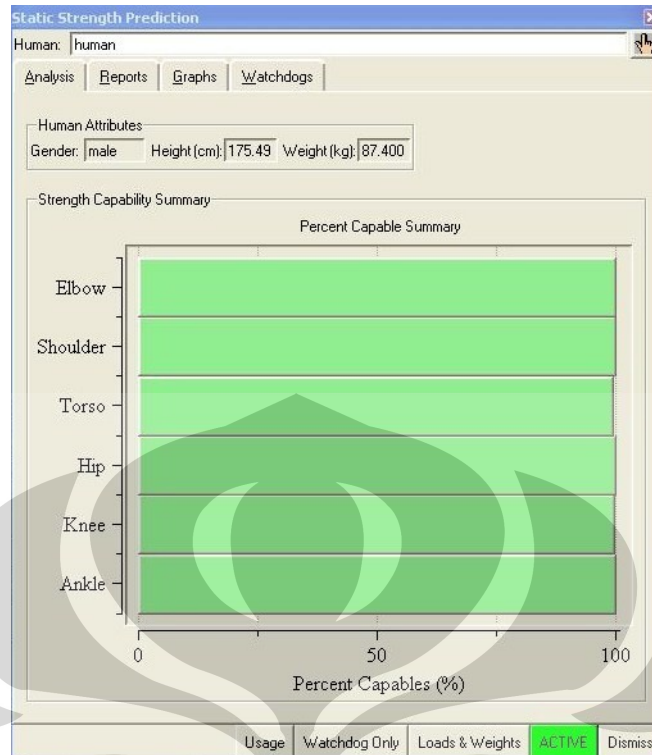
### 3.2.7 Menganalisis Kinerja Manekin

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

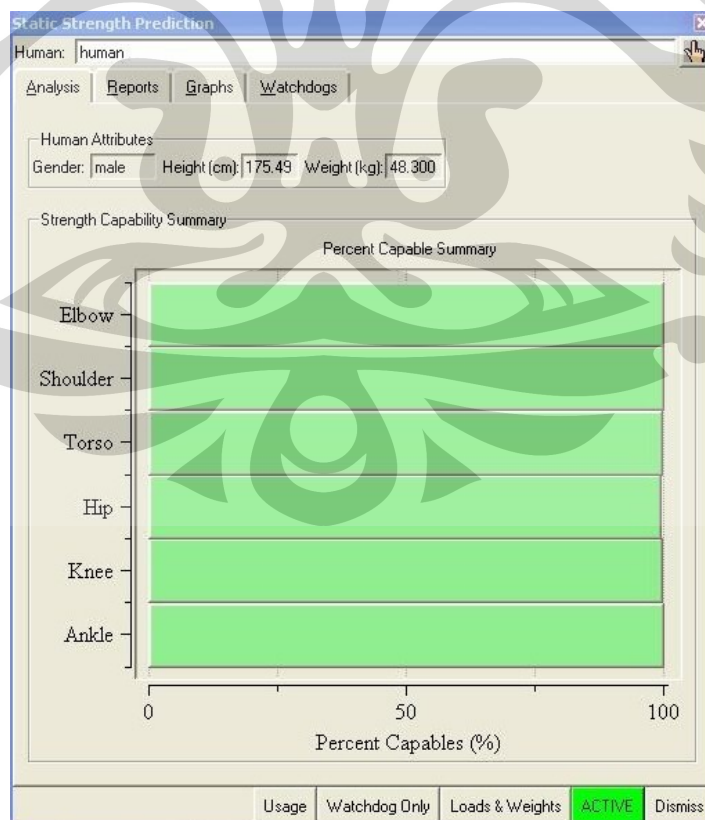
Dari hasil *Task Analysis Toolkits* untuk konfigurasi, diperoleh nilai seperti yang terlihat pada Tabel 3.4 di bawah ini. Gambar 3.31 sampai dengan Gambar 3.38 merupakan tampilan keluaran *Task Analysis Toolkits* (TAT) untuk konfigurasi 1.

**Tabel 3.4** Rekapitulasi Keluaran Jack TAT untuk Konfigurasi 1

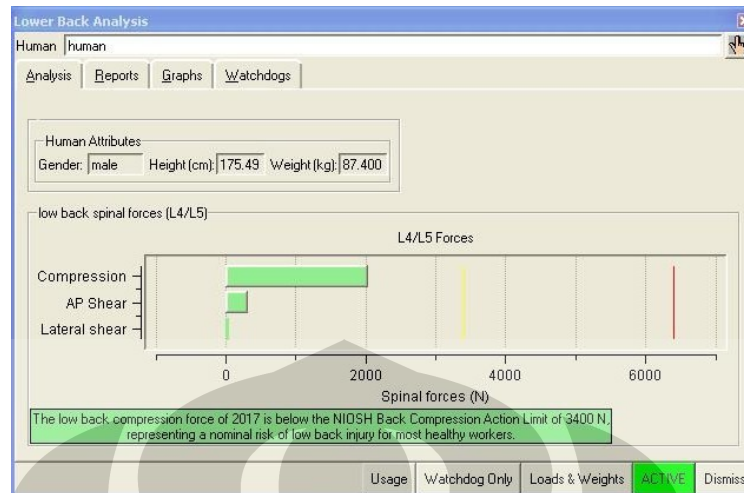
Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
95	2017	3	7	2,76
5	991	3	6	2,26



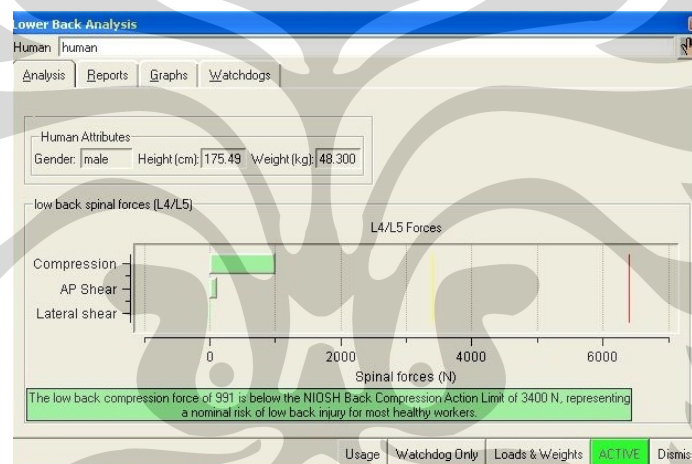
**Gambar 3.31** Grafik Hasil SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 95



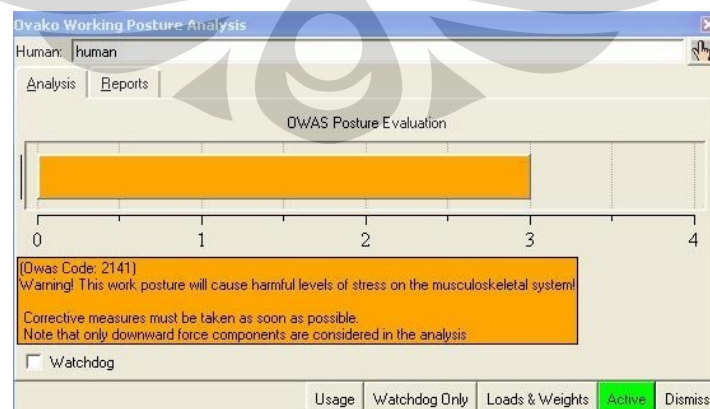
**Gambar 3.32** Grafik Hasil SSP Konfigurasi 1 pada Persentil 5



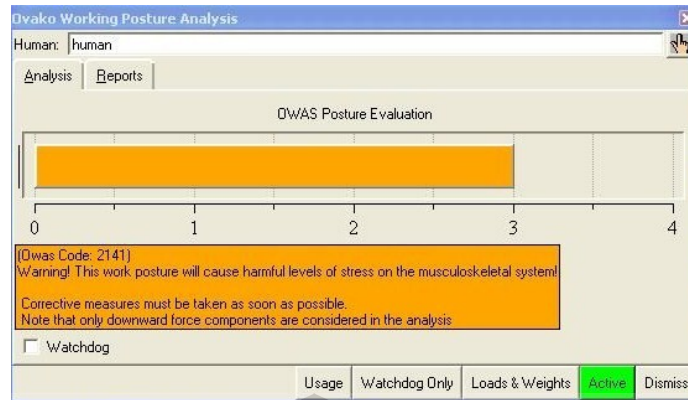
**Gambar 3.33** Grafik Hasil LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 95



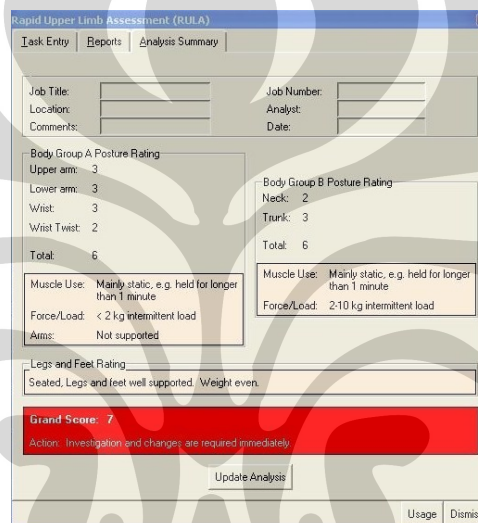
**Gambar 3.34** Grafik Hasil LBA Konfigurasi 1 pada Persentil 5



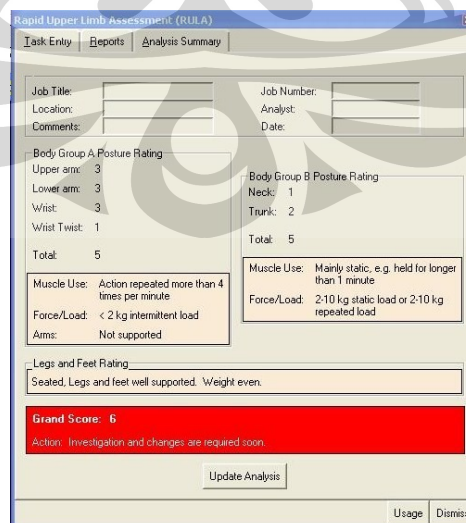
**Gambar 3.35** Grafik Hasil OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 95



**Gambar 3.36** Grafik Hasil OWAS Konfigurasi 1 pada Persentil 5



**Gambar 3.37** Grafik Hasil RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 95



**Gambar 3.38** Grafik Hasil RULA Konfigurasi 1 pada Persentil 5



### 3.2.8 Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Setelah didapat keluaran *Task Analysis Toolkits*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). Hanya nilai paling kritis (paling membahayakan) yang akan dimasukkan dalam perhitungan ini. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan untuk mengevaluasi postur dan gerakan paling membahayakan yang mungkin terjadi pada saat manusia mengendarai sepeda motor Honda Supra X 125 berdasarkan simulasi dalam *virtual environment* yang telah dibuat. Dengan memfokuskan analisis pada titik kritis, maka dengan begitu hasil analisis terhadap simulasi dapat mengukur resiko terburuk yang dialami oleh pengendara ditinjau dari aspek ergonominya. Sebagai contoh, tahapan perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 1 (aktual) pada manekin persentil 5 dan ke-95 menurut persamaan 2.4 dapat dijelaskan sebagai berikut.

Nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 95 adalah

$$\begin{aligned} PEI &= 2017 N/3400N + 3/4 + 7/7 \cdot 1,42 \\ &= 2,763 \end{aligned}$$

Nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk persentil 55 adalah

$$\begin{aligned} PEI &= 991 N/3400N + 3/4 + 6/7 \cdot 1,42 \\ &= 2,258 \end{aligned}$$

Nilai PEI ini selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai PEI untuk konfigurasi lainnya. Setelah itu akan diambil konfigurasi yang memiliki nilai PEI terkecil sebagai dasar pertimbangan dalam membuat rekomendasi desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang ergonomis.

### 3.3 Perancangan Konfigurasi Model

Perancangan konfigurasi model diperlukan untuk menentukan desain sepeda motor Honda Supra X 125 seperti apa yang lebih ergonomis berdasarkan nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI dari masing-masing konfigurasi nantinya akan dibandingkan satu sama lain, lalu dicari konfigurasi yang memiliki nilai PEI terkecil.

Perancangan konfigurasi ini dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang sudah ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan ada

dua, yaitu posisi duduk dan posisi pijakan kaki dimana setiap variabel mempunyai tiga level nilai (kombinasi).

Penentuan level posisi duduk dan posisi pijakan kaki ini dilakukan dengan mengacu pada data spesifikasi sepeda motor Honda Supra X 125 yang telah ada. Pada desain aktual sepeda motor Honda Supra X 125 terdapat baut di sekitar posisi *footstep* aktual yang memungkinkan produsen memindahkan posisi *footstep* pada baut tersebut dan tidak merubah desain secara radikal. Konfigurasi yang akan dibuat nantinya merupakan hasil kombinasi antara posisi *footstep* dan posisi duduk untuk persentil 5 dan 95. Berikut adalah tabel konfigurasi desain yang akan dibuat:

**Tabel 3.5** Konfigurasi Redesain yang Akan Dibuat

Konfigurasi	Posisi Pijakan Kaki	Posisi Duduk	Persentil	Keterangan
1	Aktual	Aktual	5	Aktual
	Aktual	Aktual	95	
2	13 cm ke depan	15 cm ke depan	5	Redesain
	13 cm ke depan	15 cm ke depan	95	
3	13 cm ke depan	Aktual	5	
	13 cm ke depan	Aktual	95	
4	13 cm ke depan	15 cm ke belakang	5	
	13 cm ke depan	15 cm ke belakang	95	
5	Aktual	15 cm ke depan	5	
	Aktual	15 cm ke depan	95	
6	Aktual	15 cm ke belakang	5	
	Aktual	15 cm ke belakang	95	
7	13 cm ke belakang	15 cm ke depan	5	
	13 cm ke belakang	15 cm ke depan	95	
8	13 cm ke belakang	Aktual	5	
	13 cm ke belakang	Aktual	95	
9	13 cm ke belakang	15 cm ke belakang	5	
	13 cm ke belakang	15 cm ke belakang	95	

Keterangan: jarak perpindahan diukur terhadap posisi aktualnya

### 3.4 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat berhasil disimulasikan. Sementara validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi model bernilai tepat. Dengan kata lain,

verifikasi model lebih berorientasi pada proses yang dapat berlangsung, sedangkan validasi model lebih berorientasi pada hasil.

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

Sedangkan validasi model dilakukan dengan cara merekayasa beban pada punggung yang melebihi nilai normal. Jika pada kondisi aktual, beban angkut pada punggung memiliki berat 4 kg (massa rata-rata tas punggung). Maka pada saat validasi model, beban angkut dinaikkan menjadi 10 kg (masing-masing 5 kg pada bahu kanan dan kiri) dan 20 kg (masing-masing 10 kg untuk bahu bagian kanan dan kiri). Penambahan beban pada bahu seharusnya mempengaruhi nilai LBA yang diperoleh. Semakin berat beban yang dipikul bahu, maka semakin besar pula nilai LBA yang akan diperoleh. Jika hubungan berbanding lurus ini terjadi, maka dapat dikatakan model ini valid.

Validasi dilakukan terhadap keadaan aktual. Dalam keadaan normal (beban 4 kg), nilai LBA untuk persentil 5 diperoleh sebesar 991 N. Sedangkan ketika beban ditambah menjadi 10 kg dan 20 kg, maka nilai LBA yang diperoleh berturut-turut menjadi 1197 N dan 1410 N. Dengan demikian, model ini bisa dikatakan valid.

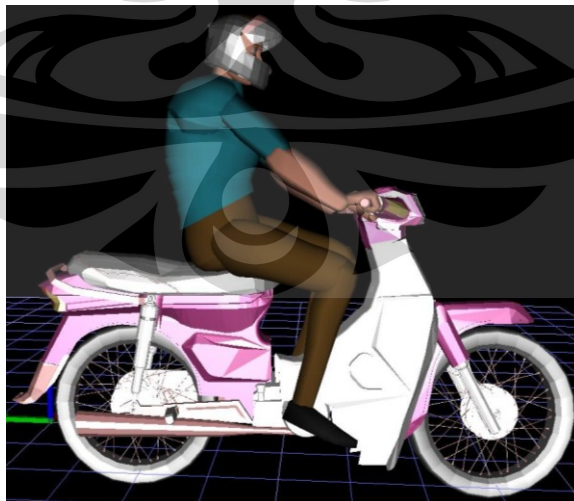
## BAB 4

### ANALISIS

Bab keempat ini membahas analisis ergonomi desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang digunakan saat ini dan beberapa konfigurasi desain yang diusulkan dengan mengacu pada hasil dari *Task Analysis Toolkits* yang terdapat dalam *software* Jack 6.1. Semua konfigurasi desain yang ada akan dihitung besar nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) dan dibandingkan satu sama lain untuk mendapatkan rekomendasi desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang paling ergonomis bagi pengendaranya khususnya pengendara pria. Dalam bab ini pula akan dilakukan perbandingan nilai PEI untuk pengendara pria dan pengendara wanita. Pada bagian akhir bab ini, konfigurasi-konfigurasi yang paling optimal ditetapkan. Berdasarkan analisis tersebut, maka kesimpulan akhir dapat ditarik.

#### 4.1 Analisis Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125

Desain aktual merupakan desain dalam kondisi yang sebenarnya di lapangan. Desain aktual sepeda motor Honda Supra X 125 terlihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Analisis desain aktual sepeda motor Honda Supra X 125 dijabarkan pada pembahasan berikut.



**Gambar 4.1** Manekin Persentil 95 Mengendarai Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125



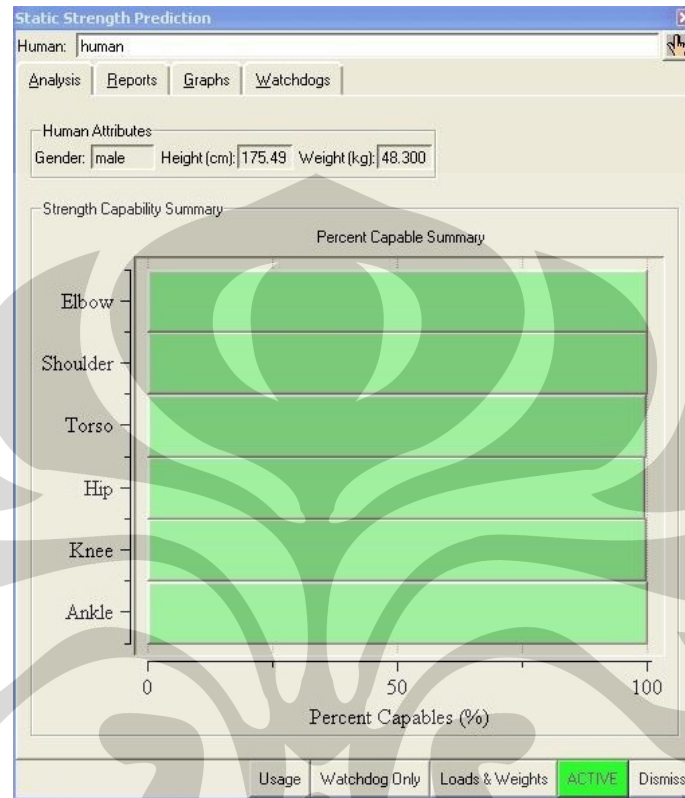
**Gambar 4.2** Manekin Persentil 5 Mengendarai Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125

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

*Analisis Static Strength Prediction* dilakukan sebagai tahap awal sebelum dilakukan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). Tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk melihat berapa persentase populasi manusia yang memiliki kapabilitas untuk melakukan postur atau gerakan yang disimulasikan. 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*), serta pergelangan kaki (*ankle*).

Jika diperhatikan hasil yang diperoleh dari *Task Analysis Toolkits* untuk konfigurasi 1 pada persentil 5 maupun ke-95 memiliki tingkat kapabilitas di atas 90 %. Dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3, bahwa warna hijau pada grafik menunjukkan bahwa tingkat kapabilitas untuk konfigurasi aktual ini masih dalam batas aman. Dari Tabel 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa hampir keenam bagian tubuh kanan maupun kiri memiliki tingkat kapabilitas 100%, kecuali pada bagian pinggul kiri dan pinggul kanan untuk persentil 5 dan pinggul kanan untuk persentil 95 yang memiliki tingkat kapabilitas 99 %. Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa 100% populasi pengendara pria memiliki kapabilitas

untuk melakukan gerakan sesuai dengan postur mengendarai sepeda motor Honda Supra X 125 dengan desain aktual ini (konfigurasi 1), baik untuk persentil 5 maupun untuk persentil 95.

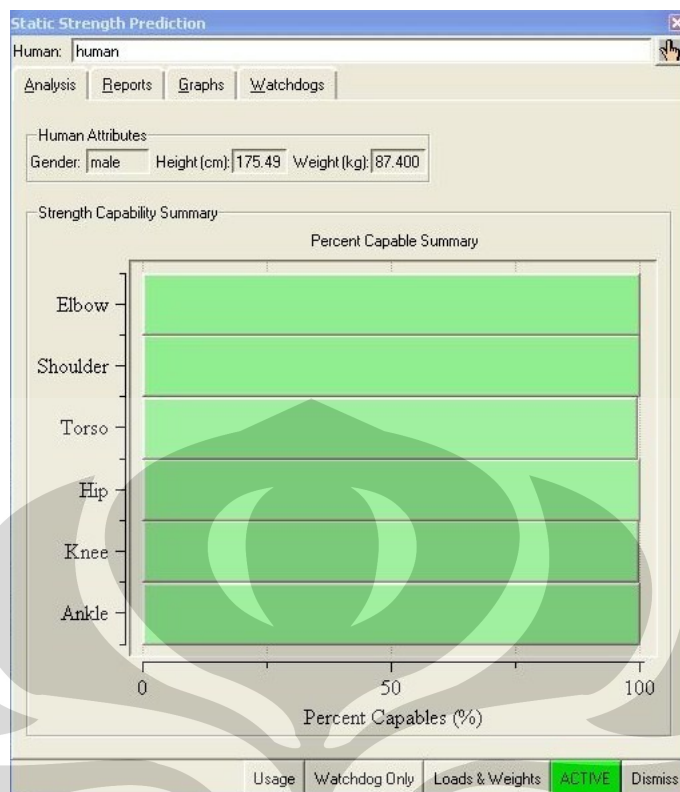


**Gambar 4.3** Grafik SSP Konfigurasi 1 Persentil 5

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 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	-1	FLEXN	66	16	100	-1	FLEXN	69	17	100
	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	75	18	100	-3	ABDUCT	78	19	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-0	--	101	27	100	-1	--	106	29	100
	Humeral Rot	-0	--	41	9	100	-0	--	41	9	100
Trunk	Flex/Ext	-28	EXTEN	259	81	100					
	Lateral Bending	0	--	306	69	100					
	Rotation	0	--	99	26	100					
	Hip	-0	--	196	79	99	-0	--	211	85	99
	Knee	0	--	106	37	100	0	--	169	59	100
	Ankle	0	--	78	26	100	0	--	133	44	100



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

**Tabel 4.2** Rekapitulasi Kapabilitas SSP Konfigurasi 1 Persentil 95

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-2	FLEXN	56	14	100	-1	FLEXN	61	15	100
	Abduc/Adduc	-7	ABDUCT	76	19	100	-7	ABDUCT	81	20	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-2	FORWARD	97	26	100	0	--	80	23	100
	Humeral Rot	-0	--	41	9	100	-0	--	41	9	100
Trunk	Flex/Ext	-45	EXTEN	323	102	100					
	Lateral Bending	-9	RIGHT	438	95	100					
	Rotation	7	CCW	98	26	100					
	Hip	0	--	221	60	100	-0	--	202	81	99
	Knee	0	--	159	56	100	0	--	169	59	100
	Ankle	0	--	82	27	100	0	--	128	42	100

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

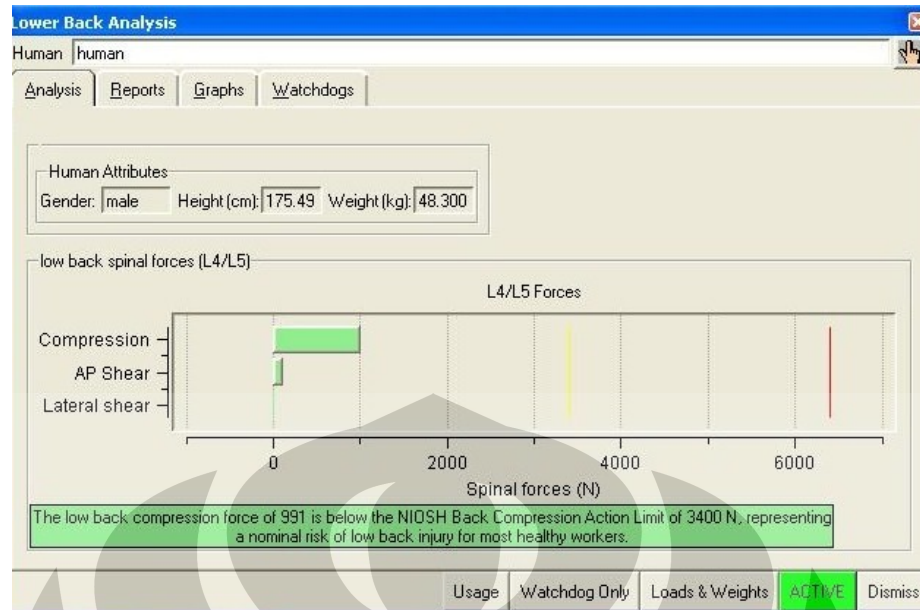
#### 4.1.2 Hasil *Lower Back Analysis* (LBA)

*Low Back Analysis* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan (*compression*) yang bekerja pada bagian tulang belakang manusia, dalam berbagai macam postur kerja dan kondisi beban. Secara rinci, LBA menghitung tekanan pada *vertebral disc* L4/L5 dan membandingkan pada batasan tekanan yang diizinkan pada standar NIOSH, yaitu 3400 N. Selain menyediakan informasi mengenai tekanan pada *vertebral disc* L4/L5, hasil analisis metode LBA juga memberikan informasi mengenai momen reaksi (torsi) sagital, lateral, dan aksial yang terjadi pada *vertebral disc* L4/L5. Selain itu, informasi mengenai tingkat aktivitas otot-otot batang tubuh yang digunakan dalam menyeimbangkan momen spinal juga dapat diperoleh.

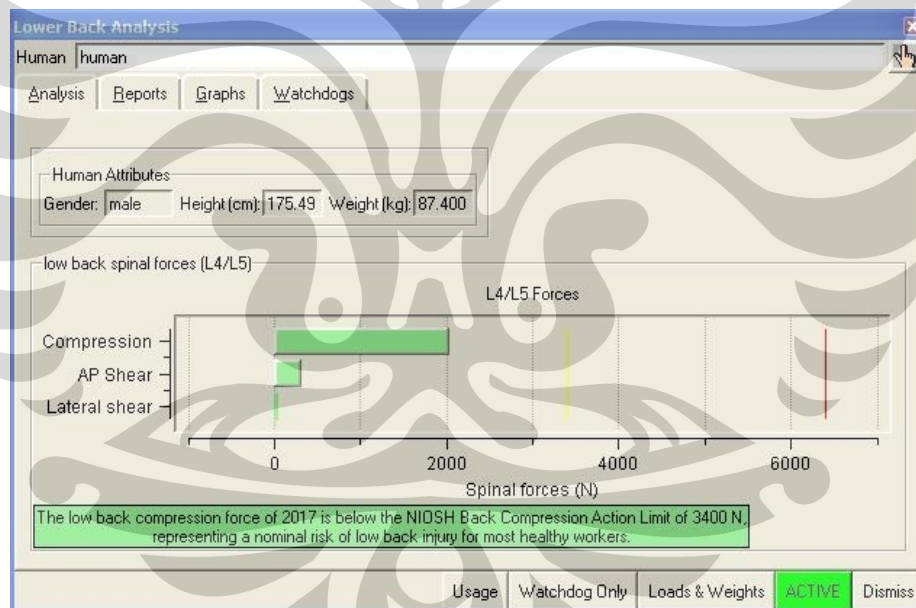
Sama seperti halnya dengan SSP, nilai LBA yang perlu dicatat adalah nilai LBA pada saat manekin mengalami kondisi paling membahayakan ketika simulasi dijalankan. Untuk persentil 5, nilai LBA mengalami perubahan nilai selama simulasi dijalankan. Hal tersebut juga terjadi pada persentil 95, nilai LBA mengalami perubahan ketika simulasi dijalankan. Perubahan tersebut dikarenakan pada postur dan gerakan manekin berubah-ubah tiap *frame* mengikuti gerakan aslinya sehingga hanya nilai LBA yang paling tinggi yang dicatat.

Gambar 4.5 dan 4.6 di atas merupakan hasil nilai LBA yang diperoleh untuk konfigurasi desain aktual sepeda motor Honda Supra X 125. Gambar 4.5 merupakan nilai LBA untuk persentil 5 dan Gambar 4.6 merupakan nilai LBA untuk persentil 95. Dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk konfigurasi 1 pada persentil 5 maupun ke-95, resiko terjadinya cedera pada tulang belakang relatif kecil. Hal ini dikarenakan nilai *Lower Back Compression Force* yang masih di bawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH, yaitu 3400 N. Seperti yang ditunjukkan pada grafik, nilai LBA untuk konfigurasi 1 pada persentil 5 dan ke-95 berturut-turut menunjukkan angka 991 N dan 2017 N (lebih kecil dibandingkan *Compression Action Limit* menurut standar NIOSH)





**Gambar 4.5** Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 5



**Gambar 4.6** Grafik LBA Konfigurasi 1 Persentil 95

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

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

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

Evaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur kerja dinyatakan dalam bentuk kode OWAS. Kode OWAS terdiri dari empat digit angka yang masing-masing angka menggambarkan tingkat kenyamanan punggung (*back*), lengan (*arm*), kaki (*leg*), dan beban angkut (*load handle*). Deskripsi kode OWAS lebih rinci diterangkan pada Tabel 4.3 di bawah ini.

**Tabel 4.3** Deskripsi Kode OWAS

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

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

Selanjutnya kombinasi dari kode OWAS tersebut akan menghasilkan suatu nilai total yang menunjukkan tingkat urgensi pengambilan suatu aksi perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera pada pekerja. Adapun kategori nilai OWAS total yang menunjukkan tingkat urgensi perlunya dilakukan perbaikan dapat dilihat pada tabel 4.4 di atas. Gambar 4.7 di bawah ini menunjukkan hasil OWAS yang didapat dari simulasi menggunakan *software* Jack 6.1 untuk desain aktual sepeda motor Honda Supra X 125. Dari hasil simulasi yang telah dijalankan, ternyata tidak terdapat perbedaan nilai OWAS antara persentil 5 dan

persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwa faktor ukuran tubuh pengendara tidak mempengaruhi nilai OWAS yang didapat.

**Tabel 4.4** Kategori Tingkat Urgensi Perbaikan pada OWAS

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

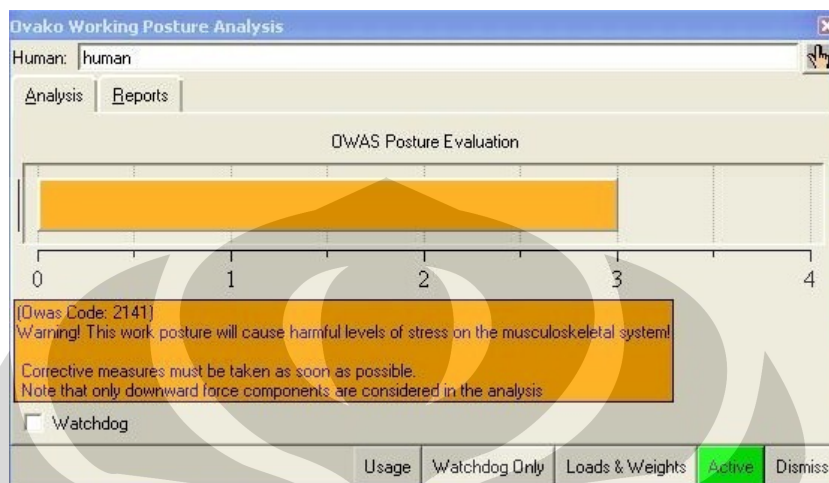
Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

Sama halnya dengan SSP dan LBA, nilai OWAS yang dicatat dan dimasukkan ke dalam perhitungan PEI nanti adalah nilai OWAS paling kritis (memiliki nilai paling besar) yang terjadi selama simulasi dijalankan. Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai OWAS yang paling kritis untuk persentil 5 dan 95 bernilai 3. 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.

Sedangkan bila ditinjau dari segi kode OWAS, dari grafik terlihat bahwa kode OWAS yang diperoleh adalah 2141. Berdasarkan Tabel 4.2, maka kode OWAS tersebut menunjukkan bahwa:

1. Postur bagian punggung masuk dalam kategori nilai 2, yang menunjukkan bahwa postur punggung dalam keadaan membungkuk.

- Postur bagian lengan bernilai 1, yang menunjukkan bahwa postur kedua lengan berada di bawah bahu. Postur ini merupakan postur paling ergonomis karena memiliki resiko cedera yang paling kecil.



**Gambar 4.7** Hasil OWAS Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125

- Postur bagian kaki memiliki nilai 4, yang menunjukkan bahwa kedua kaki dalam kondisi memiliki tumpuan (bertumpu pada pijakan kaki), dan postur lutut dalam keadaan bengkok.
- Karena beban yang diberikan pada bagian pundak dan kepala untuk mensimulasikan pengendara yang membawa tas punggung dan memakai helm memiliki total massa 5,5 kg (<10 kg), maka nilai untuk beban ini masuk dalam kategori 1.

Selanjutnya, nilai OWAS ini akan dimasukkan ke dalam perhitungan nilai PEI yang nantinya akan dijadikan sebagai pembandingan terhadap konfigurasi desain sepeda motor Honda Supra X 125 lainnya.

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

*Rapid Upper Limb Assesment* 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. RULA menilai sebuah kegiatan dengan mengindikasikan tingkat intervensi yang harus dilakukan untuk mengurangi

resiko cedera pada tubuh bagian atas. Nilai yang dihasilkan RULA adalah sebagai berikut:

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

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

Berbeda dengan perhitungan OWAS ketika simulasi dijalankan, ternyata terjadi perbedaan nilai RULA antara persentil 5 dan persentil 95. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran tubuh pengendara dapat mempengaruhi tingkat kenyamanan postur menurut analisis RULA.

Tidak hanya itu, selama simulasi dijalankan ternyata nilai RULA yang diperoleh selalu bernilai tetap untuk setiap persentil. Hal ini dapat diterima mengingat RULA hanya mengevaluasi postur tubuh bagian atas yang meliputi lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan, leher dan batang tubuh yang relatif statis selama aktivitas mengendarai sepeda motor. Gambar 4.8 dan 4.9 di bawah ini merupakan hasil RULA untuk desain aktual dari sepeda motor Honda Supra X 125 (konfigurasi 1).

Dari gambar 4.8 dan 4.9 dapat dilihat bahwa nilai RULA untuk konfigurasi 1 bernilai 6 dan 7 untuk persentil 5 dan ke-95 berturut-turut. Dengan demikian, dengan besarnya nilai RULA yang mendekati nilai maksimum tersebut,

maka perlu dilakukan penelusuran lebih lanjut terhadap kemungkinan resiko cedera yang terjadi.

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: 1  
 Total: 5

Body Group B Posture Rating  
 Neck: 1  
 Trunk: 2  
 Total: 5

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute  
 Force/Load: < 2 kg intermittent load  
 Arms: Not supported

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute  
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load

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

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

Update Analysis

Usage Dismiss

**Gambar 4.8** Hasil RULA Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 pada Persentil 5

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating  
 Upper arm: 3  
 Lower arm: 3  
 Wrist: 3  
 Wrist Twist: 2  
 Total: 6

Body Group B Posture Rating  
 Neck: 2  
 Trunk: 3  
 Total: 6

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute  
 Force/Load: < 2 kg intermittent load  
 Arms: Not supported

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute  
 Force/Load: 2-10 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 4.9** Hasil RULA Desain Aktual Sepeda motor Honda Supra X 125 pada Persentil 95

Selain itu, perbaikan desain mungkin dibutuhkan untuk mengurangi resiko cedera yang terjadi. Nilai total RULA yang didapat merupakan kontribusi dari tingkat kenyamanan yang dialami oleh bagian tubuh yang dievaluasi.

Bila diperhatikan lebih lanjut, postur manekin persentil 5 pada konfigurasi 1 ini menghasilkan *upper arm* bernilai 3, *lower arm* bernilai 3, *wrist* bernilai 3, dan *wrist twist* bernilai 1, *neck* bernilai 1 dan *trunk* bernilai 2. Nilai-nilai tersebut muncul dari kriteria yang sudah ditentukan. Sedangkan postur manekin persentil 95 pada konfigurasi 1 menghasilkan *upper arm* bernilai 3, *lower arm* bernilai 3, *wrist* bernilai 3, dan *wrist twist* bernilai 2, *neck* bernilai 2 dan *trunk* bernilai 3.

Selain itu, dalam mengevaluasi tubuh bagian atas dengan menggunakan analisis RULA, dimasukkan pula informasi tambahan disamping postur. Informasi tersebut meliputi penggunaan otot (*muscle use*), beban yang diterima dan frekuensinya (*force/load*), serta *legs and feet rating*. Pada simulasi ini, semua konfigurasi memiliki informasi yang sama. Penggunaan otot dimasukkan dalam kategori normal/tidak ada penggunaan yang ekstrim. Kategori pembebanan dijelaskan sebagai berikut.

- <2 kg, *intermitten load* untuk *Body Group A* (karena tidak ada pembebanan)
- <2 kg, *intermitten load* untuk *Body Group B* (memperhitungkan beban helm)
- *Seated, Legs and feet well supported. Weight even.* untuk *legs and feet rating*.

Hal ini dikarenakan pengendara memang melakukannya dalam posisi duduk dengan kedua kaki yang menumpu pada *footstep* dalam aktivitas mengendarai sepeda motor

Gambar 4.10 di bawah ini menunjukkan tampilan *Task Entry* yang berfungsi untuk memasukkan informasi-informasi tersebut di atas.

Selanjutnya nilai RULA yang diperoleh dari simulasi ini bersama-sama dengan nilai LBA, dan OWAS dimasukkan ke dalam perhitungan PEI, untuk kemudian dijadikan sebagai pembanding terhadap konfigurasi sepeda motor Honda Supra X 125 lainnya.

**Gambar 4.10** Task Entry RULA

#### 4.1.5 Rekapitulasi Perhitungan PEI Desain Aktual

Setelah mendapatkan nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PEI sesuai dengan persamaan 2.4. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai PEI untuk konfigurasi 1 (desain aktual) pada persentil 5 dan ke-95 berturut-turut sebesar 2,259 dan 2,763. Nilai PEI ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai PEI untuk konfigurasi lain, untuk kemudian dicari konfigurasi desain yang memiliki nilai PEI terkecil. Nilai PEI yang makin kecil menunjukkan bahwa desain sepeda motor Honda Supra X 125 paling ergonomis. Tabel 4.5 di bawah ini menunjukkan hasil rekapitulasi nilai SSP, LBA, OWAS dan RULA serta perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 1 sepeda motor Honda Supra X 125 untuk persentil 5 dan ke-95.

**Tabel 4.5** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 1

Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA								PEI	
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T			B
5	Ya	991	2141	3	3	3	3	1	5	1	2	5	6	2,259
95	Ya	2017	2141	3	3	3	3	2	6	2	3	6	7	2,763

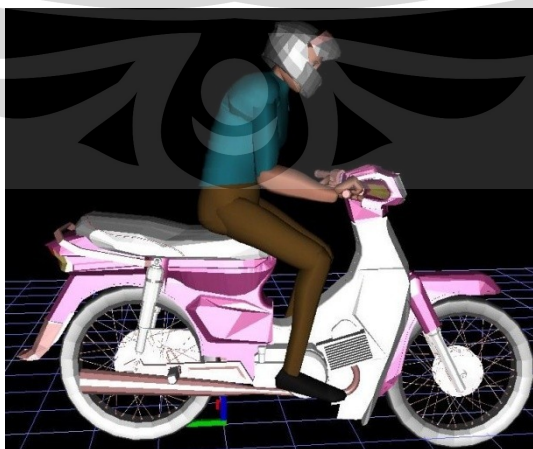


## 4.2 Analisis Rancangan Konfigurasi

Pembuatan konfigurasi desain ulang sepeda motor tipe *cub* dilakukan dengan mengubah posisi *footstep* dan posisi tempat duduk dari desain aktual sepeda motor tipe *cub*. Perubahan yang dilakukan pada posisi *footstep* pada desain aktual berupa penambahan jarak sebesar 13 cm dan pengurangan jarak sebesar 13 cm terhadap posisi *footstep* aktual. Sedangkan perubahan yang dilakukan pada posisi tempat duduk berupa penambahan jarak sebesar 15 cm dan pengurangan jarak sebesar 15 cm terhadap posisi aktual. Konfigurasi desain yang dibuat merupakan kombinasi dari perubahan pada posisi tempat duduk dan pijakan kaki. Setiap konfigurasi yang dibuat akan disimulasikan dalam dua ukuran tubuh mahasiswa Universitas Indonesia, yaitu persentil 5 dan 95. Berikut ini adalah analisis untuk tiap konfigurasi desain ulang sepeda motor Honda Supra X 125 (mulai dari konfigurasi 2 sampai konfigurasi 9).

### 4.2.1 Analisis Rancangan Konfigurasi 2

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 2 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang posisi pijakan kakinya dimajukan 13 cm dan posisi duduknya juga dinajukan 15 cm. Dengan demikian, posisi tubuh bagian atas akan semakin dekat dengan setang dan posisi kaki lebih ke depan daripada konfigurasi 1. Gambar 4.11 dan 4.12 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 2 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.11** Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.12** Rancangan Konfigurasi 2 pada Manekin Persentil 95

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 2 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 2 adalah 1149 N untuk persentil 5 dan 1110 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 2 ini masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3. Pada konfigurasi 2 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.6 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 2 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,102 dan 2,091. Hal ini menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 2 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1).

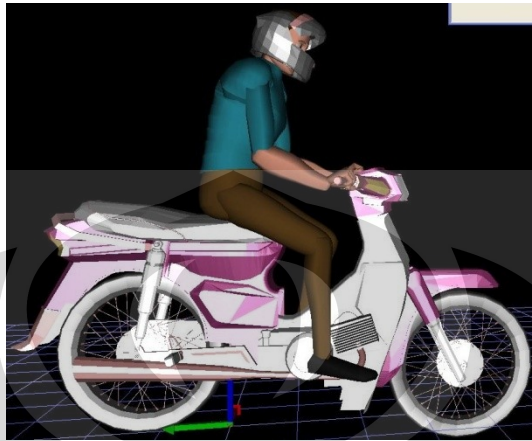
**Tabel 4.6** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 2

Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA								PEI	
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T			B
5	Ya	1149	2141	3	3	3	3	2	7	2	2	2	5	2,102
95	Ya	1110	2141	3	4	3	3	1	7	1	2	2	5	2,091

#### 4.2.2 Analisis Rancangan Konfigurasi 3

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 3 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki posisi pijakan kaki dimajukan 13 cm dengan posisi duduk aktual. Dengan demikian, hanya posisi kaki yang berubah

menjadi lebih ke depan daripada konfigurasi 1. Gambar 4.13 dan 4.14 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 3 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.13** Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.14** Rancangan Konfigurasi 3 pada Manekin Persentil 95

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 3 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 3 adalah 1135 N untuk persentil 5 dan 1084 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 3 ini masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3. Pada konfigurasi 3 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

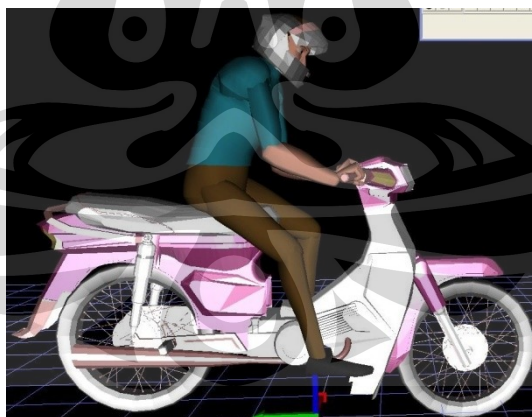
Seperti terlihat pada tabel 4.7 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 3 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,895 dan 2,083. Hal ini menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 3 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1).

**Tabel 4.7** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 3

Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA								PEI	
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T			B
5	Ya	1135	2141	3	3	3	3	2	5	1	3	3	4	1,895
95	Ya	1084	2141	3	4	3	3	1	6	1	2	3	5	2,083

#### 4.2.3 Analisis Rancangan Konfigurasi 4

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 4 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki posisi pijakan kaki dimajukan 13 cm dan posisi duduk dimundurkan 15 cm. Dengan demikian, posisi tubuh bagian atas akan semakin jauh dengan setang dan posisi kaki lebih ke depan daripada konfigurasi 1. Gambar 4.15 dan 4.16 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 4 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.15** Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 5

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 4 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 4 adalah 1379 N untuk persentil 5 dan 1552 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 4 ini bernilai

sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3 hanya untuk persentil 5. Sedangkan untuk persentil 95 nilai OWAS turun menjadi 2. Pada konfigurasi 4 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.



**Gambar 4.16** Rancangan Konfigurasi 4 pada Manekin Persentil 95

Seperti terlihat pada tabel 4.8 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 4 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,764 dan 1,768. Hal ini menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 4 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1).

**Tabel 4.8** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 4

Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA									PEI
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T		B	
5	Ya	1379	2141	3	3	2	2	2	4	1	3	3	3	1,764
95	Ya	1552	2111	2	4	3	3	1	5	1	3	3	4	1,768

#### 4.2.4 Analisis Rancangan Konfigurasi 5

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 5 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki posisi pijakan kaki aktual dan posisi duduk dimajukan 15 cm. Dengan demikian, hanya posisi tubuh bagian atas yang akan semakin dekat dengan setang daripada konfigurasi 1. Gambar 4.17 dan 4.18 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 5 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.17** Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.18** Rancangan Konfigurasi 5 pada Manekin Persentil 95

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 5 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 5 adalah 1243 N untuk persentil 5 dan 1182 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 5 lebih besar daripada konfigurasi satu untuk persentil 5 sebesar 4. Sedangkan nilai OWAS untuk persentil 95 masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3. Pada konfigurasi 5 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.9 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 5 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,38 dan 1,909. Hal ini

menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 5 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1).

**Tabel 4.9** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 5

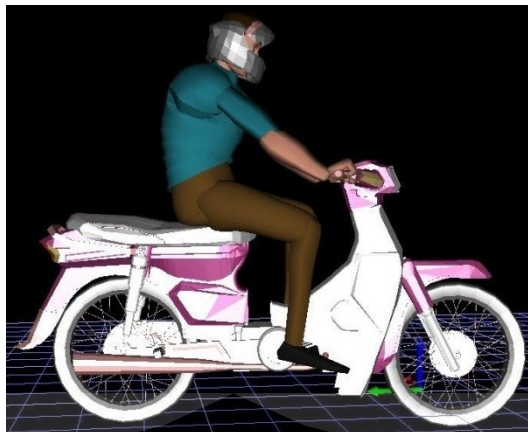
Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA									PEI
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T		B	
5	Ya	1243	4141	4	3	2	3	2	4	1	4	5	5	2,38
95	Ya	1182	2141	3	3	3	3	2	5	1	2	2	4	1,909

#### 4.2.5 Analisis Rancangan Konfigurasi 6

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 6 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki posisi pijakan kaki aktual dan posisi duduk dimundurkan 15 cm. Dengan demikian, hanya posisi tubuh bagian atas yang akan semakin jauh dengan setang daripada konfigurasi 1. Gambar 4.19 dan 4.20 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 6 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.19** Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.20** Rancangan Konfigurasi 6 pada Manekin Persentil 95

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 6 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 6 adalah 1334 N untuk persentil 5 dan 1720 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 6 ini masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3 hanya untuk persentil 5. Sedangkan untuk persentil 95 naik menjadi 4. Pada konfigurasi 6 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.10 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 6 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,157 dan 2,723. Hal ini menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 6 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1) walaupun dengan perbedaan nilai yang tidak signifikan.

**Tabel 4.10** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 6

Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA								PEI	
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T			B
5	Ya	1334	2141	3	3	2	3	2	4	1	4	5	5	2,157
95	Ya	1720	4141	4	4	3	3	2	5	2	4	5	6	2,723

#### 4.2.6 Analisis Rancangan Konfigurasi 7

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 7 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki posisi pijakan kaki dimajukan 13 cm



dan posisi duduk dimundurkan 15 cm. Dengan demikian, posisi tubuh bagian atas akan semakin dekat dengan setang dan posisi kaki lebih menekuk ke belakang daripada konfigurasi 1. Gambar 4.21 dan 4.22 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 7 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.21** Rancangan Konfigurasi 7 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.22** Rancangan Konfigurasi 7 pada Manekin Persentil 95

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 7 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 7 adalah 1256 N untuk persentil 5 dan 1368 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 7 ini bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3. Pada konfigurasi 7 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.11 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 7 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,931 dan 2,369. Hal ini menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 7 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1).

**Tabel 4.11** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 7

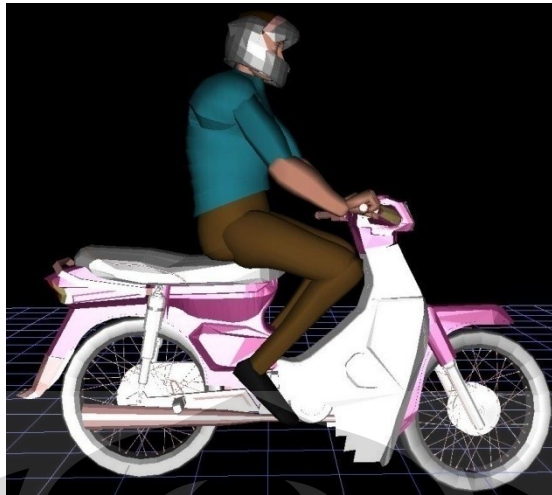
Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA								PEI	
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T			B
5	Ya	1256	2141	3	3	2	3	2	5	1	3	3	4	1,931
95	Ya	1368	2141	3	2	2	3	2	6	1	3	4	6	2,369

#### 4.2.7 Analisis Rancangan Konfigurasi 8

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 8 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki posisi pijakan kaki dimundurkan 13 cm dan posisi duduk aktual. Dengan demikian, hanya posisi kaki lebih menekuk ke belakang daripada konfigurasi 1. Gambar 4.23 dan 4.24 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 8 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.23** Rancangan Konfigurasi 8 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.24** Rancangan Konfigurasi 8 pada Manekin Persentil 95

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 8 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1 hanya untuk persentil 95. Sedangkan nilai RULA konfigurasi 8 untuk persentil 5 sama dengan konfigurasi 1 dengan nilai 6. Sementara itu, nilai LBA pada konfigurasi 8 adalah 1209 N untuk persentil 5 dan 1310 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 8 ini hanya bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3 untuk persentil 95. Sedangkan untuk persentil 5 naik menjadi bernilai 4. Pada konfigurasi 8 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

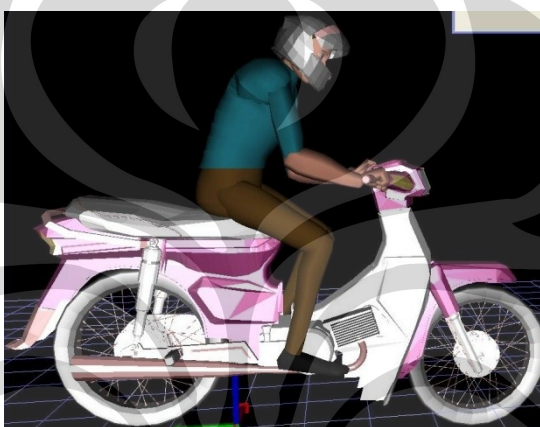
Seperti terlihat pada tabel 4.12 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 8 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 2,573 dan 1,947. Hal ini menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 8 relatif kurang ergonomis untuk manusia dengan persentil 5 dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1). Sedangkan pada persentil 95 akan relatif lebih ergonomis dibandingkan desain aktual.

**Tabel 4.12** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 8

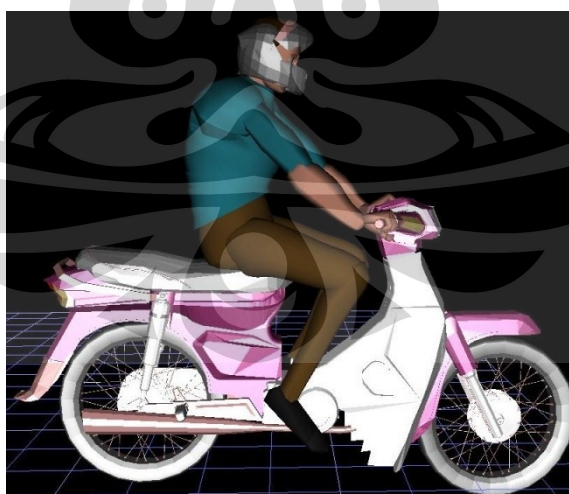
Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA								PEI	
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B			Total		
					UA	LA	W	WT	A	N	T			B
5	Ya	1209	4141	4	3	2	3	2	5	1	4	5	6	2,573
95	Ya	1310	2141	3	3	3	3	2	5	1	2	2	4	1,947

#### 4.2.8 Analisis Rancangan Konfigurasi 9

Sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 9 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki posisi pijakan kaki dimundurkan 13 cm dan posisi duduk dimundurkan 15 cm. Dengan demikian, posisi tubuh bagian atas akan semakin jauh dari setang dan posisi kaki lebih menekuk ke belakang daripada konfigurasi 1. Gambar 4.25 dan 4.26 di bawah ini merupakan penyesuaian desain sepeda motor konfigurasi 9 berdasarkan postur manekin.



**Gambar 4.25** Rancangan Konfigurasi 9 pada Manekin Persentil 5



**Gambar 4.26** Rancangan Konfigurasi 9 pada Manekin Persentil 95

Desain sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 9 ini memiliki nilai RULA yang lebih kecil dengan konfigurasi 1. Sementara itu, nilai LBA pada

konfigurasi 2 adalah 1370 N untuk persentil 5 dan 1628 N untuk persentil 95. Sedangkan nilai OWAS untuk *critical posture* pada konfigurasi 2 ini masih bernilai sama dengan konfigurasi 1 yaitu 3. Pada konfigurasi 2 ini, kapabilitas postur menurut SSP pun masih tetap di atas 90 %, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan PEI.

Seperti terlihat pada tabel 4.13 di bawah ini, nilai PEI untuk konfigurasi 9 pada persentil 5 dan 95 berturut-turut sebesar 1,964 dan 2,04. Hal ini menunjukkan bahwa sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 9 relatif lebih ergonomis dibandingkan dengan desain aktual (konfigurasi 1).

**Tabel 4.13** Rekapitulasi Perhitungan PEI Konfigurasi 9

Persentil	SSP > 90%	LBA (N)	OWAS		RULA								PEI	
			Kode	Nilai	Body Group A				Body Group B					Total
					UA	LA	W	WT	A	N	T	B		
5	Ya	1370	2141	3	3	2	2	2	5	1	3	3	4	1,964
95	Ya	1628	2141	3	4	3	3	1	5	1	3	3	4	2,04

### 4.3 Analisis Perbandingan

Pada bagian ini akan dilakukan analisis perbandingan seputar hasil perhitungan PEI yang diperoleh. Perbandingan yang akan dilakukan adalah perbandingan rekapitulasi nilai PEI seluruh konfigurasi untuk pengendara pria.

#### 4.3.1 Analisis Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

Setelah dilakukan perhitungan nilai PEI untuk seluruh konfigurasi, mulai dari desain aktual yang merupakan konfigurasi 1 sampai dengan redesign sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi 9, maka dapat dibandingkan hasil yang diperoleh satu dengan yang lainnya. Perbandingan ini dilakukan untuk mencari konfigurasi manakah yang memiliki nilai PEI terendah, yang menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut merupakan desain yang paling ergonomis bagi pengendara pria. Selain itu, perbandingan ini juga dilakukan untuk melihat bagaimana karakteristik nilai LBA dan nilai PEI untuk seluruh konfigurasi pada persentil 5 maupun 95.

Perbandingan hanya difokuskan pada nilai LBA dan PEI karena memiliki nilai yang fluktuatif ketika simulasi dijalankan. Sedangkan dari hasil yang

diperoleh pada simulasi menggunakan *software* Jack 6.1, dapat dilihat bahwa nilai SSP dan OWAS memiliki nilai yang relatif tetap untuk seluruh konfigurasi pada persentil 5 maupun 95.

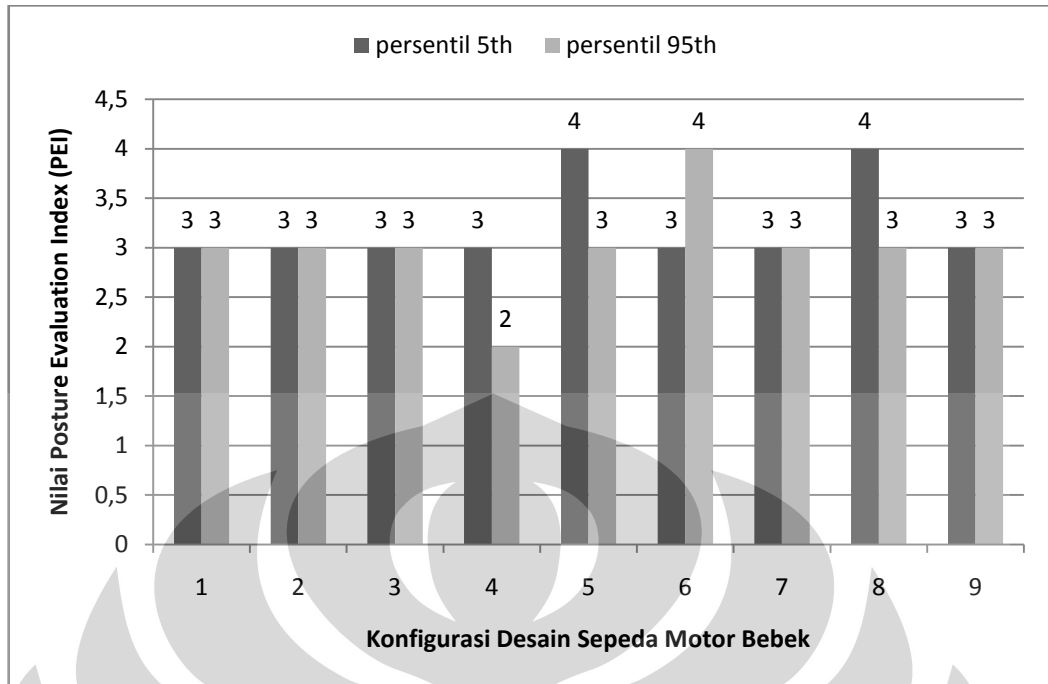
Tingkat kapabilitas postur yang ditunjukkan dari hasil SSP untuk semua konfigurasi pada persentil 5 maupun 95 cenderung sama, yaitu bernilai diatas 90 % dengan kisaran 99 % dan 100 %. Hal ini menunjukkan bahwa nilai SSP telah melewati syarat yang disarankan dalam metode *Posture Evaluation Index* yang dikembangkan oleh peneliti dari Fakultas Teknik University of Naples Federico II Italia, Prof. Francesco Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D.

Dengan demikian, bisa disimpulkan bahwa seluruh konfigurasi sepeda motor Honda Supra X 125 baik aktual maupun redesain memungkinkan di atas 90 % bahkan 99 % populasi untuk melakukan aktivitas yang disimulasikan dengan postur yang ada.

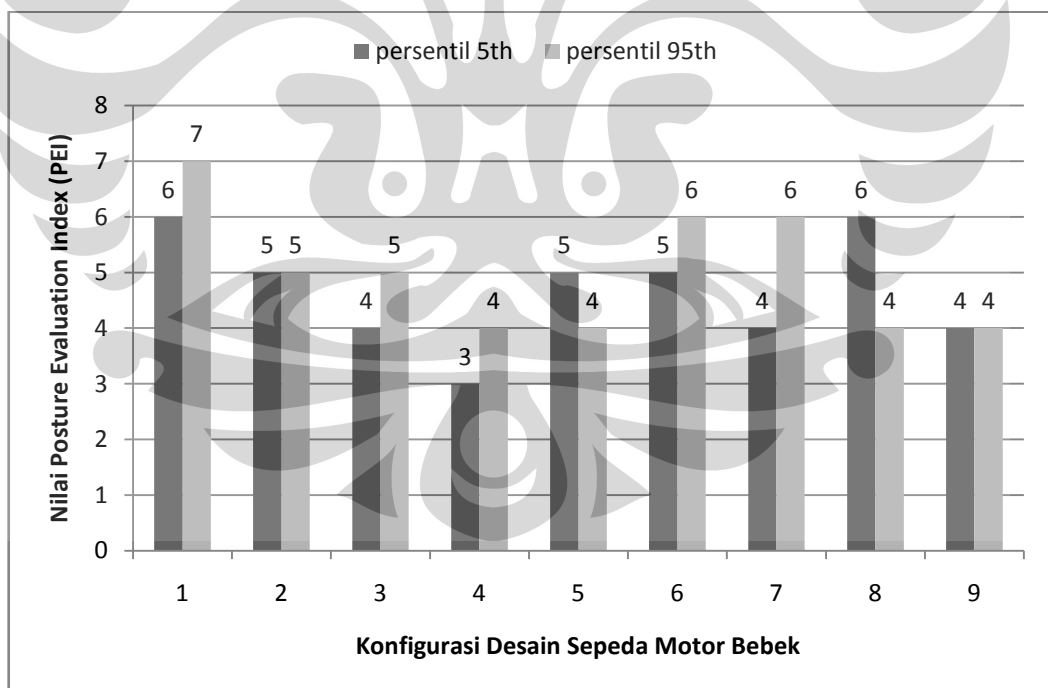
Sementara itu, nilai OWAS semua konfigurasi berada pada tingkat *critical posture* antara 3 atau 4. Hal ini menunjukkan bahwa postur kerja saat ini secara nyata membahayakan sistem muskuloskeletal manusia. Tindakan perbaikan perlu dilakukan sesegera mungkin. Meskipun nilai OWAS yang bernilai 4 ini tidak senantiasa terjadi selama simulasi dijalankan, karena adakalanya dalam beberapa titik nilai OWAS menunjukkan angka 2 bahkan angka 1.

Namun demikian, yang dimasukkan dalam perhitungan PEI adalah nilai OWAS terbesar (paling kritis) yang terjadi saat simulasi dijalankan. Adapun nilai OWAS yang diperoleh berturut-turut dari konfigurasi 1 sampai konfigurasi 9 bisa dilihat pada Gambar 4.27.

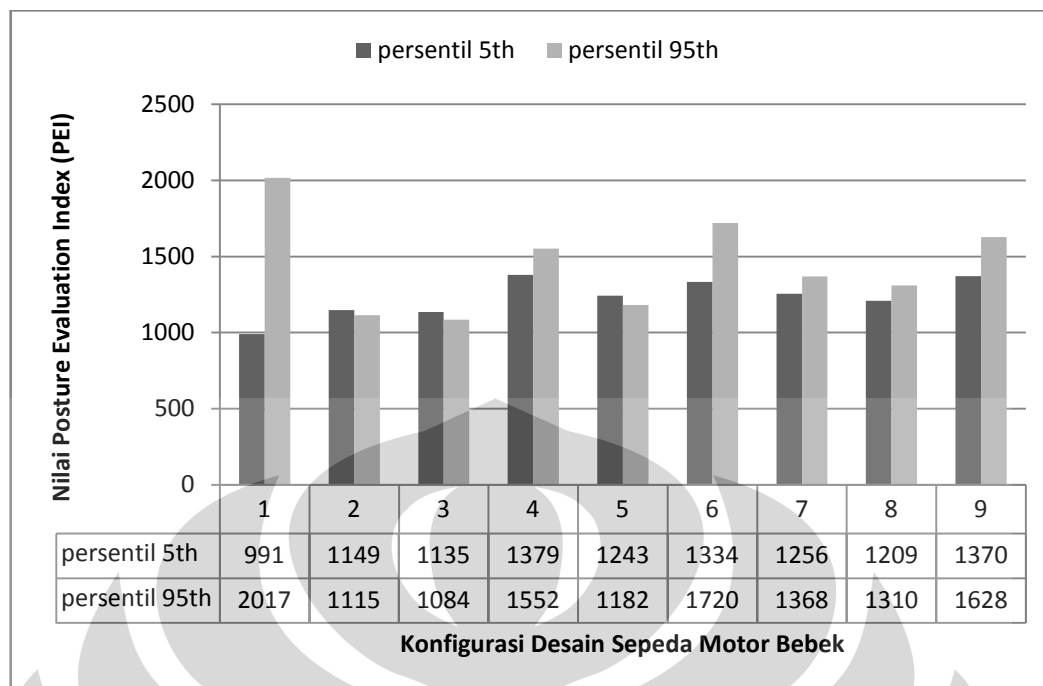
Nilai RULA memiliki nilai yang tetap selama simulasi dijalankan. Selain itu, terjadi perbedaan nilai RULA antara persentil 5 maupun 95. Cukup terjadi fluktuasi nilai RULA antara satu konfigurasi dengan konfigurasi lainnya. Adapun nilai RULA yang diperoleh berturut-turut dari konfigurasi 1 sampai konfigurasi 9 bisa dilihat pada Gambar 4.28.



**Gambar 4.27** Grafik Perbandingan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi



**Gambar 4.28** Grafik Perbandingan Nilai RULA Seluruh Konfigurasi



**Gambar 4.29** Grafik Perbandingan Nilai LBA Seluruh Konfigurasi

Gambar 4.29 merupakan grafik perbandingan nilai LBA seluruh konfigurasi pada persentil 5 maupun 95. Adapun informasi yang diperoleh dari grafik ini, bisa dijelaskan sebagai berikut.

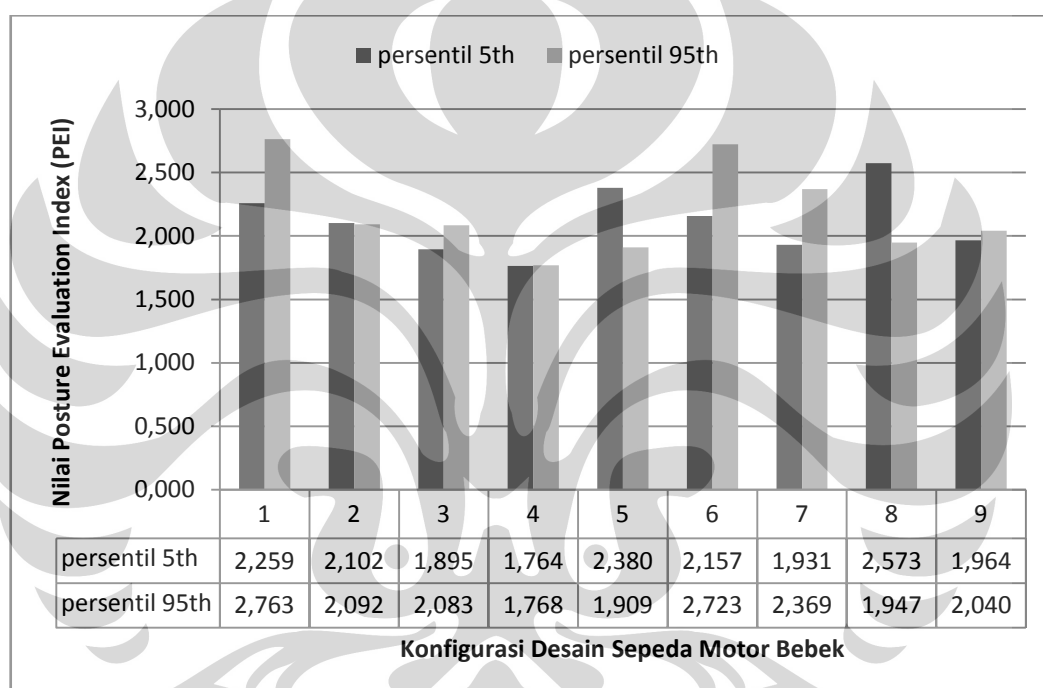
Secara keseluruhan, nilai LBA terkecil dimiliki oleh konfigurasi 1 untuk persentil 5 dan konfigurasi 2 untuk persentil 95. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa konfigurasi 1 memiliki resiko cedera pada tulang belakang paling kecil untuk mamusia dengan ukuran tubuh ekstrem bawah. Sedangkan konfigurasi 2 memiliki resiko cedera pada tulang belakang paling kecil untuk mamusia dengan ukuran tubuh ekstrem atas. Selain itu, dari grafik dapat dilihat kecenderungan perubahan nilai LBA.

Kecenderungan nilai LBA akan terus meningkat pada tiga konfigurasi yang berurutan (yang memiliki posisi *footstep* yang sama), yaitu konfigurasi 2,3,dan 4; konfigurasi 5, dan 6; serta konfigurasi 7, 8,dan 9. Terkecuali untuk nilai LBA konfigurasi 1 persentil 95 yang mempunyai nilai LBA paling kritis yang tidak mengikuti tren tersebut. Peningkatan ini dipengaruhi oleh tingkat kebungkukan postur batang tubuh, yang menunjukkan hubungan berbanding lurus. Pada posisi *footstep* yang sama, penambahan jarak duduk ke belakang akan



menyebabkan postur badan semakin membungkuk, sehingga akan meningkatkan nilai LBA yang diperoleh.

Berdasarkan nilai yang diperoleh dari hasil LBA, OWAS, dan RULA, maka didapat nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi dengan menggunakan persamaan pada persamaan 2.4. Gambar 4.30 merupakan grafik perbandingan nilai PEI seluruh konfigurasi desain sepeda motor Honda Supra X 125 pada persentil 5 maupun 95 untuk pengendara pria. Adapun informasi yang diperoleh dari grafik ini, bisa dijelaskan sebagai berikut.



**Gambar 4.30** Grafik Perbandingan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

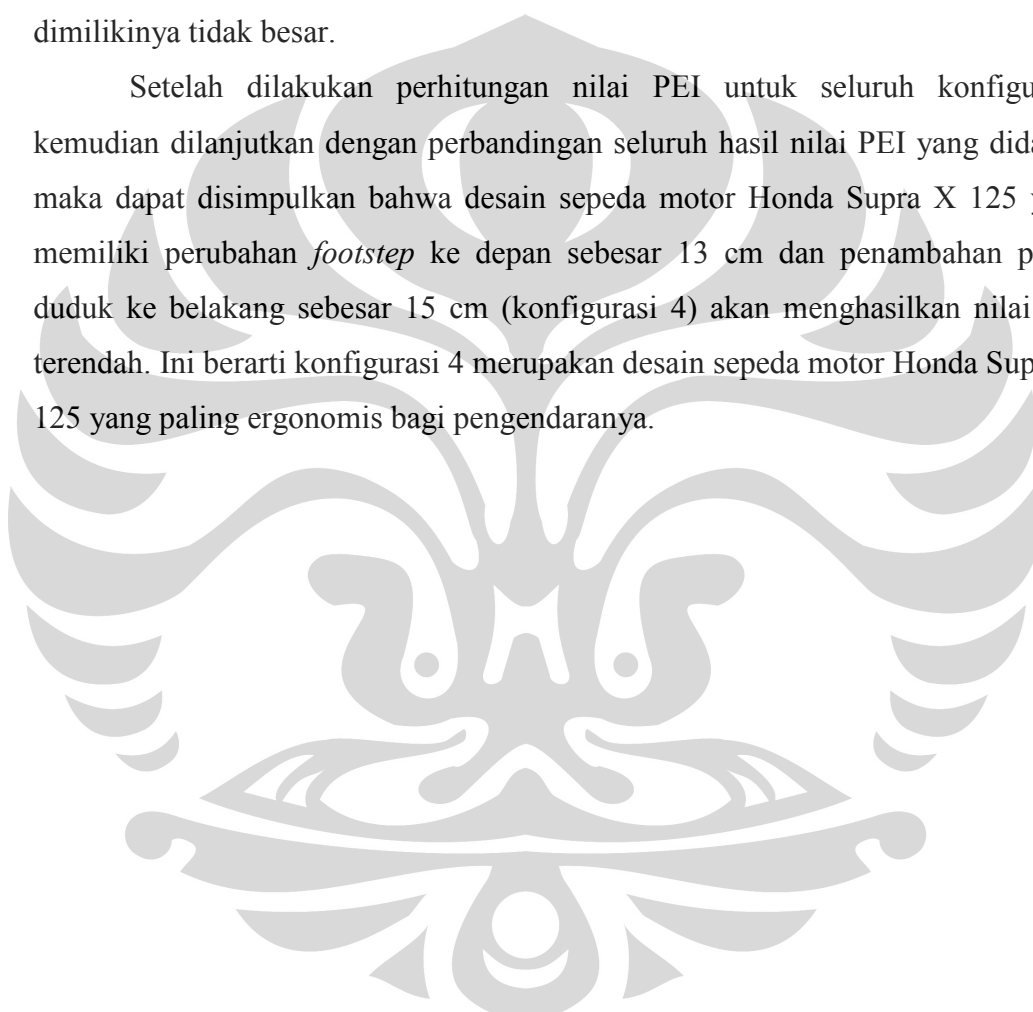
Secara umum, nilai PEI tidak mengikuti kecenderungan yang terjadi secara signifikan seperti halnya nilai LBA. Terlihat adanya tren penurunan nilai PEI dari konfigurasi 2 sampai 4. Tetapi mengalami fluktuasi yang cenderung tidak berpola pada konfigurasi lainnya.

Nilai PEI yang besar pada konfigurasi 1 persentil 95 yaitu 2,763 dipengaruhi oleh nilai LBA yang paling besar yaitu 2017 N. Juga pada besarnya nilai PEI pada konfigurasi 6 yang dipengaruhi oleh nilai-nilai komponen perhitungannya yang konsisten. Dengan demikian jika ditinjau dari nilai PEI,

dapat dikatakan konfigurasi 1 sebagai desain aktual merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang paling tidak ergonomis

Selain itu, nilai OWAS dan RULA yang kecil untuk konfigurasi 4 pada persentil 5 maupun 95 juga mempengaruhi hasil perhitungan nilai PEI yang diperoleh. Walaupun pada konfigurasi 4 mempunyai nilai LBA yang lebih besar dengan konfigurasi lainnya dengan posisi *footstep* yang sama, tetapi kecilnya nilai OWAS dan RULA yang dimiliki konfigurasi 4 membuat nilai PEI yang dimilikinya tidak besar.

Setelah dilakukan perhitungan nilai PEI untuk seluruh konfigurasi, kemudian dilanjutkan dengan perbandingan seluruh hasil nilai PEI yang didapat, maka dapat disimpulkan bahwa desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang memiliki perubahan *footstep* ke depan sebesar 13 cm dan penambahan posisi duduk ke belakang sebesar 15 cm (konfigurasi 4) akan menghasilkan nilai PEI terendah. Ini berarti konfigurasi 4 merupakan desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang paling ergonomis bagi pengendaranya.



## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah ada sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan.

Kesimpulan pertama adalah mengenai desain aktual dari sepeda motor Supra X 125. Desain aktual sepeda motor Honda Supra X 125 saat ini memiliki nilai LBA sebesar 991 N untuk persentil 5 dan 2017 N untuk persentil 95. Nilai LBA yang masih dibawah *Compression Action Limit* berdasarkan standar NIOSH (3400 N) menunjukkan bahwa desain tersebut masih cukup aman dan memberikan resiko cedera pada tulang belakang yang relatif kecil. Sementara itu, nilai OWAS yang diperoleh bernilai 3. Hal ini menunjukkan bahwa postur kritis pengendara yang akan dialami saat ini secara nyata membahayakan sistem muskuloskeletal manusia. Tindakan perbaikan perlu dilakukan sesegera mungkin. Kemudian nilai RULA yang diperoleh senilai 6 untuk persentil 5 dan 7 untuk persentil 95. Dengan demikian perlu segera dilakukan investigasi lebih lanjut terhadap kemungkinan resiko cedera yang dapat terjadi. Selain itu, perbaikan mungkin dibutuhkan untuk mengurangi resiko cedera yang terjadi. Nilai PEI untuk desain aktual ini bernilai 2,259 untuk persentil 5 dan 2,763 untuk persentil 95. Nilai PEI ini bukan merupakan nilai yang terbaik bila dibandingkan dengan konfigurasi lain, sehingga potensi untuk melakukan perbaikan desain aktual sepeda motor Honda Supra X 125 ini masih ada.

Konfigurasi desain sepeda motor Honda Supra X 125 yang terbaik dari sisi ergonomi untuk pengendara pria adalah konfigurasi keempat dengan melakukan perubahan pada posisi duduk dan *footstep* dibandingkan kondisi aktualnya. Sepeda motor Honda Supra X 125 dengan konfigurasi terbaik tersebut memiliki spesifikasi perubahan posisi duduk 15 cm ke belakang dari kondisi aktualnya serta perubahan posisi *footstep* 13 cm ke depan dari kondisi aktualnya. Nilai PEI yang dihasilkan dari sepeda motor Honda Supra X 125 konfigurasi keempat adalah sebesar 1,764 untuk persentil 5 serta 1,768 untuk persentil 95 di mana nilai PEI tersebut paling rendah dibandingkan konfigurasi desain sepeda motor Honda

Supra X 125 lainnya baik untuk persentil 5 maupun 95 sehingga menunjukkan bahwa desain sepeda tersebut paling ergonomis berdasarkan metode *Posture Evaluation Index*.

Terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi nilai PEI pada pengendara pria saat mengendarai sepeda motor Honda Supra X 125 yaitu posisi duduk, posisi *footstep*, serta ukuran tubuh pengendara sendiri.

## 5.2 Saran

Metode penelitian ergonomi menggunakan *Posture Evaluation Index* (PEI) merupakan metode yang dapat dikembangkan untuk berbagai masalah mengenai ergonomi.

Metode PEI dapat dikembangkan sesuai dengan berjalannya waktu. Adanya teknologi baru seperti *motion capture* dan *eye tracker* dapat dijadikan sebagai sebuah dasar dalam pengembangan metode PEI dalam lingkungan virtual.

Perlu dilakukan studi yang mendalam terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi metode PEI ini bila diaplikasikan pada lingkungan virtual. Studi terhadap faktor-faktor tersebut perlu memperhatikan masalah gerakan manekin yang berasal dari peralatan *motion capture* atau proses penggerakan dari *software digital human simulation* sendiri.

Apabila ditinjau dari tujuan penelitian yang dilakukan, yaitu pembuatan rekomendasi desain sepeda motor tipe *cub*, maka perlu dilakukan pembahasan lebih lanjut dengan berbagai ahli ergonomi dan pihak yang berhubungan dengan permasalahan desain produk.

Perlu dilakukan pelatihan lanjutan dalam penggunaan alat *motion capture*. Pelatihan yang dibutuhkan meliputi penggunaan alat pada penelitian di dalam ruangan ataupun di luar ruangan. Apabila pelatihan lanjutan tidak dimungkinkan untuk diadakan, maka perlu dilakukan studi yang mendalam mengenai fungsi alat.

Hubungan kerja sama juga perlu menjadi perhatian pada pengembangan penelitian aspek ergonomi dari suatu produk. Prosedur kerja sama dengan pihak produsen dapat dibuat

Penelitian ini perlu mendapat pendalaman di beberapa bagian, seperti gaya, durasi, dan vibrasi.

## DAFTAR REFERENSI

- Ashby, P. (1979). *Ergonomics Handbook 1: Body Size and Strength*. SA Design Institute, Private Bag X191, Pretoria 0001.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Chaffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention. University of Michigan.
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. *In: Proceed of The 7<sup>th</sup> International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process" – ATA 2001, Florence*.
- Di Gironimo, G., Monacelia, G., Patalano, S. (2004). A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference - Design 2004*
- Hagberg, Mats et a. (1997) *Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs); A Reference Book for Prevention*. London: Taylor & Francis.
- Helander, Martin. (2006). *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). London: Taylor & Francis e-Library.
- Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Kalawsky, R. (1993b). *Critical Aspects of Visually Coupled Systems*. In: Earnshaw, R., Gigante, M. and Jones, H. (eds.), *Virtual Reality Systems*. London: Academic Press.

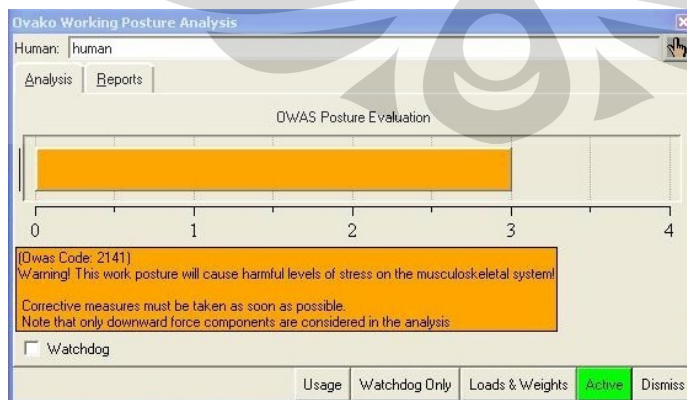
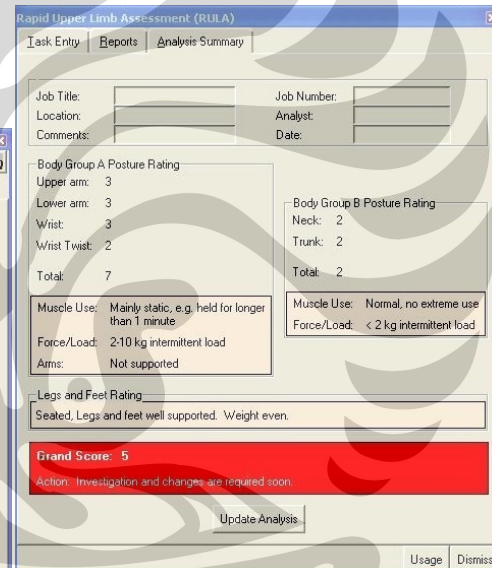
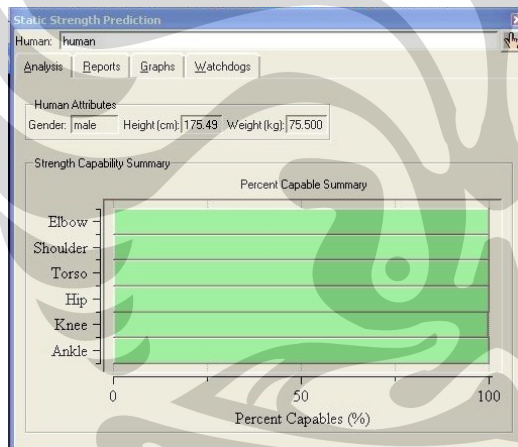
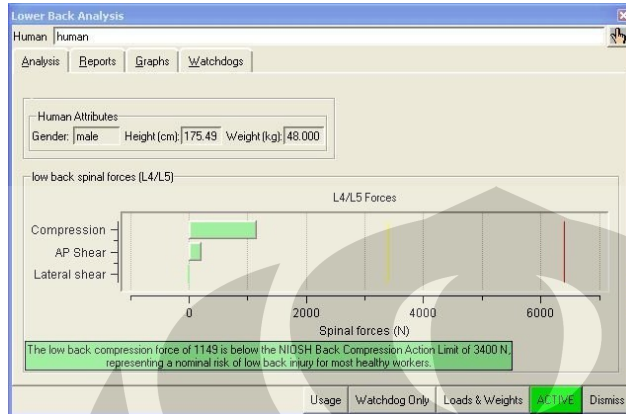
- Karwowski, W., Marras, W.S. (2003). *Occupational Ergonomic Principles of Work Design*. Boca Raton: CRC Press. Pg 25-1 – 26-12.
- Keyserling, W. M. (2004). OWAS: An Observational Approach to Posture Analysis. The University of Michigan.
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110*.
- Mark Sanders. S dan Ernest J McCormick, (1993). *Human Factor in Engineering and Design*. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace: anthropometry, ergonomics and the design of work*. London: Taylor & Francis e-Library.
- 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.
- Stanton, Neville.,Hedge, Allan.,& Brookhuis, Karel. (2004). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. Boca Raton: CRC Press
- UGS Tecnomatix (2005). *Jack human modeling and simulation*.  
<http://www.ugs.com/>
- Wilson, J.R. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics.” *Applied Ergonomics* 30.
- Zeltzer, D. (1992). *Autonomy, Interaction and Presence*. Presence, 1(1).

# Lampiran 1

## Data Antropometri Mahasiswa FTUI

	Ankle height [cm]	Arm length left [cm]	Arm length right [cm]	Belly circumference [cm]	Body height [cm]	Forearm length left [cm]	Forearm length right [cm]	High hip girth [cm]	High waist girth [cm]	High waist height [cm]	Hip girth [cm]	Hip height [cm]	Hip/High girth [cm]	Knee height [cm]	Upper arm length left [cm]	Upper arm length right [cm]	Weight [kg]
1	7,4	56,5	59,1	84	167,3	25,5	27,4	84,1	79,8	105,4	95,6	80,8	94	44,9	31	31,8	65,6
2	7,8	64,6	64,4	96,2	177,2	30	30,1	97,1	88,9	111,6	101,8	86,7	96,4	47,3	34,6	34,4	84,2
3	7,7	63,1	62,8	89,6	175,3	27,5	27,1	90,5	83,3	111,2	101	80,4	99,9	46,3	35,6	35,7	74,4
4	7,4	58,4	58,4	74,4	167,4	25,5	25,8	77,6	72,4	106,8	91,2	76,7	91,6	44,4	32,9	32,6	58,2
5	7,5	63,1	63,7	85,8	171,4	27,9	28,8	86,8	79,7	111,5	98,1	85,6	94,9	48	35,1	34,9	65,8
6	7	56,5	54,8	91,1	159,5	24,5	22,6	95,7	87,3	101,3	111,7	75,7	110,6	41,7	31,9	32,2	72,1
7	7,6	64,1	65,1	85,1	173,2	30,9	32	85,2	84,2	116,1	99,6	90,3	98,8	50	33,2	33,1	73,5
8	7,4	58,1	57,6	86,1	167,4	24,3	24,5	87,1	81,3	108,1	97,4	79,5	95,7	46,1	33,8	33,1	67,9
9	7,5	60,2	61,1	69,2	171,4	27,3	27,7	71,1	67,2	108,5	87,6	87,1	87,2	45,9	32,9	33,4	52,8
10	7,4	56,6	54,5	87,2	169,2	25,3	22,1	88,5	74,2	110,1	99,4	77,3	97,9	46	31,3	32,4	62,8
11	7,2	54,4	54,4	83,2	164,2	24,2	22,7	84,9	76,9	103,7	98	77,2	97	43,8	30,2	31,7	64,4
12	7,3	57,3	58,3	79,1	166,7	26	27,4	79,9	73,5	106,6	92,6	75,5	94	45	31,3	31	56,5
13	7,4	59,4	58,8	68,1	169,2	25,9	25,8	70,3	66,9	109,4	87,8	78,9	89,7	47,4	33,5	33	52,9
14	7,2	57,2	56,3	73	162,7	25,2	23,8	75	69,1	103,2	86,9	73,7	87,3	42,7	32	32,6	50,5
15	7,6	60,6	60,2	98,4	172,1	26,1	26	99,8	95,7	111,7	101,7	83,1	97,7	48,8	34,5	34,2	82,5
16	7,4	58,5	58,1	74,9	168,1	26,8	25,4	75,6	69,7	103,3	90,8	77	89,4	42,9	31,7	32,7	55,5
17	7,1	54,5	55,9	87,6	162	23,1	24	88,2	84	103,3	97	78,8	94,4	44,1	31,5	31,9	66,3
18	7,7	62,5	63,8	83,3	173,9	28,9	29,3	82,8	76	113,7	97,2	85,5	94,9	48	33,6	34,5	70,5
19	7,7	61,6	60,4	103,9	174,6	28,3	26,2	105,8	95,2	112	116	84,2	111,8	48,1	33,2	34,2	94,5
20	8	61,4	60,3	82,7	181,1	27,3	26,7	83,8	73,8	116	96,3	86,4	95,9	49	34,1	33,7	65,5
21	7,1	58,1	58,7	75,9	162	24,5	24,3	77,4	69,8	104,2	96,3	77,7	98,2	44,1	33,6	34,4	52,9
22	7,4	59,7	58,3	83,9	168,1	25,2	24,1	85,3	77,8	106,8	102	78,9	100,4	45,3	34,5	34,1	69,3
23	7,6	61	62,4	94,3	172,1	26,7	27,3	92,7	90,6	108,6	103,6	80,9	99,8	45	34,2	35,1	80,4
24	7,7	61,4	61,5	83,4	173,9	27	26,6	84,9	82,3	110,2	92,9	83,1	89,2	46,4	34,4	35	62,3
25	7,7	63,2	62,9	87,4	176,1	30,6	29,8	89,6	80,1	115	100,7	87,4	99,6	49,2	32,6	33,1	72,2
26	7,7	62,5	61,4	110,2	175,3	26,8	26,5	110,5	102,2	113,6	112,9	85,6	105,1	48,6	35,7	34,9	95
27	7,3	59,1	59,4	70,4	166,7	26	25,4	71,5	70,1	107,6	88,2	76,5	94,6	45,9	33,1	34	54,6
28	7,7	63,2	62,6	89,5	175,3	29,8	28,3	91,2	82,7	109,2	103,9	81,3	101,3	46,5	33,4	34,2	83,1
29	7,8	63,7	66,2	75,7	177,1	27,6	27,6	77,7	73,2	110,4	96	84,5	92,1	46,7	36,1	38,6	61,6
30	7,5	60,8	59,6	83,4	169,6	27,4	26,5	84,3	79,1	108,5	95,4	84,5	93,7	46,6	33,5	33,1	61,9
31	7,3	61,3	59,4	78,9	166	27,4	26,6	79,9	73,2	106,3	92,5	80,1	90,2	45,4	33,9	32,7	57,6
32	7,3	60,1	60	80,3	166,3	28,8	28,6	81,7	74	105,7	97,9	79,1	95,2	44	31,3	31,5	61,8
33	7	55,4	56,8	67,9	160,2	23,7	24,8	69	69,3	104,7	87,1	76,6	86,8	44,8	31,6	32	48,2
34	7,3	56,6	57,2	85,8	165,9	23,9	24,4	85,5	80,5	104,4	99,6	77,3	98,6	43,9	32,7	32,8	64,8
35	7,5	60,7	57,3	86,8	171,4	25,9	23,2	88,1	80,7	109,6	96,8	81,3	95,9	46,8	34,7	34	68,4
36	8	63,8	62,6	90,1	181,1	30,9	29,7	91,4	81,3	115,7	104	86	101,9	48,8	32,9	32,8	79,7
37	7,6	60,3	59,9	106,1	172,1	25,6	25,2	106,5	98,7	107	107,6	81,6	100,2	44,8	34,7	34,7	86,8
38	7,5	64,3	63,1	93,1	171,3	28,6	28,2	94,7	82,7	109,8	101,1	82,7	98,5	46,7	35,8	34,9	71,2
39	7,4	62,2	61,9	86,4	168,1	30,7	29,3	84,9	81,6	107,9	99,1	73,3	99,5	44,2	31,5	32,6	70,3
40	7,5	60,7	60,2	87,5	171	27	27,4	86,9	84,2	108,1	98,7	80,3	96,9	46,5	33,7	32,8	68,2
41	7,5	59,2	58,8	70	171,4	26,1	26,1	71,8	72,4	109,4	87,2	84,5	88,3	46,1	33,1	32,7	52,6
42	8	62,7	64,2	74	181	28,7	30,1	75,7	73,4	115,5	93,8	83,7	94,5	49,1	34	34	63,6
43	7,4	57,6	58	68,2	168,1	25,8	26,2	69,4	66,8	108,1	88,8	80,2	86,3	45,7	31,8	31,8	49,1
44	7,4	61,4	62,5	88,7	167,5	29	29,9	88,6	85,3	106,3	100,2	78,1	96,7	44,8	32,3	32,6	73,2
45	7,8	65,4	65,3	75	177,9	28,9	31,5	77	70,5	114,1	92,7	87,6	92,5	49,1	36,6	33,8	60,4
46	7,3	60,1	60,1	91,3	166,7	28,7	28,2	90,8	85,9	103,7	102,4	76	101,2	42,4	31,5	31,9	73,7
47	6,9	55	55,5	82,1	156,2	25,4	25,5	82,3	81,6	100,5	96,2	72,2	98,3	42,5	29,6	30	60
48	7,7	63,4	63,2	74,8	174,6	29,9	30	77	74,7	113,6	96,5	84,8	96,2	48,7	33,5	33,3	65,1
49	6,9	56,9	56,4	65,1	156,2	26,8	25,6	65,9	65,3	100,2	82,7	70,2	85,3	42,7	30,2	30,7	42,8
50	7,9	65,2	63,4	101,8	180,4	29,7	28,9	103,3	91,9	114,1	114,1	88,8	111	48,2	35,4	34,5	90,1
51	7,7	60,3	60,8	93,3	174,6	27,2	27,2	94,2	88,4	110,3	105,3	82,6	101,7	46,1	33,1	33,6	80,3
52	7,2	62,5	57,1	76,5	163,4	31	25,4	76,8	69,5	103,2	95	78	92,1	43,2	31,5	31,7	54
53	7,3	54,9	56,6	81,2	166,6	25,4	25,8	80,3	79,6	106,4	95,3	80,9	92,6	45,5	29,6	30,8	60,6
54	7,5	58	59,9	74,9	170,6	25,3	26,7	75,4	72,2	106,9	91,3	73,6	90,9	44	32,7	33,2	54,7
56	7,9	64,1	65,2	79,4	180,4	31,1	31,9	79	76	114	97,5	87,2	96,7	48,4	33	33,3	72,2
57	7,3	60,8	61,4	83,6	166,8	28,5	28,8	85,3	79	106,6	97,8	77,2	94,4	45,2	32,3	32,6	65,6
58	7,3	59,1	58,5	73,7	166,7	27,2	26,1	75,7	70,8	107	92	80,2	89,2	45,1	31,8	32,4	55
59	7,4	56,5	59,1	84	167,3	25,5	27,4	84,1	79,8	105,4	95,6	80,8	94	44,9	31	31,8	65,6
60	7,2	59,7	60,4	69,7	162,7	30	30,9	69,6	72,3	106,3	83,2	80,2	86,4	45,7	29,8	29,5	51,8
61	7,1	57,8	57	62,2	160,9	25	25,8	64,5	66	104	83,7	73,8	84,2	43,9	32,8	31,2	46,6
62	7,8	60,4	60,5	86,5	176,4	26,9	27,2	87,1	82,2	112,8	95,7	84,9	95,1	48,2	33,5	33,4	67,1
63	6,8	54,2	53,3	83,6	154,7	24,7	23,8	83,2	81,1	96,5	95,5	70,4	92,9	39,4	29,4	29,5	57,8
64	7,4	61,4	61,8	97,1	169,2	28,1	29,1	96,4	93,3	108,8	105,4	78,7	104,8	46,2	33,3	32,8	78,9
65	7,5	59,8	62,9	99,1	171,3	26,8	30,3	98,7	95,5	109,5	106,3	77,7	108,5	46,5	33,1	32,6	81,7
67	7,3	57,3	58,2	70,5	166,7	25,8	26,5	70,9	71	106,4	88,7	74,4	90,3	44,5	31,5	31,7	52,8
68	7,7	62,9	63,4	107,9	174,6	29,1	29,9	107,7	102,8	112,3	107,5	84,9	103,7	47,6	33,8	33,5	96,8
69	7,7	62	61,6	98,4	175,3	28,6	27,8	97,2	89,2	113,1	110,3	85,1	106,9	48	33,4	33,9	87,8
70	7,2	55,9	56,9	79,9	164,1	23,6	25,2	80,2	74,9	105,1	94	75,8	94,4	44,1	32,3	31,6	62
72	7,4	58,8	58,2	82,5	167,4	26,7	26,1	83	75,8	106,6	98,9	76,9	98,8	45,3	32,2	32,1	64,4
73	7,6	61,9	62,7	96,1	172,1	30,1	28,8	96,6	89,1	110,5	105,6	80,8	102,4	46,3	31,7	33,9	80,1
74	7	52,4	51,5	78,1	159,4	21,9	20,8	78,8	74,8	101,2	98,4	72,2	98,4	41,7	30,5	30,7	61
75	7,5	60,8	61,2	84,7	171	29,6	29,5	85,8	76,8	109,2	99,8	79,1	99,7	45,9	31,2	31,7	70,2
76	7,1	56,5	56	67,3	162,3	27	26,4	69	67,8	103,3	84,8	80,3	85,6	43,3	29,4	29,6	47,1
77	7,5	60,5	58,7	75,8	171,3	26,9	25	76,5	75	109	91,1	7					

Lampiran 2  
 Hasil Analisis Jack TAT  
 Konfigurasi 2 Persentil 5

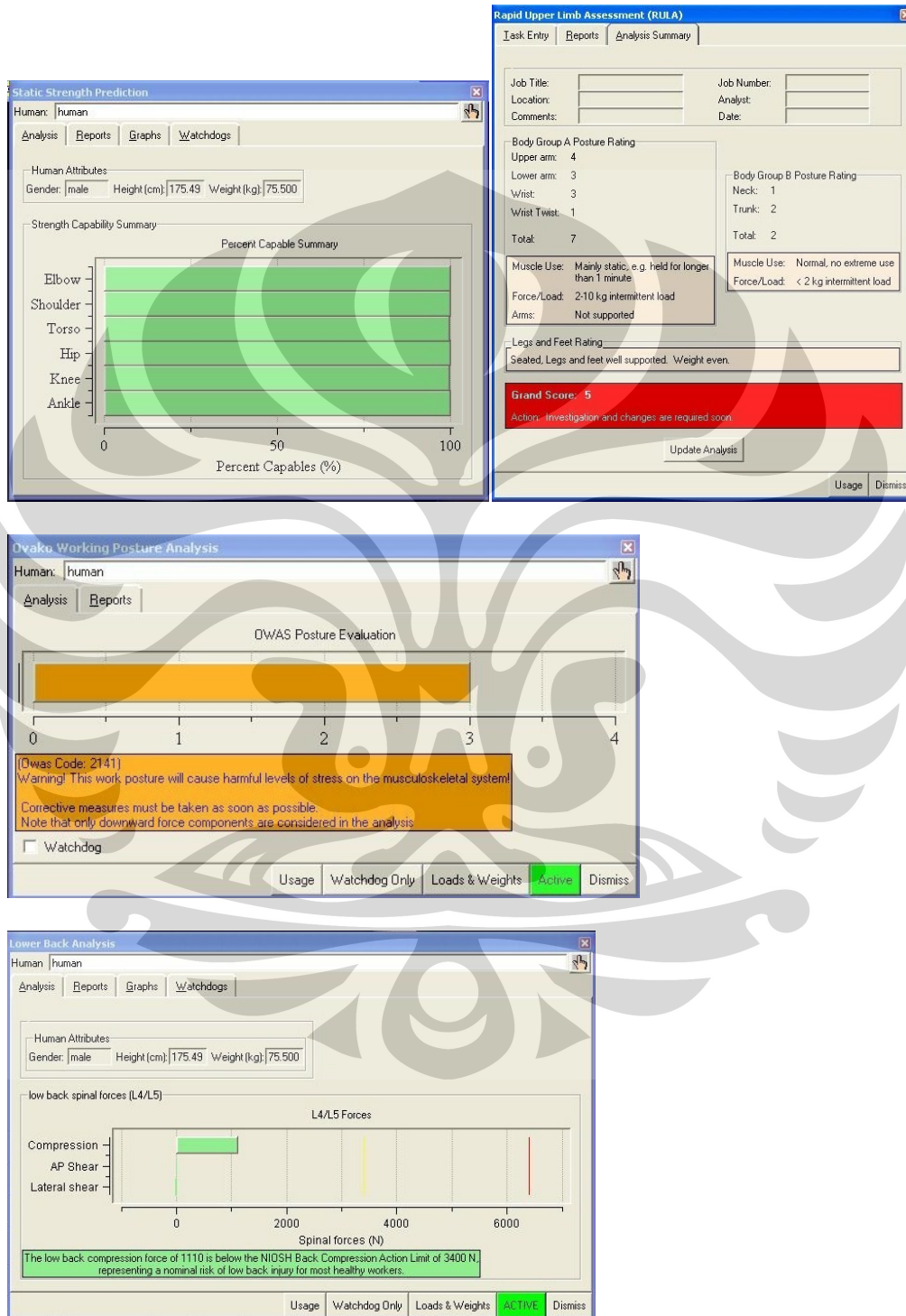




Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

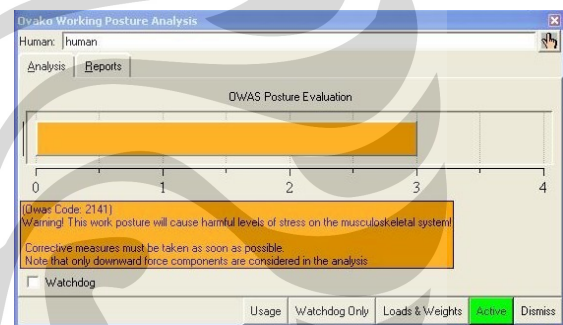
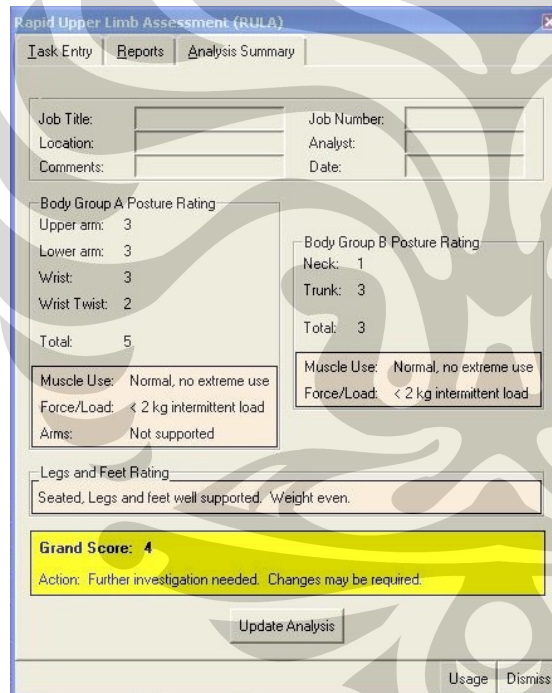
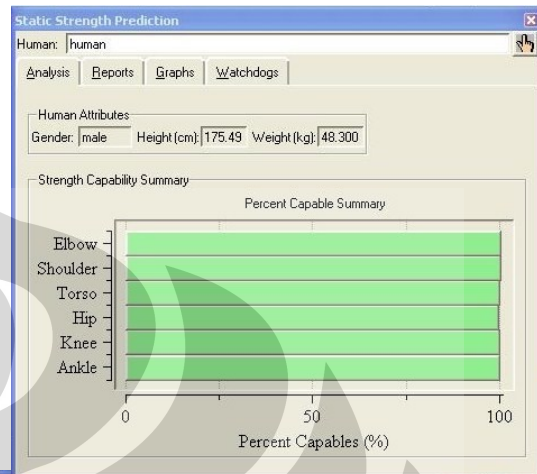
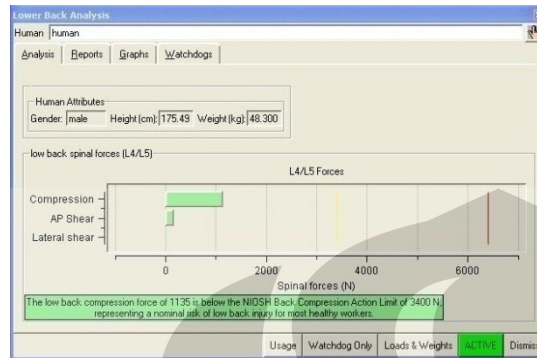
Konfigurasi 2 Persentil 95



## Lampiran 2

### Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

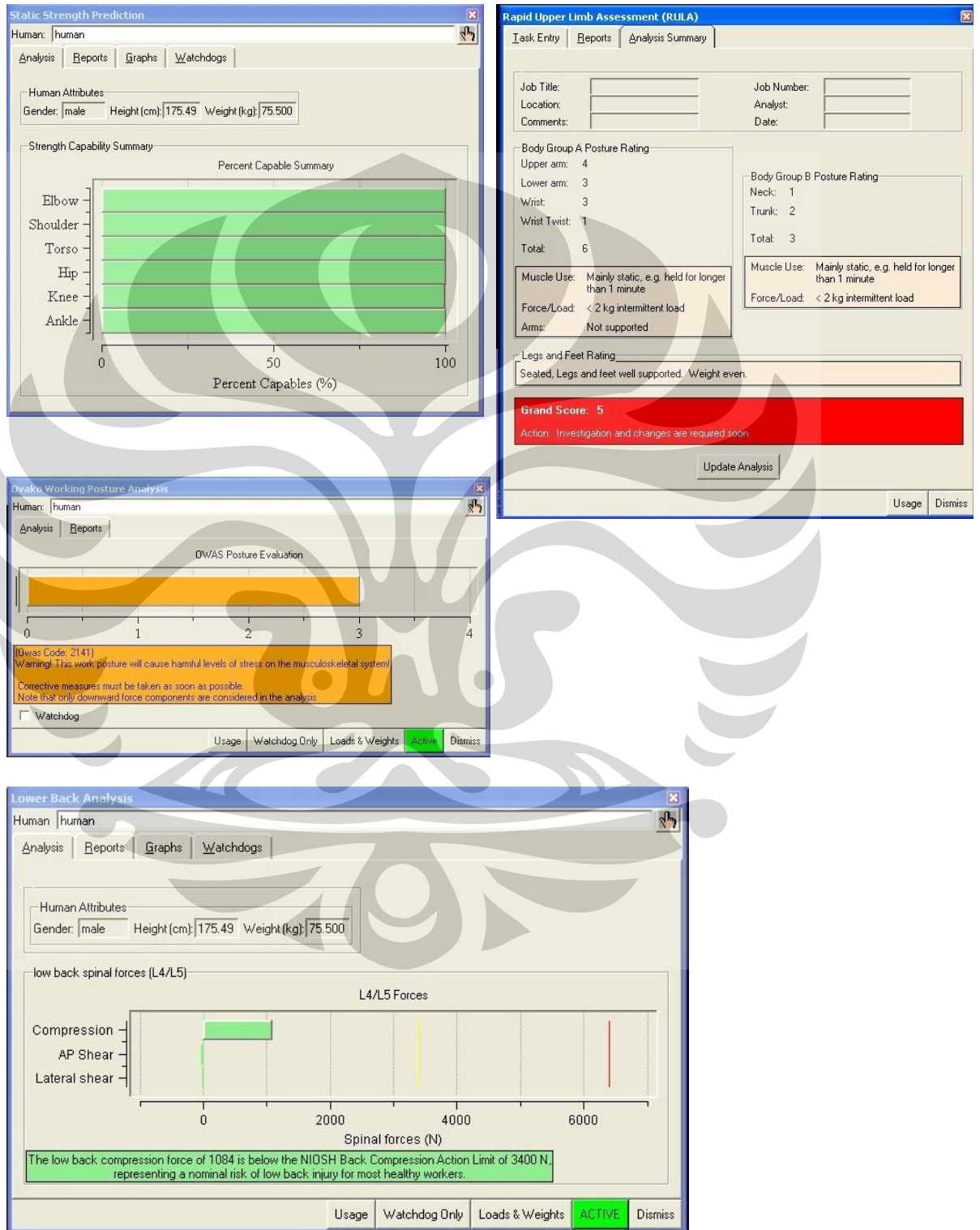
### Konfigurasi 3 Persentil 5



## Lampiran 2

### Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

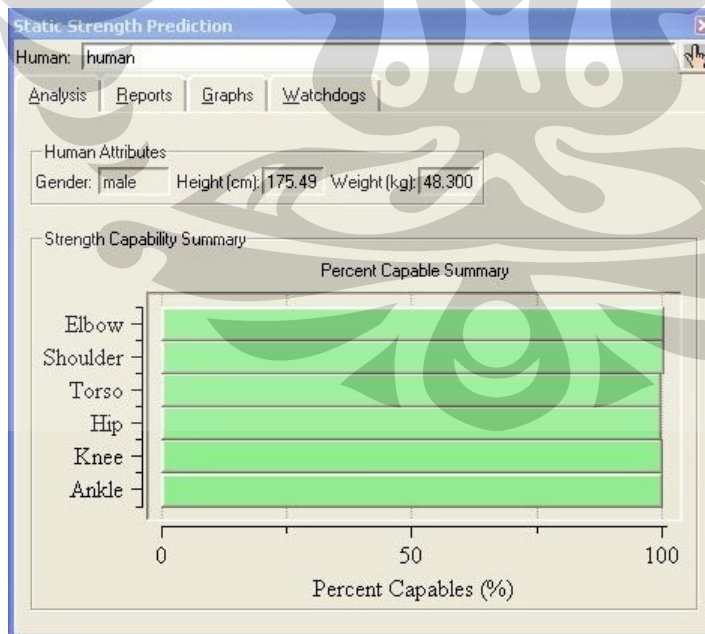
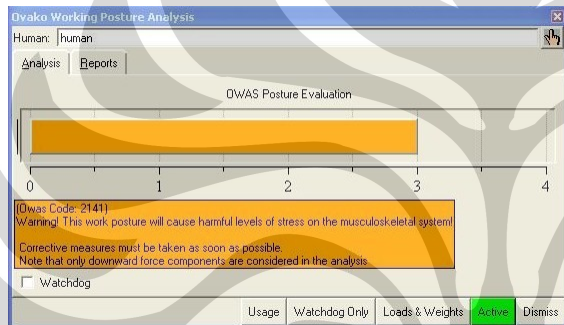
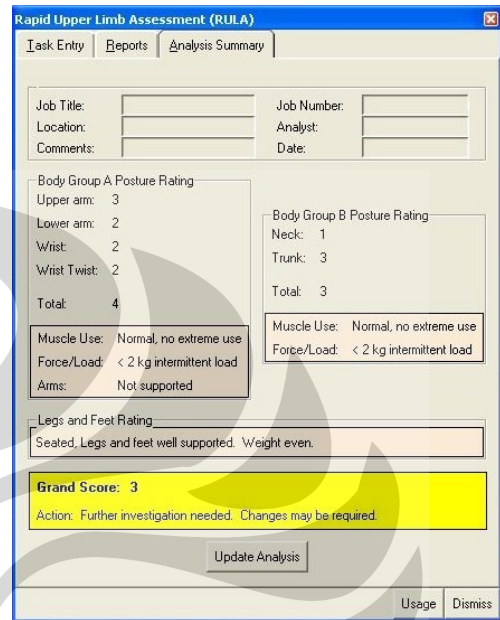
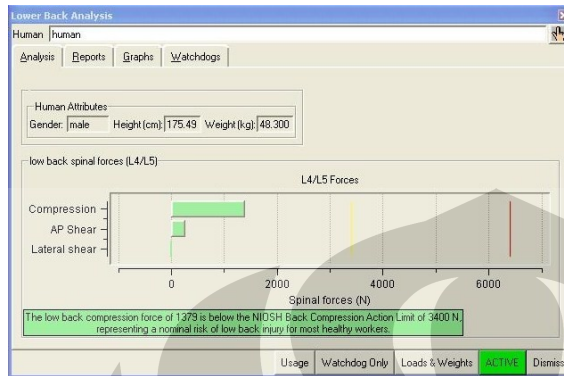
### Konfigurasi 3 Persentil 95



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

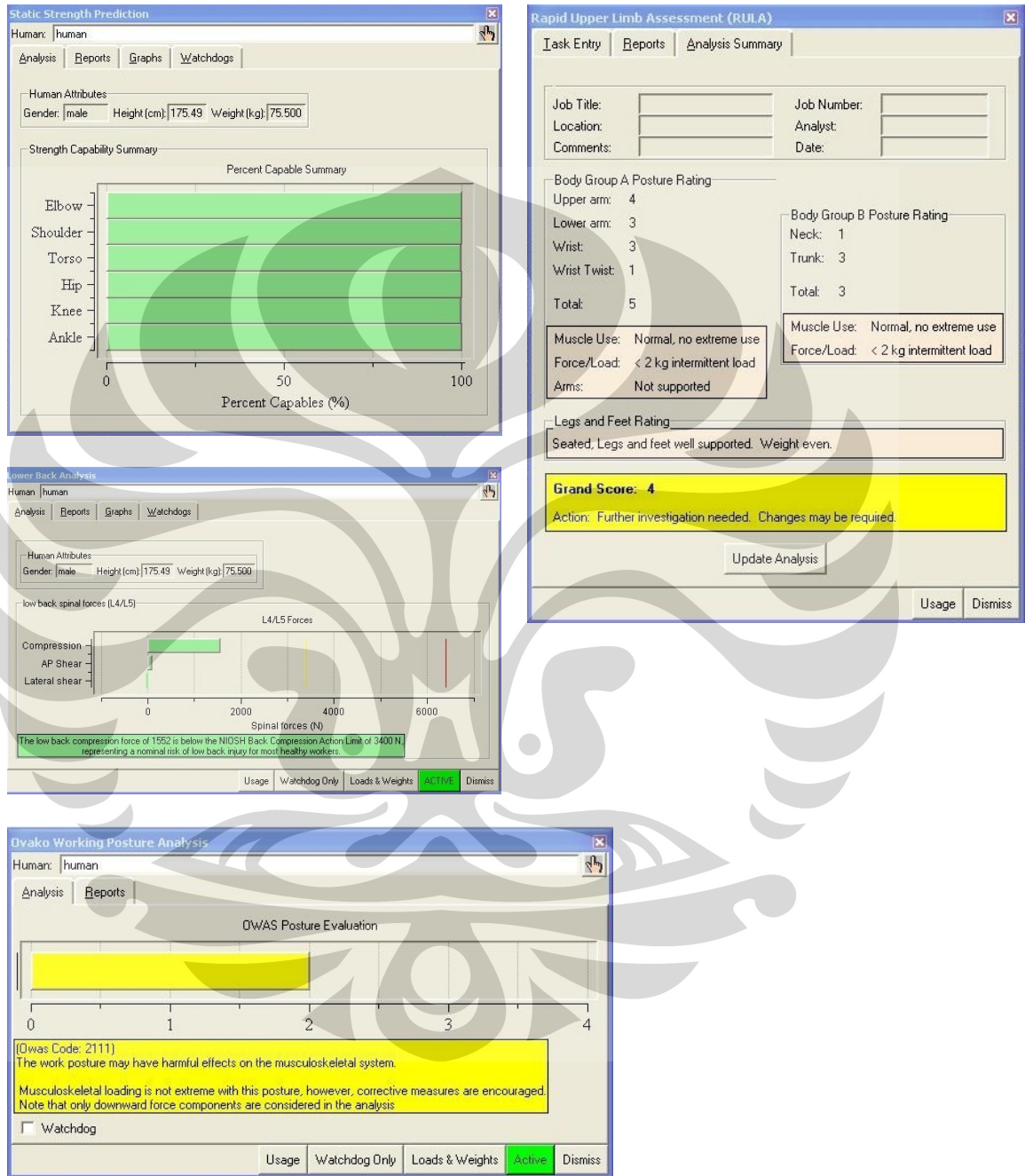
Konfigurasi 4 Persentil 5



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

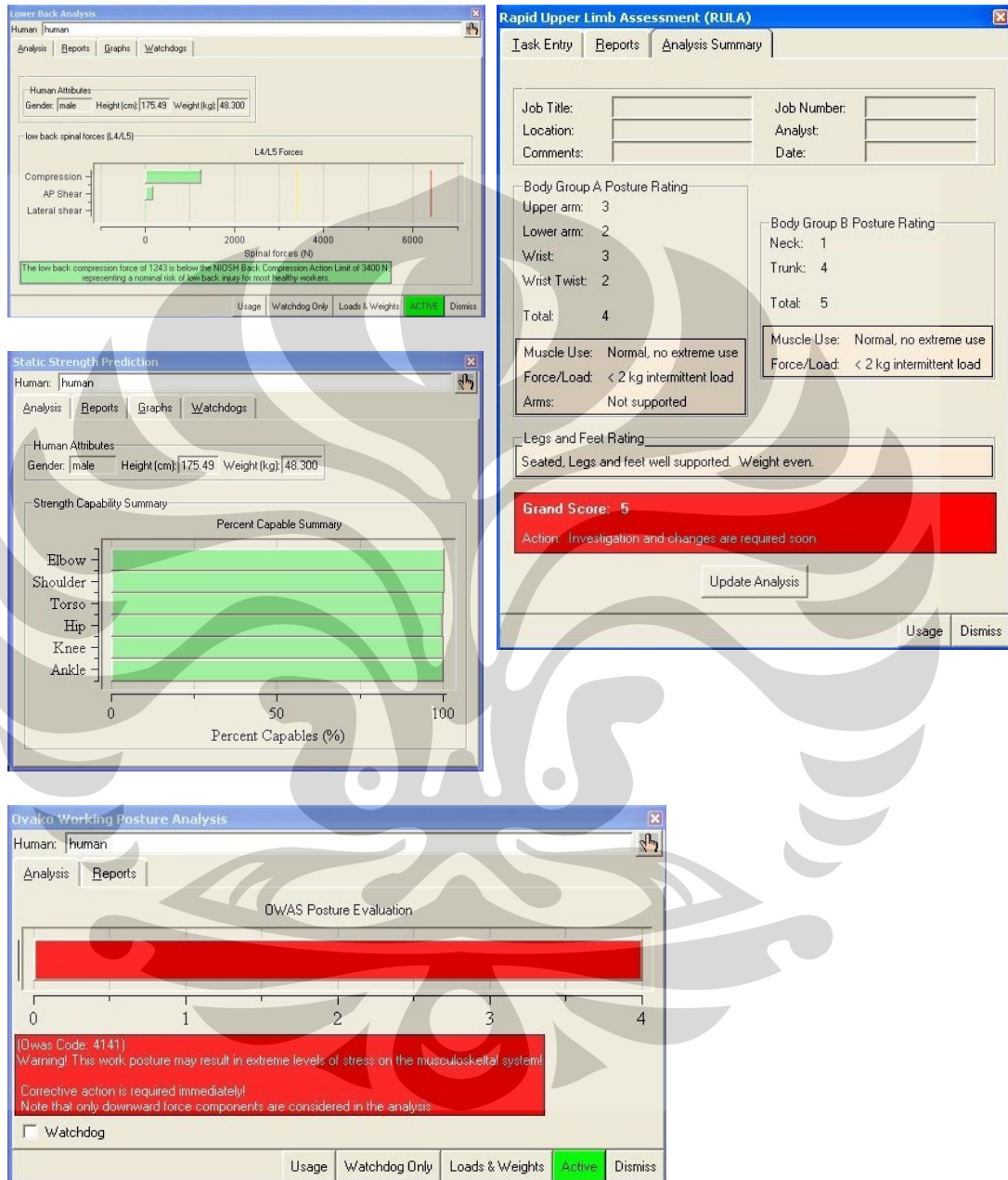
Konfigurasi 4 Persentil 95



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

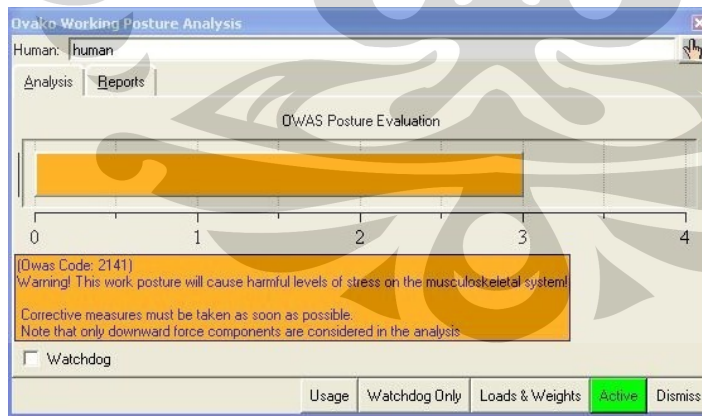
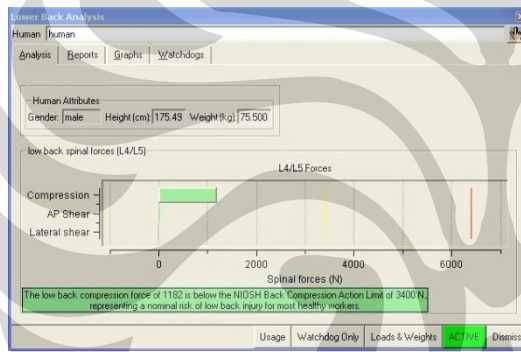
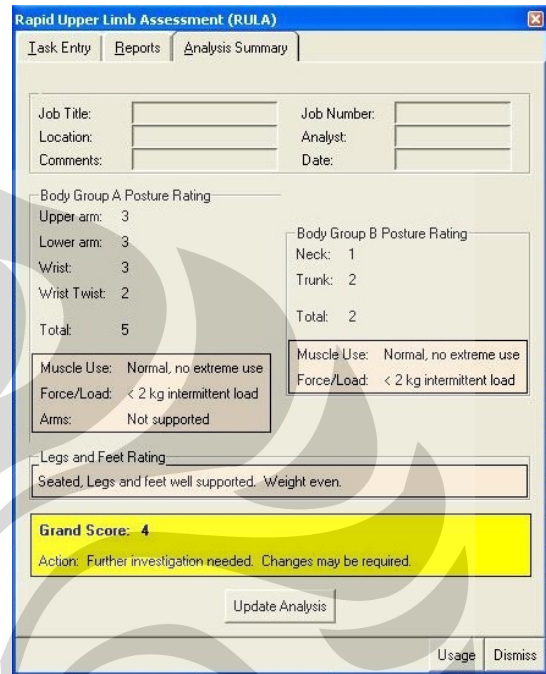
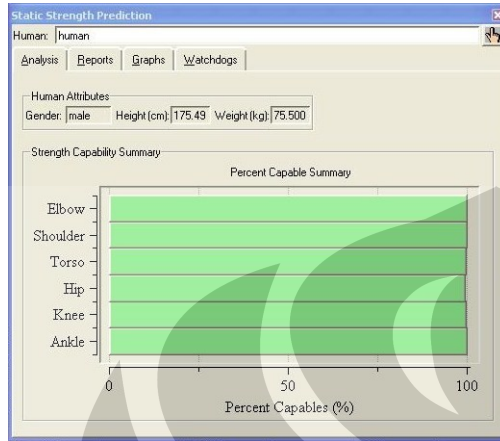
Konfigurasi 5 Persentil 5



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

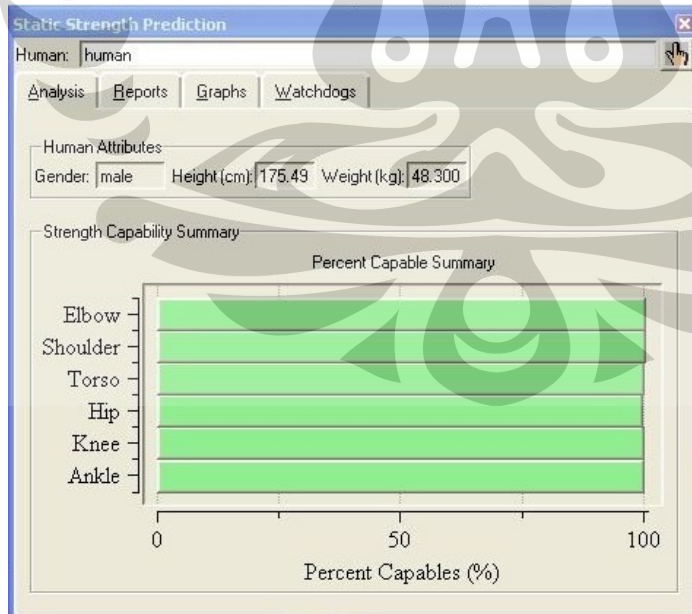
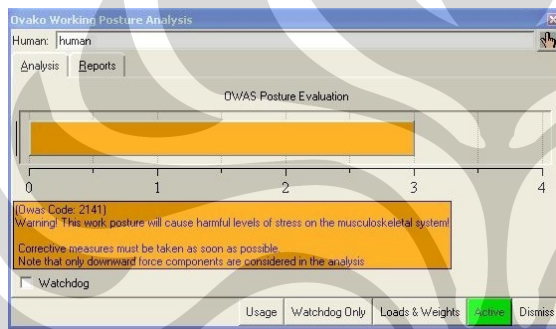
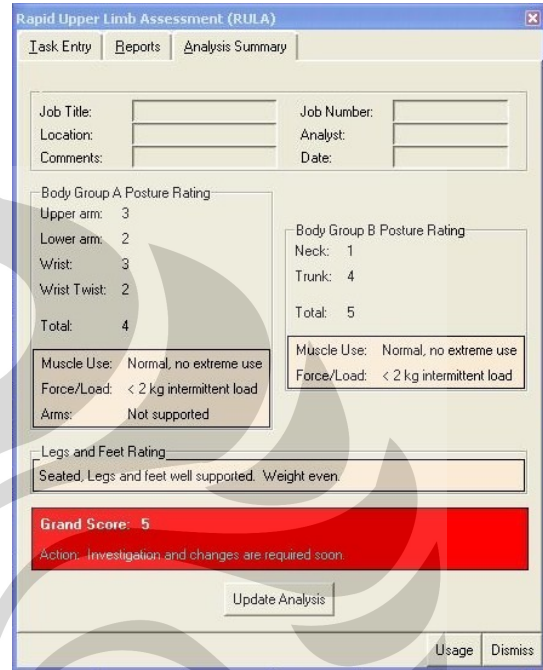
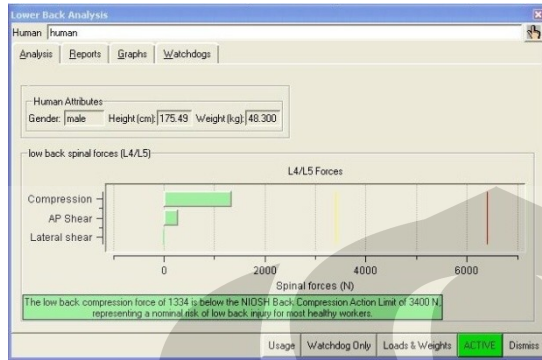
Konfigurasi 5 Persentil 95



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

Konfigurasi 6 Persentil 5

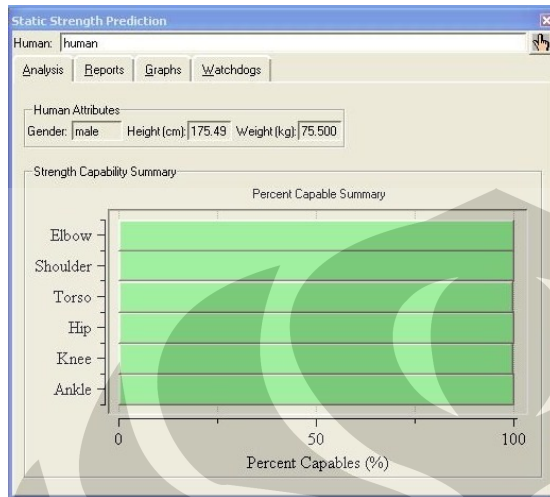




Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

Konfigurasi 6 Persentil 95



Rapid Upper Limb Assessment (RULA) window showing posture ratings and a Grand Score of 6. The Grand Score is highlighted in red, indicating a warning that investigation and changes are required soon.

Body Group A Posture Rating	Body Group B Posture Rating
Upper arm: 4	Neck: 2
Lower arm: 3	Trunk: 4
Wrist: 3	Total: 5
Wrist Twist: 2	
Total: 5	

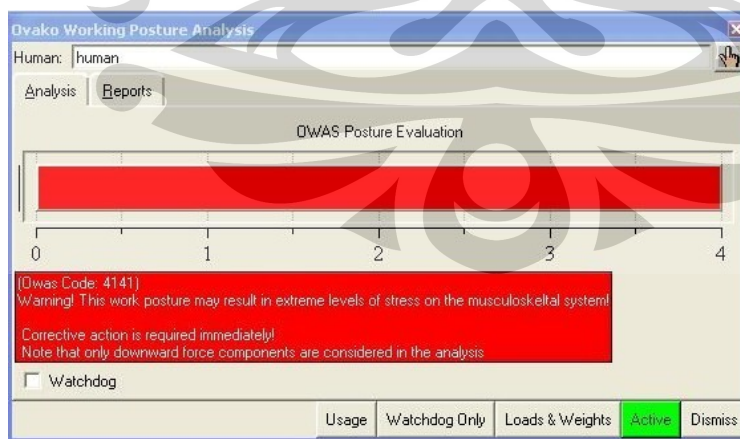
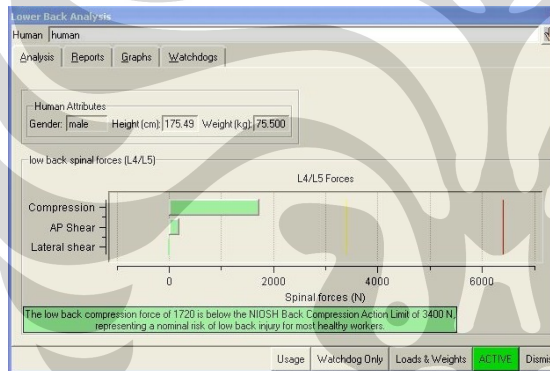
Muscle Use: Normal, no extreme use  
Force/Load: < 2 kg intermittent load  
Arms: Not supported

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

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

Update Analysis

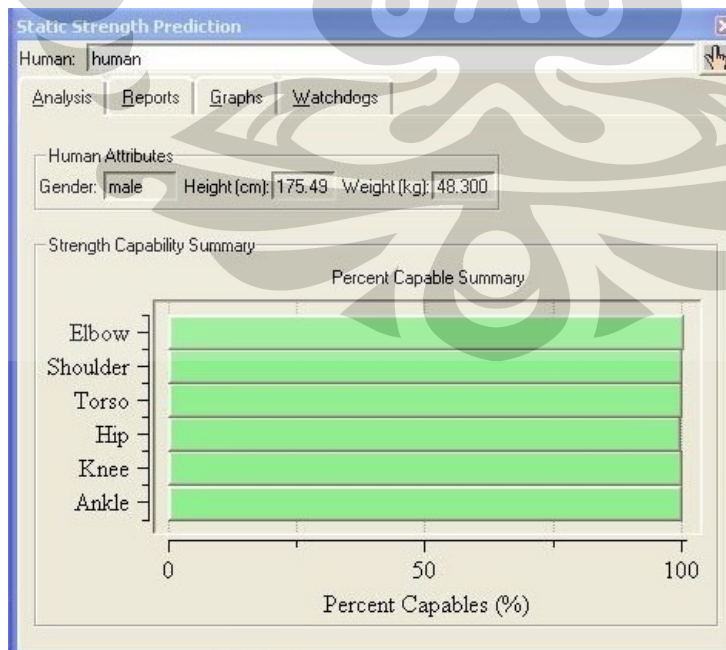
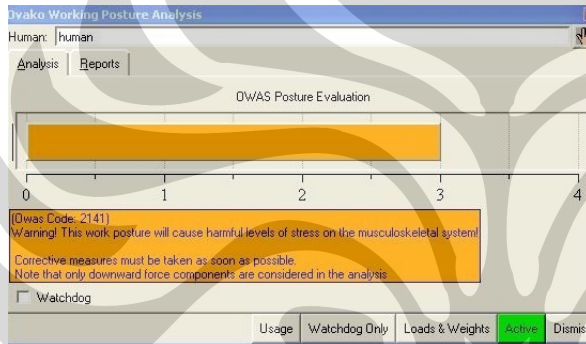
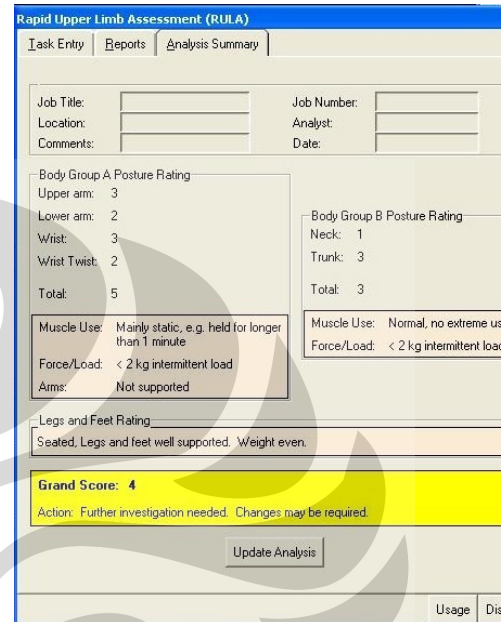
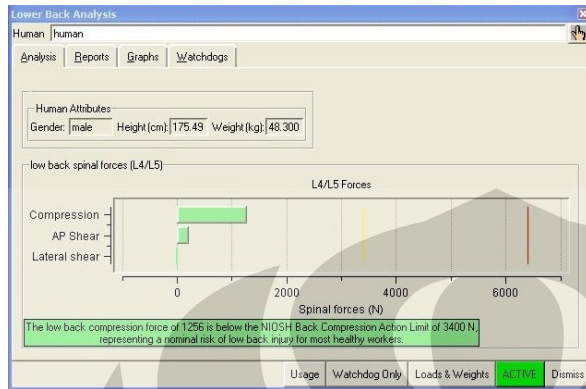
Usage Dismiss



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

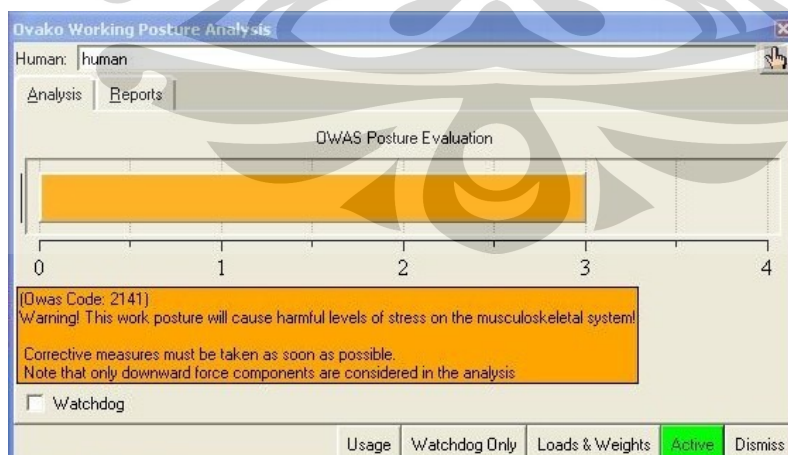
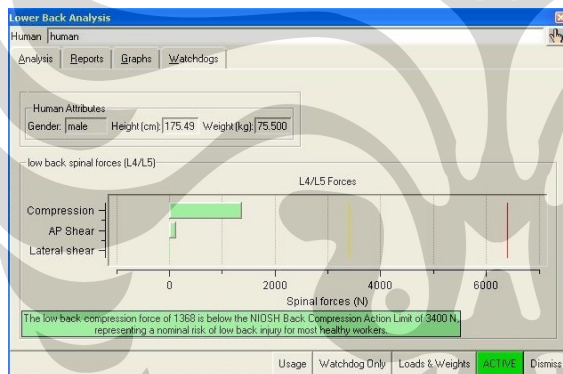
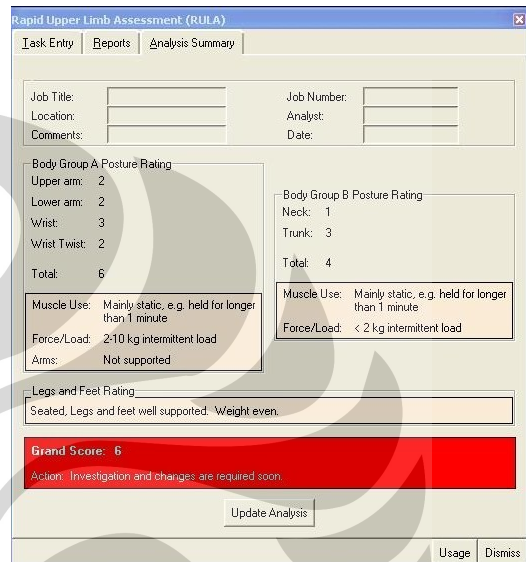
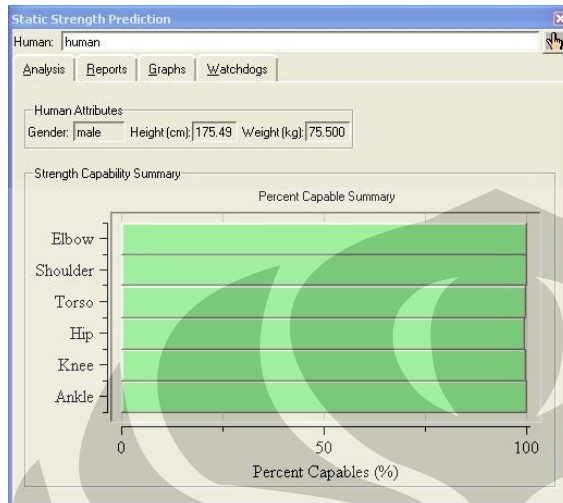
Konfigurasi 7 Persentil 5



## Lampiran 2

### Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

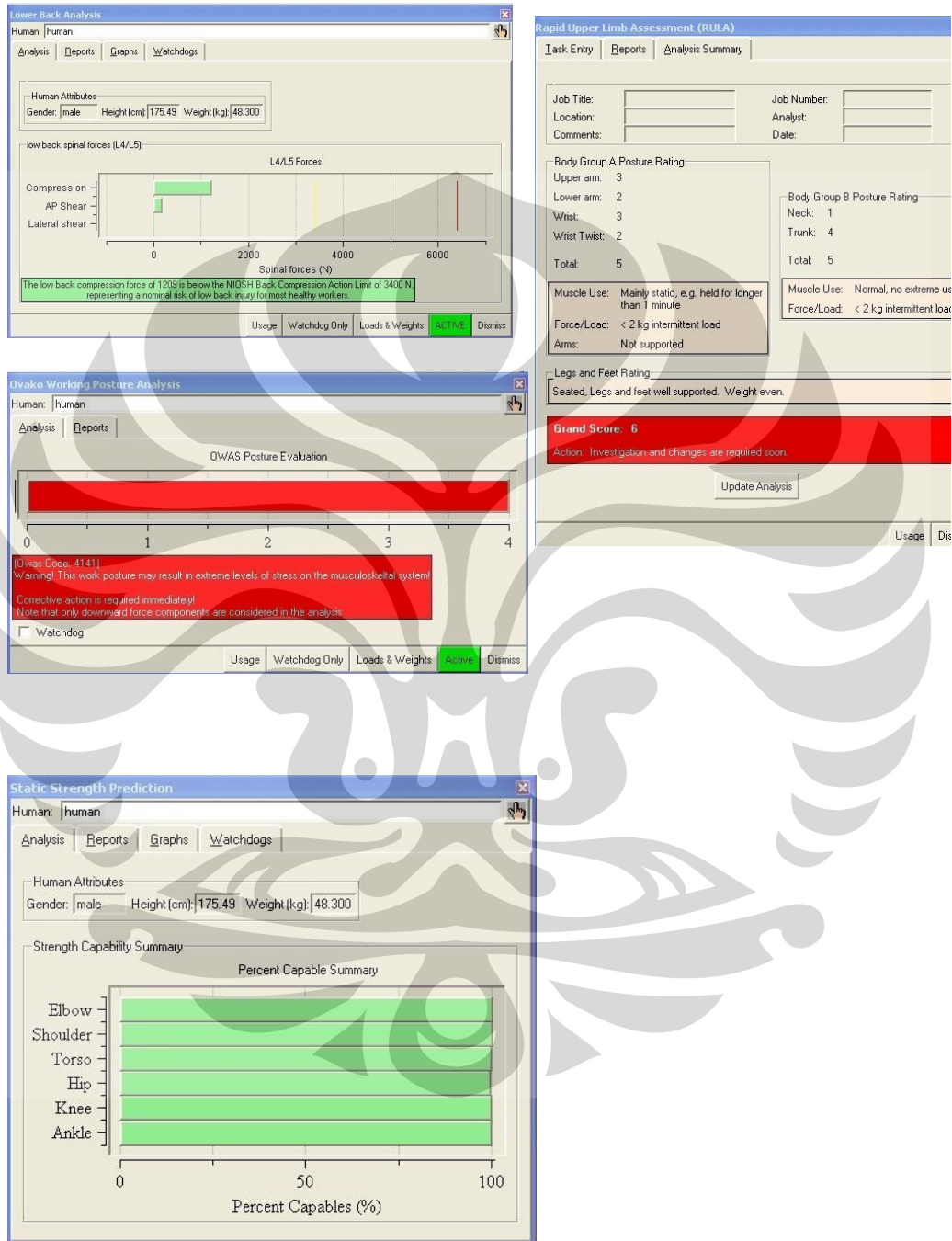
### Konfigurasi 7 Persentil 95



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

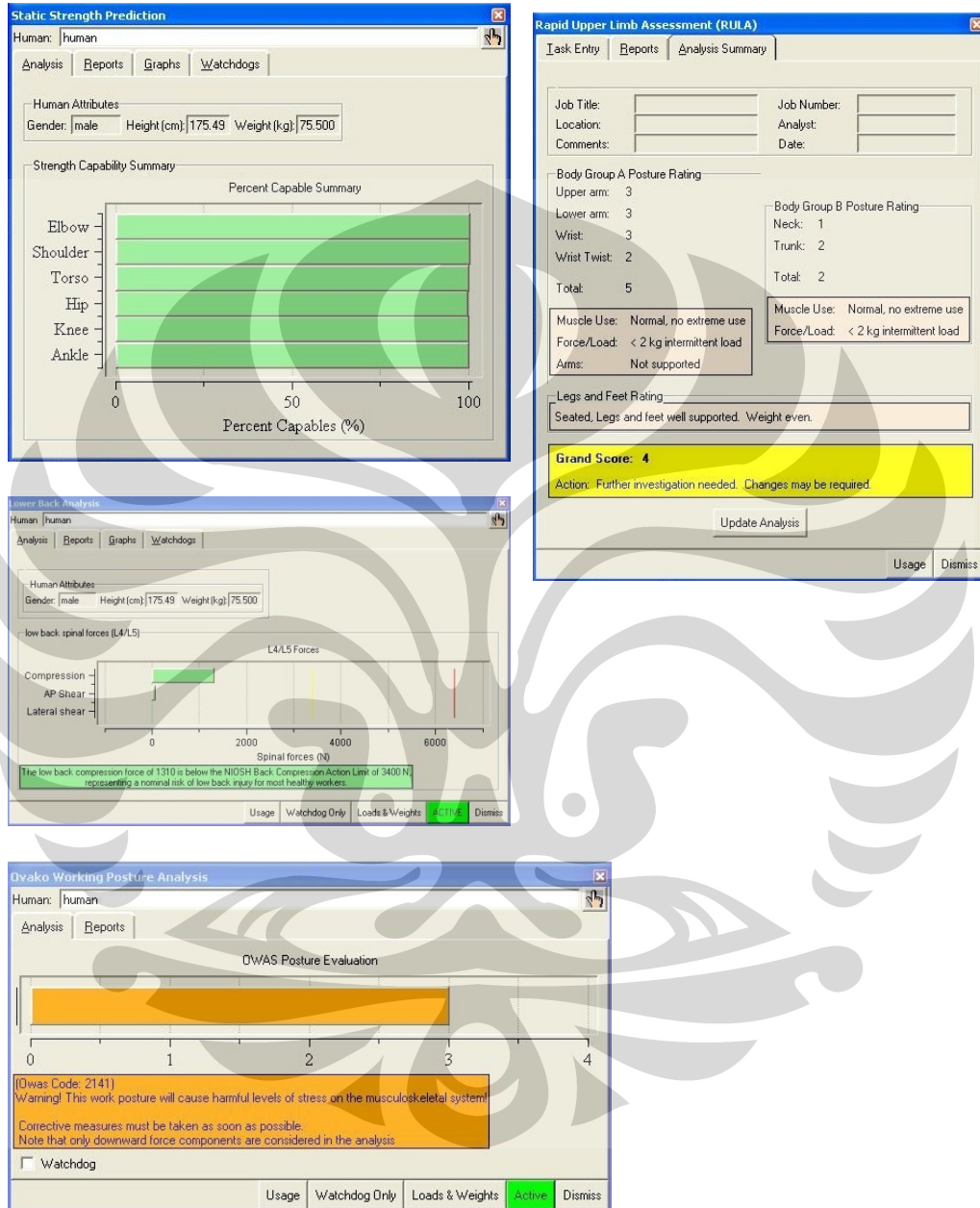
Konfigurasi 8 Persentil 5



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

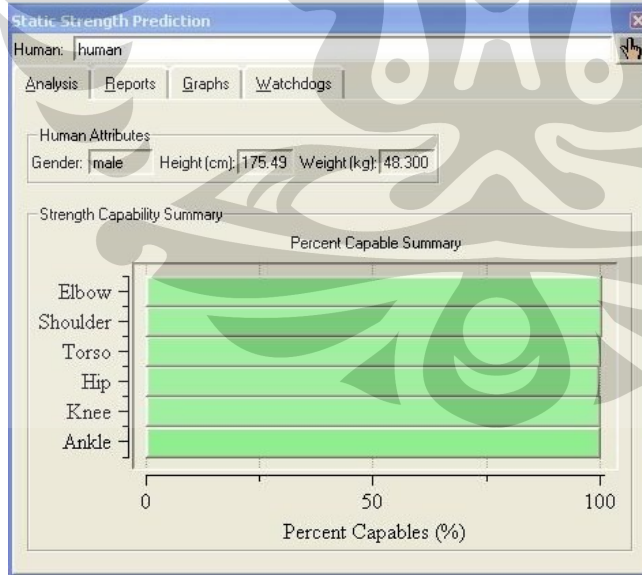
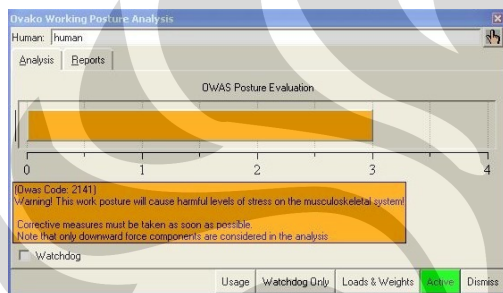
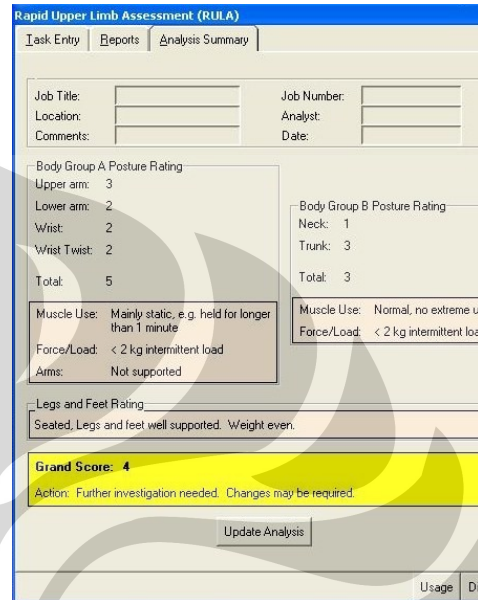
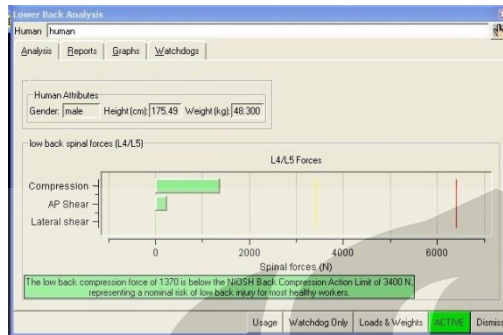
Konfigurasi 8 Persentil 95



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

Konfigurasi 9 Persentil 5



Lampiran 2

Hasil Analisis Jack TAT (lanjutan)

Konfigurasi 9 Persentil 95

