



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS SEPEDA LIPAT TERHADAP PENGENDARA
WANITA DENGAN PENDEKATAN ERGONOMI
MENGUNAKAN *VIRTUAL ENVIRONMENT MODELING***

SKRIPSI

**CINDY ANGGRAINI
04 05 07 0135**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS SEPEDA LIPAT TERHADAP PENGENDARA
WANITA DENGAN PENDEKATAN ERGONOMI
MENGUNAKAN *VIRTUAL ENVIRONMENT MODELING***

SKRIPSI

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

**CINDY ANGGRAINI
04 05 07 0135**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Cindy Anggraini

NPM : 04 05 07 0135

Tanda Tangan :



Tanggal : 10 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Cindy Anggraini
NPM : 0405070135
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Sepeda Lipat terhadap Penedara Wanita dengan Pendekatan Ergonomis Menggunakan *Virtual Environment Modeling*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE

Penguji : Akhmad Hidayatno, S.T., M.BT.

Penguji : Farizal, PhD

Penguji : Ir. M. Dachyar, M.Sc

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE selaku dosen pembimbing utama yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan dukungan untuk menyemangati serta mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini
2. Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE selaku dosen pembimbing penelitian yang telah memberikan begitu banyak saran, kritik, dan bantuan lainnya selama penelitian hingga penyusunan skripsi ini
3. Bapak Agung Prehadi beserta keluarga yang telah banyak membantu penulis dari awal hingga akhir penelitian untuk skripsi ini
4. Ibu Har, Mbak Ana, Mbak Willy, Pak Mursyid, Mas Latief, Mas Iwan, dan Mas Acil selaku karyawan di Departemen Teknik Industri yang telah banyak membantu penulis selama menjalani masa studi
5. Ayahanda, Muwardi Yusuf (Alm.), sebagai sosok ayah yang baik dan orang yang paling sabar yang pernah ditemui penulis. Penulis memberikan rasa hormat, sayang, dan bangga untuk beliau selama ini
6. Anggota keluarga lainnya, Nonie Chaeronie, Dendy Hardiansyah (Alm.), dan Randy Muwardani, yang selalu ada untuk memberikan kasih sayang dan dukungan. Kesabaran dan perhatian mereka telah menjadi motivator yang paling berpengaruh
7. Bapak Cholil Hasan, Ruslan Hasan, dan Chairul Hasan yang telah menjadi inspirasi dan memberi dukungan selama ini

8. Teman-teman seperjuangan (Liza, Bowo, Ijul, Dhani, Nangke, Muthe, Nyoman) yang menjadi tempat bertukar pikiran serta berbagi suka dan duka selama penelitian dan penyusunan skripsi ini
 9. Indriyanti Paramita, Dewi Kartika Suryani, Dian Esti P., Dwinta Utari, Fatimah Al Aina, Intan Nirwani, Najwa Mustafa, dan Nevine Rafa, sahabat terbaik yang telah banyak membantu dalam memberikan masukan, dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
 10. Teman-teman di Teknik Industri angkatan 2005 lainnya yang telah berjuang bersama selama empat tahun terakhir, berbagi kisah suka dan duka serta mimpi-mimpi di masa depan
 11. Andreas Pasaribu, yang selalu ada untuk dukungan yang diberikan selama ini
- Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Depok, 10 Juli 2009

Penulis

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

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

Nama : Cindy Anggraini
NPM : 0405070135
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISIS SEPEDA LIPAT TERHADAP PENGENDARA WANITA
DENGAN PENDEKATAN ERGONOMI MENGGUNAKAN *VIRTUAL ENVIRONMENT MODELING***

beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolanya 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 : 10 Juli 2009

Yang menyatakan

(Cindy Anggraini)

ABSTRAK

Nama : Cindy Anggraini
Departemen : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Sepeda Lipat terhadap Pengendara Wanita dengan Pendekatan Ergonomi Menggunakan *Virtual Environment Modelling*

Penelitian ini akan membahas tentang analisis ergonomi prototipe pertama sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) dengan menggunakan *software jack 6.0* sebagai alat pendekatan *virtual environment modeling*. Penelitian ini akan menilai postur mahasiswa UI dengan adanya *Posture Evaluation Index (PEI)* yang dihitung berdasarkan hasil analisis *software jack 6.0* dan disimulasikan dalam kondisi jalur sepeda UI. Hasil yang dikeluarkan adalah berupa rekomendasi desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan nilai PEI terkecil yaitu desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang memiliki pertambahan ketinggian stang sebesar 20 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI.

Kata Kunci :

Desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, *software Jack 6.0*, *virtual environment modeling*, dan *Posture Evaluation Index (PEI)* .

ABSTRACT

Name : Cindy Anggraini
Department : Industrial Engineering
Title : Folding Bike Ergonomic Analysis Toward Female Bikers
Using Virtual Environment Modeling

The focus of this study is ergonomic analysis of first prototype of folding bike made by Mechanical Engineering University of Indonesia (UI) which uses software Jack 6.0 as the tools of virtual environment modeling. Posture Evaluation Index (PEI) of UI female students will be used as the parameter. Recommended folding bike of Mechanical Engineering UI design has the lowest value of PEI which is folding bike of Mechanical UI with 20 cm height increasing of handlebar from the actual design of folding bike of Mechanical Engineering UI.

Key Words :
Folding bike of Mechanical Engineering UI design, Software Jack 6.0, Virtual Environment Modeling, and Posture Evaluation Index (PEI).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR SINGKATAN.....	xxi
DAFTAR SIMBOL.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
1.3 Perumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Metodologi Penelitian.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Ergonomi	10
2.1.1 Antropometri	12
2.1.2 Musculoskeletal Disorder.....	18
2.2 Permodelan dan Simulasi.....	20
2.3 <i>Virtual Reality Environment</i>	27
2.3.1 <i>Software AutoCAD</i>	28

	Halaman
2.3.2 <i>Software Solidworks 2007</i>	29
2.3.3 <i>Software Jack 6.0.</i>	29
2.3.4 Metode PEI (<i>Posture Evaluation Index Method</i>)	33
2.4 Perkembangan Sepeda Lipat	42
2.4.1 Elemen Sepeda	48
2.4.2 Gaya Kayuh Sepeda	50
BAB 3 METODE PENELITIAN	53
3.1 Pengumpulan Data	53
3.1.1 Spesifikasi Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI	53
3.1.1.1 Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia	53
3.1.1.2 Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia ...	55
3.1.2 Antropometri Mahasiswi UI.....	57
3.1.3 Tanjakan Pada Lintasan Sepeda Universitas Indonesia	64
3.1.4 Waktu Untuk Simulasi <i>Virtual Environment</i>	71
3.2 Perancangan Model	73
3.2.1 Perancangan Model Dengan <i>Software Jack 6.0.</i>	75
3.2.2 Perhitungan Gaya Pada Simulasi <i>Virtual Environment</i> Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI	94
3.2.3 Konfigurasi Desain Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI.....	96
3.2.4 Pengujian Model.....	97
BAB 4 PEMBAHASAN	103
4.1 Simulasi Menggunakan <i>Software Jack 6.0.</i>	103
4.2 Nilai PEI Desain Aktual Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI	105
4.2.1 Model Aktual Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI.....	105
4.2.1.1 Lintasan Menanjak	106
4.2.1.2 Lintasan Mendatar	108
4.3 Nilai PEI Desain Usulan Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI	109
4.3.1 Nilai PEI Konfigurasi 2	109
4.3.1.1 Lintasan Menanjak	110
4.3.1.2 Lintasan Mendatar	111
4.3.2 Nilai PEI Konfigurasi 3	111

	Halaman
4.3.2.1 Lintasan Menanjak.....	112
4.3.2.2 Lintasan Mendatar.....	113
4.3.3 Nilai PEI Konfigurasi 4.....	113
4.3.3.1 Lintasan Menanjak.....	114
4.3.3.2 Lintasan Mendatar.....	115
4.3.4 Nilai PEI Konfigurasi 5.....	115
4.3.4.1 Lintasan Menanjak.....	116
4.3.4.2 Lintasan Mendatar.....	117
4.3.5 Nilai PEI Konfigurasi 6.....	117
4.3.5.1 Lintasan Menanjak.....	118
4.3.5.2 Lintasan Mendatar.....	119
4.3.6 Nilai PEI Konfigurasi 7.....	119
4.3.6.1 Lintasan Menanjak.....	120
4.3.6.2 Lintasan Mendatar.....	121
4.3.7 Nilai PEI Konfigurasi 8.....	121
4.3.7.1 Lintasan Menanjak.....	122
4.3.7.2 Lintasan Mendatar.....	123
4.3.8 Nilai PEI Konfigurasi 9.....	123
4.3.8.1 Lintasan Menanjak.....	124
4.3.8.2 Lintasan Mendatar.....	124
4.4 Analisis Hasil Nilai PEI (<i>Posture Evaluation Index</i>).....	125
4.4.1 Analisis Nilai Static Strength Prediction (SSP).....	125
4.4.2 Analisis Nilai <i>Lower Back Analysis</i> (LBA).....	125
4.4.3 Analisis Rapid Upper Limb Assessment (RULA).....	128
4.4.4 Analisis Ovako Working Posture Analysis (OWAS).....	129
4.4.5 Analisis Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita.....	131
4.4.6 Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Antara Pengendara Wanita dan Pengendara Pria.....	133
4.4.7 Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Dengan Sepeda UI Terhadap Pengendara Wanita.....	137

	Halaman
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	140
5.1 Kesimpulan.....	140
5.2 Saran.....	141
DAFTAR REFERENSI	142



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. 1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1. 2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 2. 1 Struktur Tubuh Manusia.....	12
Gambar 2. 2 Pengukuran Antropometri.....	14
Gambar 2. 3 Distribusi Frekuensi Tinggi Tubuh Pria di Amerika.....	16
Gambar 2. 4 <i>Flowchart</i> Pembuatan Simulasi.....	23
Gambar 2. 5 Tiga Komponen <i>Virtual Reality</i>	28
Gambar 2. 6 Contoh Tampilan <i>Software AutoCAD</i>	29
Gambar 2. 7 Contoh Tampilan <i>Software Jack</i>	31
Gambar 2. 8 Tampilan <i>Low Back Analysis</i> pada <i>Software Jack 6.0</i>	35
Gambar 2. 9 Tampilan Ovako Working Posture Analysis System (OWAS).....	40
Gambar 2. 10 Tampilan RULA pada <i>Software Jack 6.0</i>	41
Gambar 2. 11 Diagram alir metode PEI.....	42
Gambar 2. 12 Model Sepeda “Draisienne”.....	43
Gambar 2. 13 Model Sepeda “Velocipede”.....	43
Gambar 2. 14 Model Sepeda Aman.....	44
Gambar 2. 15 Model Sepeda Lipat Wiliam Grout.....	44
Gambar 2. 16 Model Sepeda Lipat Michael B. Ryan.....	45
Gambar 2. 17 Model Sepeda Lipat Henry Gérard.....	45
Gambar 2. 18 Model Sepeda Lipat William Crowe.....	46
Gambar 2. 19 Model Sepeda Compax.....	46
Gambar 2. 20 Model Sepeda Compax Terbaru.....	47
Gambar 2. 21 Model Sepeda Lipat Raleigh Twenty Stowaway.....	47
Gambar 2. 22 Model Sepeda Lipat Dahon dan Dr. David Hon.....	48
Gambar 2. 23 Elemen-Elemen Sepeda.....	49
Gambar 2. 24 Kerangka (<i>Frame</i>) Sepeda.....	50
Gambar 2. 25 Sistem Gaya pada Roda dan Gir Sepeda.....	52

Halaman

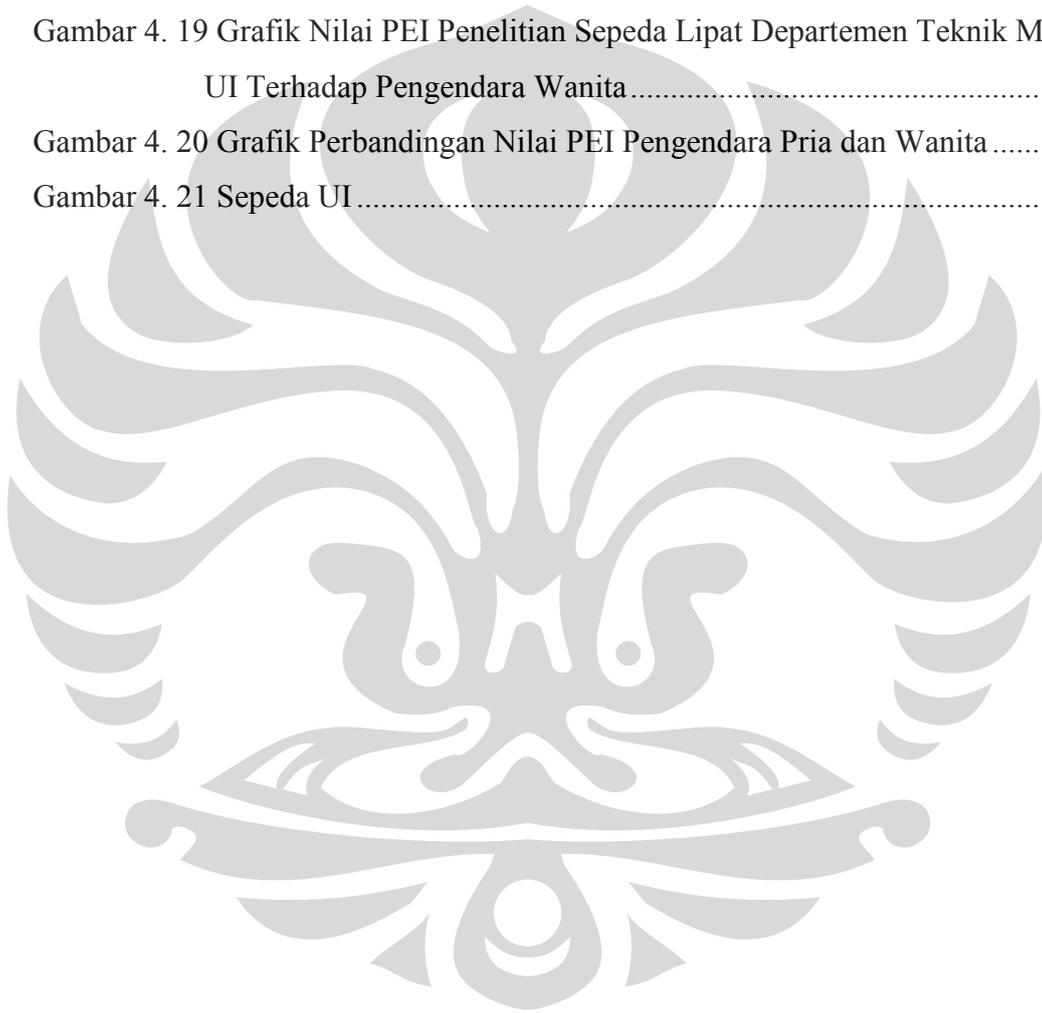
Gambar 3. 1 Prototipe Satu Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI.....	55
Gambar 3. 2 Lipatan Sepeda	57
Gambar 3. 3 Desain Aktual Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI.....	57
Gambar 3. 4 Dimensi Antropometri Yang Dipakai	59
Gambar 3. 5 Pengambilan Data Antropometri.....	60
Gambar 3. 6 Perhitungan Persentil Antropometri <i>Microsoft Excel</i>	61
Gambar 3. 7 Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan Mahasiswi UI.....	63
Gambar 3. 8 Hasil Uji Normalitas Data Berat Badan Mahasiswi UI.....	64
Gambar 3. 9 Denah Lintasan Menanjak yang Diambil.....	65
Gambar 3. 10 Alat Theodolit	66
Gambar 3. 11 Pengukuran Tanjakan Pada Lintasan Sepeda UI.....	67
Gambar 3. 12 Persen Kemiringan Lintasan menanjak Pusgiwa	67
Gambar 3. 13 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Menara Air.....	67
Gambar 3. 14 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Balairung (Parkiran)	68
Gambar 3. 15 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Balairung (Danau)	68
Gambar 3. 16 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Fakultas Ekonomi UI.....	68
Gambar 3. 17 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Gerbang UI 1	68
Gambar 3. 18 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Gerbang UI 2	69
Gambar 3. 19 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Halte UI	69
Gambar 3. 20 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Mang Engking	69
Gambar 3. 21 Penggunaan Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI	72
Gambar 3. 22 Format Import Data <i>Software Jack 6.0</i>	74
Gambar 3. 23 Tampilan Sepeda Pada <i>Software Jack 6.0</i>	76
Gambar 3. 24 Tampilan Membuat <i>Virtual Human</i>	76
Gambar 3. 25 Kotak Dialog <i>Create Human</i>	77
Gambar 3. 26 Kotak Dialog <i>Advanced Human Scaling</i>	78
Gambar 3. 27 Tampilan <i>Command Human Control</i>	79
Gambar 3. 28 Tampilan Pembuatan <i>Joints</i> Pada Sepeda.....	80
Gambar 3. 29 Tampilan Keterangan <i>Joints</i> Sepeda.....	80
Gambar 3. 30 Tampilan Perintah Meng- <i>import</i> Model Tanjakan.....	81
Gambar 3. 31 Tampilan <i>Import Log Window</i>	82

Halaman

Gambar 3. 32 Tampilan Model Tanjakan Setelah Di-import	82
Gambar 3. 33 Tampilan Simulasi Sepeda Lipat UI Dengan Pengendara Wanita. 83	83
Gambar 3. 34 Tampilan <i>Command Box Animation System</i>	83
Gambar 3. 35 Tampilan <i>Loads and Weights Box</i>	84
Gambar 3. 36 Tampilan <i>Static Strenght Prediction</i>	85
Gambar 3. 37 Tampilan Persen Kapabilitas SSP	86
Gambar 3. 38 Tampilan Nilai RULA.....	87
Gambar 3. 39 Tampilan Nilai OWAS.....	89
Gambar 3. 40 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh	90
Gambar 3. 41 Tampilan Nilai LBA.....	92
Gambar 3. 42 <i>Command Loads And Weights</i>	95
Gambar 3. 43 Verifikasi Model	98
Gambar 3. 44 Nilai LBA Untuk Beban Bahu 4 kg	99
Gambar 3. 45 Tampilan Kotak Loads and Weights Untuk Beban Bahu 4 kg	99
Gambar 3. 46 Nilai LBA Untuk Beban Bahu 10 kg	100
Gambar 3. 47 Tampilan Kotak Loads and Weights Untuk Beban Bahu 10 kg ..	100
Gambar 3. 48 Nilai LBA Untuk Beban Bahu 20 kg	101
Gambar 3. 49 Tampilan Kotak Loads and Weights Untuk Beban Bahu 20 kg ..	102
Gambar 4. 1 Variabel Ubahan Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI.....	104
Gambar 4. 2 Konfigurasi 1	105
Gambar 4. 3 Grafik SSP Konfigurasi 1 Pada Lintasan Menanjak	106
Gambar 4. 4 Nilai LBA Konfigurasi 1	107
Gambar 4. 5 Nilai RULA Konfigurasi 1	107
Gambar 4. 6 Nilai OWAS Konfigurasi 1	108
Gambar 4. 7 SSP Konfigurasi 1 Pada Lintasan Mendatar	109
Gambar 4. 8 Konfigurasi 2.....	110
Gambar 4. 9 Konfigurasi 3	112
Gambar 4. 10 Konfigurasi 4.....	114
Gambar 4. 11 Konfigurasi 5	116
Gambar 4. 12 Konfigurasi 6	118
Gambar 4. 13 Konfigurasi 7	120

Halaman

Gambar 4. 14 Konfigurasi 8.....	122
Gambar 4. 15 Konfigurasi 9.....	123
Gambar 4. 16 Tampilan Postur <i>Virtual Human</i> Untuk Konfigurasi ketiga	127
Gambar 4. 17 Tampilan Postur <i>Virtual Human</i> Untuk Konfigurasi Kelima	127
Gambar 4. 18 Nilai OWAS Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita	130
Gambar 4. 19 Grafik Nilai PEI Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita.....	132
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pengendara Pria dan Wanita.....	135
Gambar 4. 21 Sepeda UI.....	138



DAFTAR TABEL

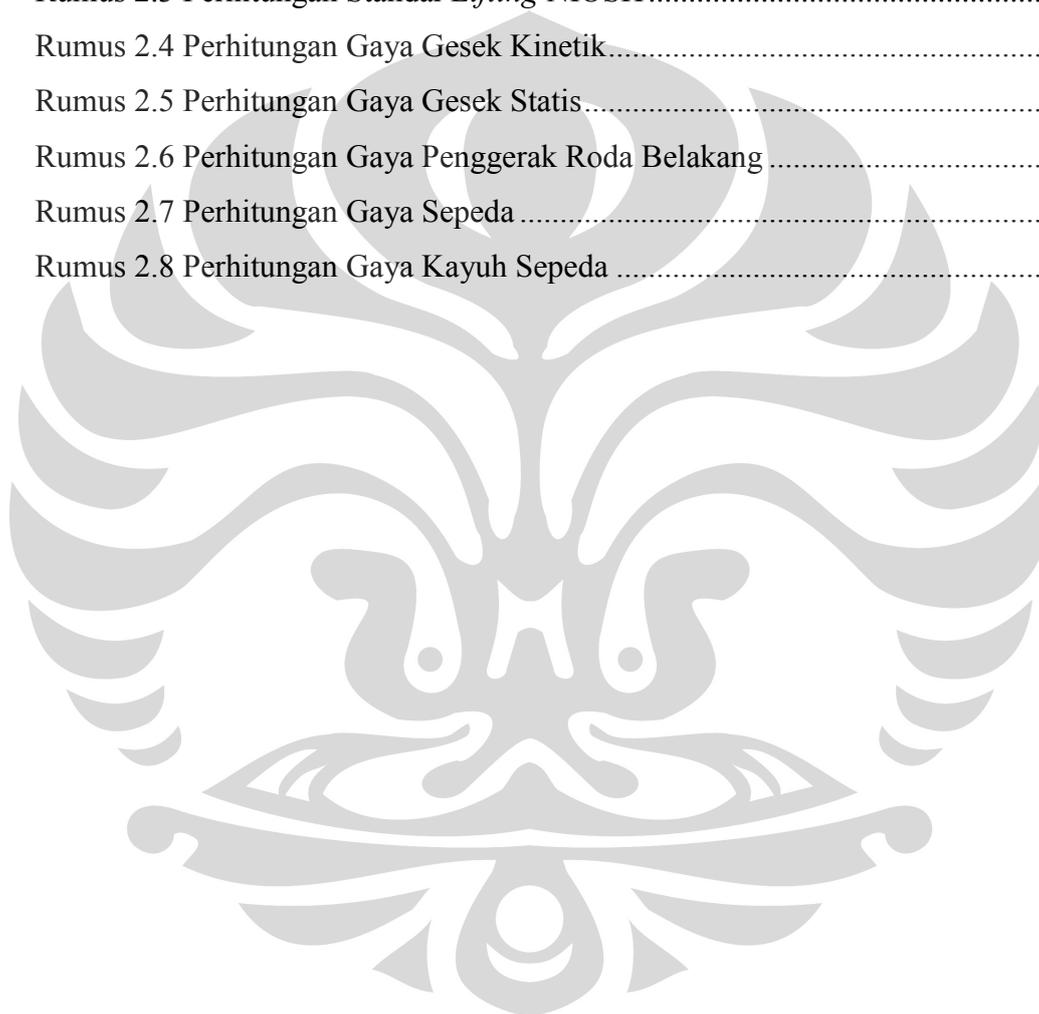
	Halaman
Tabel 2. 1. Penjelasan Pengukuran Persentil	16
Tabel 2. 2. Nilai Faktor k untuk Setiap Persentil	17
Tabel 2. 3. <i>Horizontal Multiplier</i>	36
Tabel 2. 4. <i>Assymetric Multiplier</i>	37
Tabel 2. 5. <i>Vertical Multiplier</i>	37
Tabel 2. 6. <i>Distance Multiplier</i>	38
Tabel 2. 7. <i>Frecuency Multiplier</i>	38
Tabel 2. 8. RULA: Nilai dan Indikasi	41
Tabel 2. 9. Koefisien Gesek Permukaan Karet dengan Aspal dan Semen	51
Tabel 3. 1. Cara Pengambilan Dimensi Antropometri	59
Tabel 3. 2. Daftar Persentil Antropometri Mahasiswi UI	62
Tabel 3. 3. Rekapitulasi Data Kemiringan Lintasan Menanjak	70
Tabel 3. 4. Halte Terdekat Untuk Kondisi <i>Steady State</i>	72
Tabel 3. 5. Data Waktu Untuk Tanjakan Gerbang UI 2	73
Tabel 3. 6. Kode OWAS Untuk Angka Pertama, Kedua, dan Ketiga	91
Tabel 3. 7. Kode OWAS Untuk Angka Terakhir	91
Tabel 3. 8. Konfigurasi Desain Sepeda Lipat	97
Tabel 4. 1. Keterangan Konfigurasi Desain Sepeda Lipat	104
Tabel 4. 2. Nilai Analisis Konfigurasi 2 Pada Lintasan Menanjak	110
Tabel 4. 3. Nilai Analisis Konfigurasi 2 Pada Lintasan Mendatar	111
Tabel 4. 4. Nilai Analisis Konfigurasi 3 Pada Lintasan Menanjak	112
Tabel 4. 5. Nilai Analisis Konfigurasi 3 Pada Lintasan Mendatar	113
Tabel 4. 6. Nilai Analisis Konfigurasi 4 Pada Lintasan Menanjak	114
Tabel 4. 7. Nilai Analisis Konfigurasi 4 Pada Lintasan Mendatar	115
Tabel 4. 8. Nilai Analisis Konfigurasi 5 Pada Lintasan Menanjak	116
Tabel 4. 9. Nilai Analisis Konfigurasi 5 Pada Lintasan Mendatar	117
Tabel 4. 10. Nilai Analisis Konfigurasi 6 Pada Lintasan Menanjak	118
Tabel 4. 11. Nilai Analisis Konfigurasi 6 Pada Lintasan Mendatar	119

Halaman

Tabel 4. 12. Nilai Analisis Konfigurasi 7 Pada Lintasan Menanjak	120
Tabel 4. 13. Nilai Analisis Konfigurasi 7 Pada Lintasan Mendatar	121
Tabel 4. 14. Nilai Analisis Konfigurasi 8 Pada Lintasan Menanjak	122
Tabel 4. 15. Nilai Analisis Konfigurasi 8 Pada Lintasan Mendatar	123
Tabel 4. 16. Nilai Analisis Konfigurasi 9 Pada Lintasan Menanjak	124
Tabel 4. 17. Nilai Analisis Konfigurasi 9 Pada Lintasan Mendatar	125
Tabel 4. 18. Nilai LBA Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita	126
Tabel 4. 19. Nilai RULA Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita dengan Metode PEI	128
Tabel 4. 20. Nilai PEI Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita	131
Tabel 4. 21. Nilai PEI Pengendara Wanita	134
Tabel 4. 22. Nilai PEI Pengendara Pria	134
Tabel 4. 23. Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Dengan Sepeda UI Terhadap Pengendara Wanita	137

DAFTAR RUMUS

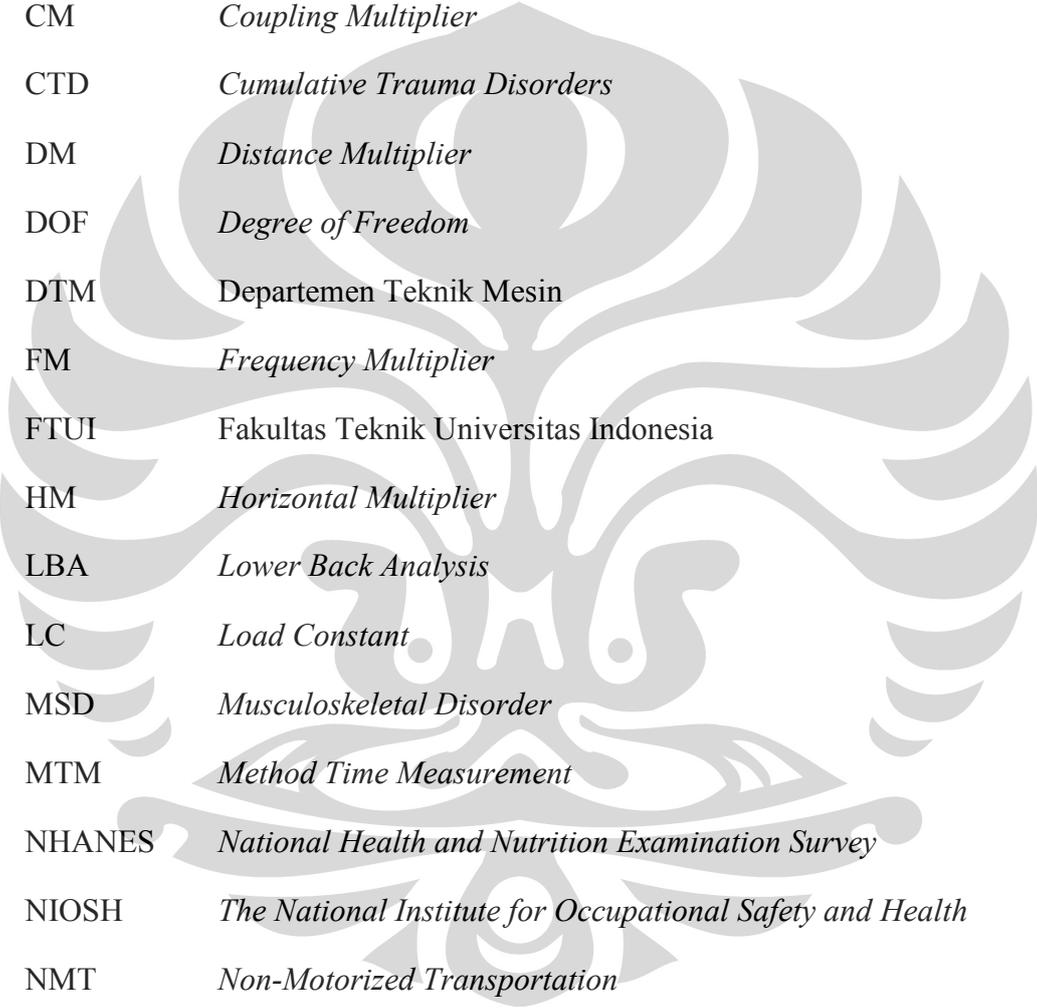
	Halaman
Rumus 2.1 Perhitungan Persentil	16
Rumus 2.2 Perhitungan Nilai PEI	33
Rumus 2.3 Perhitungan Standar <i>Lifting</i> NIOSH	35
Rumus 2.4 Perhitungan Gaya Gesek Kinetik	51
Rumus 2.5 Perhitungan Gaya Gesek Statis	51
Rumus 2.6 Perhitungan Gaya Penggerak Roda Belakang	51
Rumus 2.7 Perhitungan Gaya Sepeda	51
Rumus 2.8 Perhitungan Gaya Kayuh Sepeda	52



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1:	Hasil Data Antropometri
Lampiran 2:	Data Persen Kemiringan Beberapa Tanjakan Pada Lintasan Sepeda UI
Lampiran 3:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 1 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 4:	Contoh Tampilan <i>Lower Back Analysis</i> Pada <i>Software Jack 6.0</i>
Lampiran 5:	Pemberian Nilai Pada <i>Loads and Weights</i>
Lampiran 6:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 2 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 7:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 3 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 8:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 4 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 9:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 5 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 10:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 6 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 11:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 7 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 12:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 8 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 13:	Nilai <i>Low Back Analysis</i> Konfigurasi 9 Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 14:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 1 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 15:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 2 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 16:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 3 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 17:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 4 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 18:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 5 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 19:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 6 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 20:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 7 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 21:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 8 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 22:	Nilai <i>Lower Back Analysis</i> Konfigurasi 9 Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 23:	<i>Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP)</i> Pada Lintasan Menanjak
Lampiran 24:	<i>Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP)</i> Pada Lintasan Mendatar
Lampiran 25:	Tampilan Postur Seluruh Konfigurasi
Lampiran 26:	Tampilan Laporan Nilai OWAS Seluruh Konfigurasi

DAFTAR SINGKATAN



AM	<i>Assymmetric Multiplier</i>
ANSUR	<i>Army Antropometric Survey</i>
BBM	Bahan Bakar Minyak
CAESAR	<i>Civilian American and European Surface Anthropometry</i>
CM	<i>Coupling Multiplier</i>
CTD	<i>Cumulative Trauma Disorders</i>
DM	<i>Distance Multiplier</i>
DOF	<i>Degree of Freedom</i>
DTM	Departemen Teknik Mesin
FM	<i>Frequency Multiplier</i>
FTUI	Fakultas Teknik Universitas Indonesia
HM	<i>Horizontal Multiplier</i>
LBA	<i>Lower Back Analysis</i>
LC	<i>Load Constant</i>
MSD	<i>Musculoskeletal Disorder</i>
MTM	<i>Method Time Measurement</i>
NHANES	<i>National Health and Nutrition Examination Survey</i>
NIOSH	<i>The National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NMT	<i>Non-Motorized Transportation</i>
OWAS	<i>Ovako Working Posture Analysis</i>
PEI	<i>Posture Evaluation Index</i>
RMI	<i>Repetitive Motion Injur</i>
RSI	<i>Repetitive Strain Injuries</i>
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i>

RWL	<i>Recommended Weight Limit</i>
SSP	<i>Static Strength Prediction</i>
UI	Universitas Indonesia
VE	<i>Virtual Environment</i>
VM	<i>Vertical Multiplier</i>
VRM	<i>Virtual Reality Modeling</i>



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
a	Percepatan Sepeda	m/s^2
f_k	Gaya Gesek Kinetik	Newton
F_{rb}	Gaya Penggerak Roda Belakang	Newton
F_p	Gaya Kayuh Sepeda	Newton
f_s	Gaya Gesek Statik	Newton
L_{tp}	Panjang Tuas Sepeda	cm
N	Gaya Normal	Newton
M	Massa Sepeda	Kg
m	Massa Gir Sepeda	Kg
R	Jari-Jari Sepeda	cm
V_{gd}	Kecepatan Linier Roda Depan	m/s
V_{gb}	Kecepatan Linier Roda Belakang	m/s
μ_k	Koefisien Gesek Kinetik	-
μ_s	Koefisien Gesek Statik	-
ω_{gd}	Omega Gir Depan	1/s
ω_{gb}	Omega Gir Belakang	1/s

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang masalah yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) terhadap pengendara wanita dengan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment modeling* beserta rumusan dan hal-hal yang membatasinya. Selain itu, dalam bab ini juga akan dibahas mengenai tujuan penelitian serta metodologi penelitian yang digunakan dalam melakukan penelitian.

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Permasalahan pemanasan global (*global warming*) saat ini sudah mulai banyak dibicarakan oleh masyarakat. Pemanasan global akan memberikan dampak yang berbahaya baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap manusia. Kenaikan permukaan air laut, ketidakstabilan iklim, dan pergeseran ekosistem yang akan berdampak pada penyebaran berbagai penyakit merupakan dampak yang akan dihasilkan oleh adanya pemanasan global. Hal ini yang menjadikan para instansi pemerintah maupun swasta terus mencari solusi dalam menghadapi masalah pemanasan global.

Universitas Indonesia sebagai salah satu lembaga inovatif, terstruktur, dan terorganisir terus berusaha memberikan solusi kepada masyarakat dan pemerintah dalam menghadapi permasalahan pemanasan global (*global warming*). Hal ini yang mendasari Universitas Indonesia melakukan tindakan untuk menjadi *green campus*. Salah satu contohnya adalah pembuatan jalur sepeda yang melewati seluruh fakultas yang berada di dalam lingkungan kampus UI di Depok. Hal ini bertujuan untuk mengurangi mahasiswa dalam penggunaan kendaraan bermotor. Sehingga, pada masa mendatang sepeda yang beroperasi di wilayah kampus UI akan menjadi alat transportasi bagi mahasiswa di dalam lingkungan kampus.

Sepeda merupakan salah satu alternatif alat transportasi yang hemat energi. Hal ini disebabkan karena sepeda termasuk moda transportasi yang tidak

bermotor (*non-motorized transportation* atau NMT)¹ sehingga tidak membutuhkan bahan bakar minyak (BBM). Penggunaan sepeda mempunyai banyak manfaat khususnya manfaat yang berhubungan dengan lingkungan. Penggunaan sepeda akan mengurangi penggunaan bahan bakar minyak yang sedang mengalami krisis pada saat ini. Penggunaan sepeda juga akan mengurangi jumlah gas karbondioksida (CO₂) di dalam udara yang berpotensi mengakibatkan efek gas rumah kaca dan pada akhirnya akan menyebabkan pemanasan global (*global warming*)².

Jalur sepeda yang telah dibangun UI memiliki panjang total jalur sepeda sekitar 20 km yang menghubungkan pusat-pusat kegiatan di Universitas Indonesia secara saling terhubung. Jalur sepeda UI ini dilengkapi halte sepeda, tempat parkir, pos, *water contain* (tempat pengisian air minum), dan beberapa unit sepeda. Unit sepeda yang akan tersedia akan berjumlah 1000 buah sepeda yang merupakan hasil kerjasama antara pihak Universitas Indonesia dengan pemasok sepeda yaitu Polygon, dan saat ini sepeda yang beroperasi baru berjumlah 300 buah. Pembuatan fasilitas jalur sepeda UI ditujukan untuk digunakan oleh mahasiswa yang masih berkuliah di kampus UI dengan menggunakan sistem *free of charge* atau gratis.

Di lain pihak, Departemen Teknik Mesin UI telah mengembangkan desain sepeda lipat yang merupakan salah satu kebanggaan Universitas Indonesia. Sepeda lipat ini diprediksikan dapat dijadikan sepeda UI yang melintas di dalam lintasan sepeda UI. Hal ini diperkuat oleh beberapa faktor seperti masa waktu pemakaian sepeda UI yang sudah ada, dan pemanfaatan sepeda lipat yang telah dibuat oleh Departemen Teknik Mesin UI yang akan diproduksi massal ke masyarakat. Sepeda lipat ini masih belum didasari oleh penelitian ilmiah yang berkaitan dengan ergonomi.

¹ Guitink,P., Holste S., dan Lebo J. *Non-motorized transport: confronting poverty through affordable mobility*. 1994, <http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/publicat/td-ut4.htm>

² Perangi Pemanasan Global dengan Bersepeda. (11 November 2008). *Monitor Depok*. 2008 http://www.ui.edu/download/kliping/111108/Perangi_Pemanasan_dengan_Bersepeda.pdf

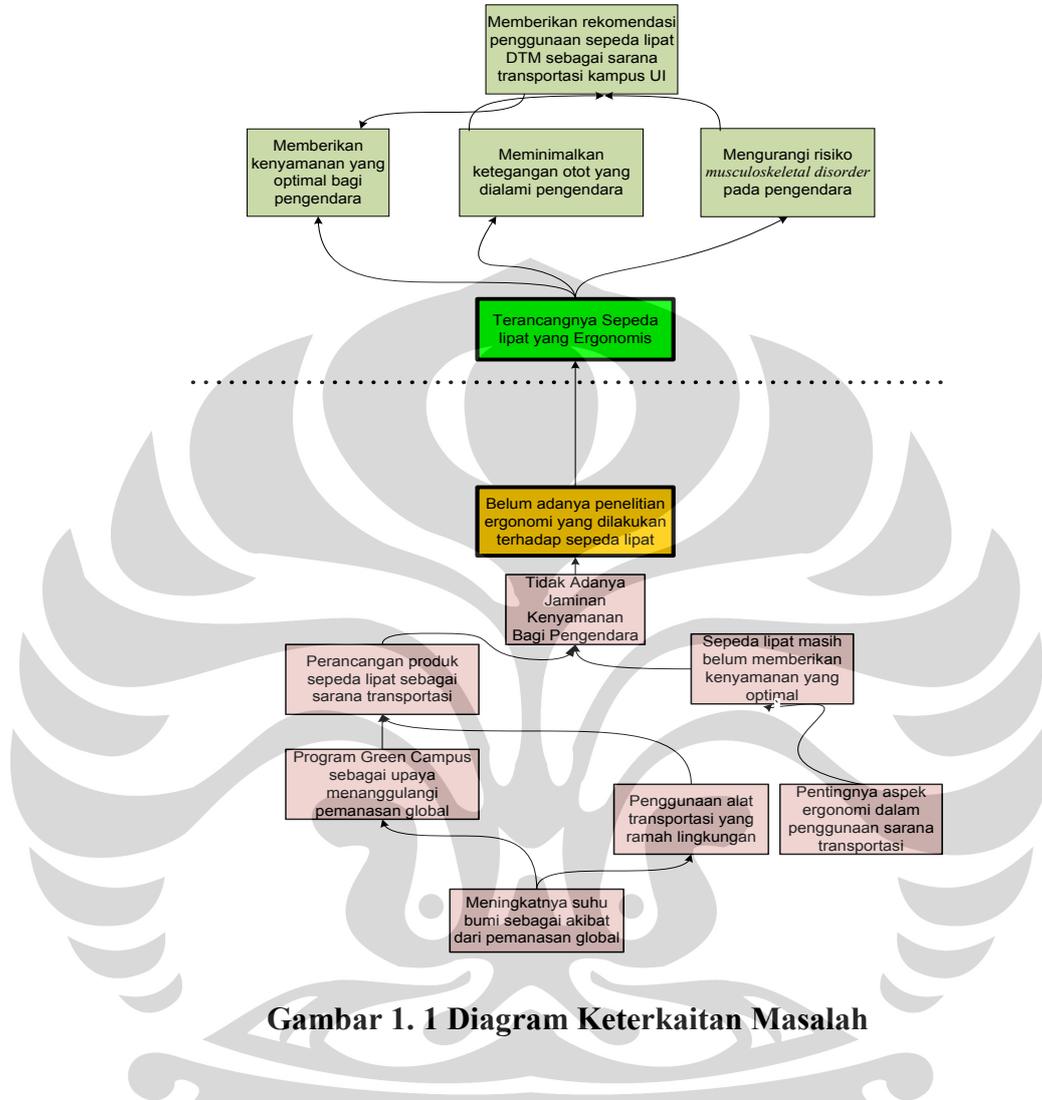
Penelitian ergonomi ini diperlukan untuk mengetahui apakah sepeda lipat ini telah memenuhi kriteria ergonomi untuk digunakan pengendaranya. Hal ini yang melatarbelakangi perlunya untuk dilakukan penelitian ergonomi terhadap sepeda lipat yang dibuat oleh Departemen Teknik Mesin UI.

Ergonomi adalah suatu ilmu yang mempelajari interaksi manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai sehingga dapat berperan untuk menyelesaikan masalah ketidakserasian manusia dengan peralatan yang dipakai³. Analisis aspek ergonomi yang akan dilakukan terhadap sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini akan memperhatikan tiga aspek penting dalam desain sepeda yang berhubungan erat dengan pengendaranya yaitu stang (*handle bar*), bangku (*saddle*), dan pedal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis ketegangan otot / syaraf (*muscle tension*) yang dialami oleh pengendara wanita saat mengendarai sepeda lipat pada kondisi lintasan menanjak yang signifikan dan lintasan mendatar pada lintasan sepeda UI. Ketegangan otot / syaraf (*muscle tension*) memiliki kaitan dengan kenyamanan seseorang saat mengendarai sepeda dan menunjukkan apakah desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini sudah ergonomis bagi penggunaannya sehingga nyaman dan aman dikendarai.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Diagram keterkaitan dibuat untuk melihat gambaran umum bagaimana masalah-masalah yang ada saling berhubungan. Dengan adanya diagram keterkaitan ini, maka dapat diketahui apa tujuan yang ingin dicapai. Di bawah ini merupakan diagram keterkaitan analisis ergonomis sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan menggunakan teknik *virtual human modeling*.

³ Bridger.R.S,*Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995: hal.1.



Gambar 1. 1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka didapatkan permasalahan yang akan dibahas di dalam skripsi ini yaitu belum adanya penelitian ergonomi terhadap sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap mahasiswa UI. Sehingga, didapatkan hipotesis awal adalah sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini belum memenuhi aspek ergonomis yang dapat memberikan kenyamanan pengendara sepeda UI, dan meminimalkan kemungkinan cedera dan kelelahan pengendaranya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Analisis sisi ergonomis dari sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang telah ada.
2. Simulasi permodelan *virtual* dari proses mengendarai sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI oleh mahasiswi UI yang dapat dimanfaatkan untuk analisis kondisi spesifikasi sepeda yang ergonomis
3. Memberikan hasil berupa rekomendasi rancangan desain sepeda lipat yang telah memenuhi standar ergonomi dan memberikan kenyamanan bagi pengendaranya yaitu mahasiswi UI.

1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan suatu penelitian, diperlukan adanya batasan masalah yang bertujuan agar penelitian yang dilakukan dapat memperoleh hasil yang sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu, batasan masalah yang dibuat dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Objek utama yang akan diamati adalah desain prototipe pertama sepeda lipat yang dibuat oleh Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UI.
2. Observasi antropometri terhadap pengendara dilakukan terhadap pengendara yang terdiri dari mahasiswi UI dengan jumlah *sample* yang memadai sesuai teknik *sampling* dalam statistik.
3. Penelitian dilakukan pada lintasan sepeda UI mencakup seluruh lintasan baik itu lintasan mendatar maupun lintasan menanjak.
4. Hasil akhir berupa rekomendasi rancangan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang ergonomis yang merupakan hasil dari simulasi *human modeling* dengan menggunakan *software jack 6.0* dengan merubah ketinggian stang dan sadel sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI tersebut.
5. Tidak memperhitungkan faktor biaya, dan cuaca.

1.6 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, maka diperlukan metodologi penelitian tentang cara dalam mencapai tujuan tersebut. Adapun

metodologi yang digunakan dalam penyusunan ini ditunjukkan sesuai dengan gambar 1.5 dan mempunyai detail metodologi yaitu:

1. Tahap Pendahuluan, yang meliputi:

- a. Persiapan dan Koordinasi Penelitian
- b. Identifikasi Kebutuhan Objektif

Diawali dengan adanya wawancara langsung dengan tim sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk mendapatkan permasalahan yang ada.

2. Tahap Pengumpulan Data

Tahap ini merupakan tahap pengambilan data-data yang diperlukan seperti data spesifikasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, antropometri mahasiswi UI, dan data kondisi pada jalur sepeda UI. Pencarian data untuk spesifikasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dan kondisi lintasan pada jalur sepeda UI menggunakan teknik observasi langsung seperti pengukuran langsung. Untuk mendapatkan antropometri mahasiswi UI secara tepat, maka digunakan beberapa teknik yaitu dengan menggunakan *anthropometry chair* dan *digital scale*.

3. Tahap Pengolahan Data dan Analisis

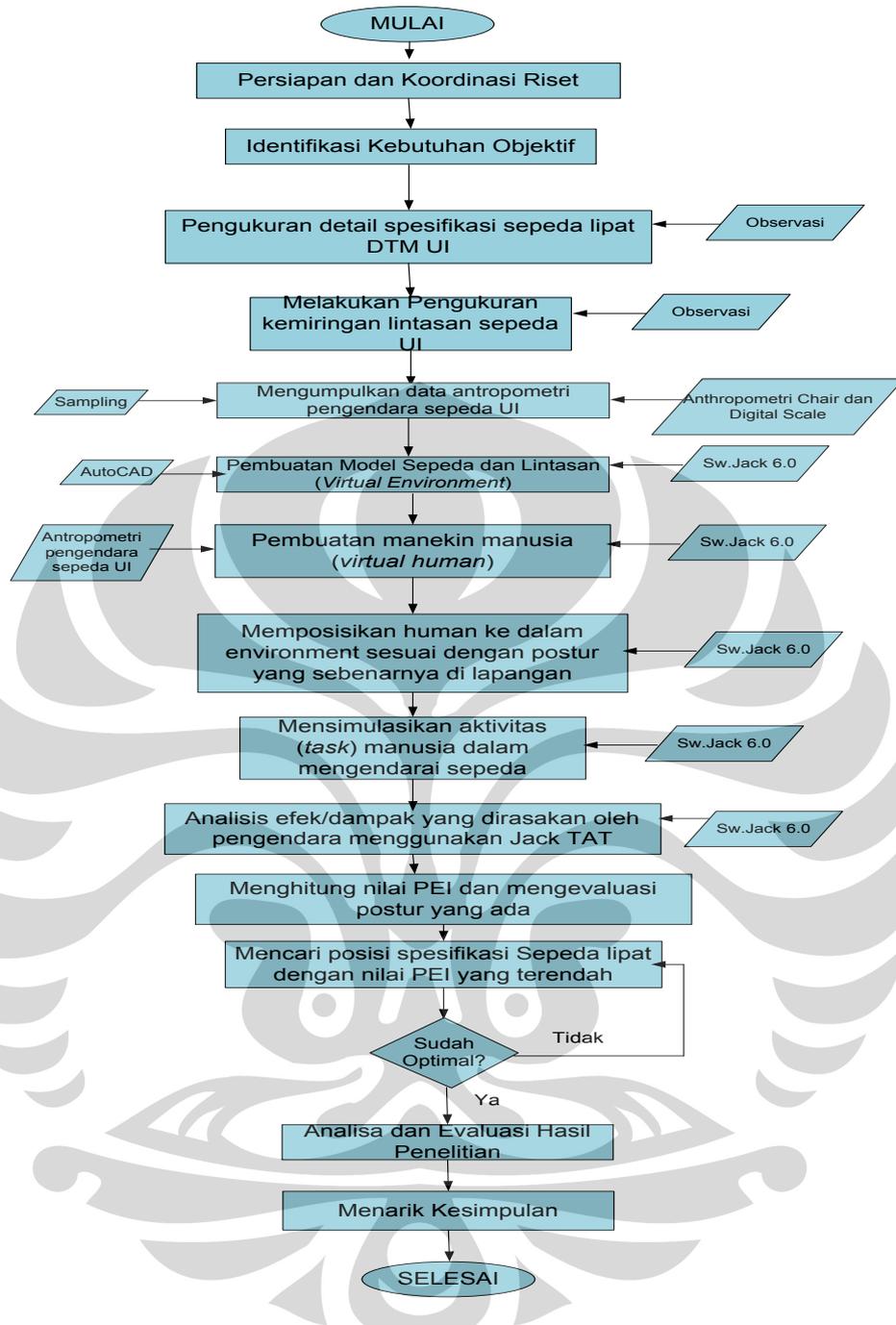
- a. Pembuatan model sepeda dan lintasan (membangun *virtual environment*). Model sepeda dimodifikasi dalam format *file software Solidworks* dan akan terdiri dari beberapa desain usulan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, lintasan dibuat dengan menggunakan *software Autocad*, dan hasil dari kedua variabel tersebut akan dijadikan sebagai data masukan ke dalam *software Jack 6.0*.
- b. Pembuatan manekin manusia (membuat *virtual human*). Data antropometri yang telah didapatkan pada tahap pengumpulan data, akan dijadikan data masukan ke dalam *software Jack 6.0*.
- c. Model manusia yang berada di dalam *software Jack 6.0* akan diposisikan sesuai dengan kondisi nyata terhadap model *virtual environment* (model sepeda dan lintasan) yang telah ada di dalam *software Jack 6.0*.
- d. Simulasi model tersebut dengan pemberian aktivitas mengendarai sepeda UI yang menggunakan *software Jack 6.0*.

- e. Mendapatkan nilai PEI (*Posture Evaluation Index*) untuk tiap desain aktual maupun usulan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI.
- f. Melakukan analisis terhadap nilai PEI yang didapatkan.

4. Kesimpulan

Pada tahap ini, kesimpulan dapat diambil berdasarkan data yang telah dihasilkan. Sehingga berdasarkan kesimpulan yang ada, akan didapatkan rekomendasi desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang paling ergonomis.





Gambar 1. 2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Bab I adalah bab pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan,

tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II merupakan landasan teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Landasan teori yang dipakai meliputi teori ergonomi, permodelan dan simulasi, *virtual reality environment*, dan perkembangan sepeda lipat. Sub-bab ergonomi akan membahas tentang antropometri dan *musculoskeletal disorder*. Sub-bab *virtual reality environment* akan membahas tentang *tools* yang dipakai seperti *software Autocad*, *software Solidworks*, *software jack 6.0*, dan sub bab ini juga membahas tentang teori nilai PEI (*Posture Evaluation Index*).

Bab III berisi tentang pengumpulan data yang telah dilakukan beserta perancangan model dengan menggunakan *software Jack 6.0* guna memberikan hasil analisis ergonomi dari sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang telah ada. Pengumpulan data akan meliputi pengumpulan data spesifikasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, data antropometri mahasiswi UI, data kemiringan tanjakan, dan data waktu simulasi pada lintasan sepeda UI.

Bab IV akan berisi tentang analisis desain aktual dan usulan sepeda lipat berdasarkan nilai PEI yang didapatkan dengan menggunakan *software jack 6.0* untuk mencari spesifikasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang paling ergonomis bagi mahasiswi UI. Pada bab ini juga ditampilkan perbandingan nilai PEI sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap mahasiswa dan mahasiswi UI, dan perbandingan nilai PEI sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan sepeda UI terhadap mahasiswi UI.

Bab V akan menyajikan uraian mengenai kesimpulan hasil penelitian ini dan saran perbaikan untuk penelitian analisis ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment* .

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, akan dibahas tentang teori-teori yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan pada sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia terhadap pengendara wanita. Bab ini terdiri atas sub-bab yang diantaranya adalah ergonomi, permodelan dan simulasi, *virtual reality environment*, dan perkembangan sepeda lipat itu sendiri di dunia. Dalam sub-bab ergonomi, akan dijelaskan tentang antropometri dan *muskoleskletal disorder*. *Tools* ergonomi seperti *software Jack 6.0*, *tool* desain seperti *software AutoCAD* dan *software solidworks 2007*, serta metode PEI merupakan bagian dari pembahasan *virtual reality environment* dan simulasi. Bagian penting sepeda dan gaya yang mempengaruhi dalam mengayuh sepeda dibahas pada bagian sub-bab perkembangan sepeda lipat.

2.1 Ergonomi

Ergonomi adalah suatu cabang ilmu yang sistematis untuk memanfaatkan informasi-informasi mengenai sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia untuk merancang suatu sistem kerja sehingga orang dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik, yaitu mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu, dengan efektif, aman dan nyaman⁴. Ergonomi terdiri dari dua kata yang berasal dari Bahasa Yunani yaitu "*ergos*" (kerja) dan "*nomos*" (aturan). Secara garis besar, ergonomi didefinisikan sebagai suatu ilmu yang mempelajari interaksi manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai sehingga dapat berperan untuk menyelesaikan masalah ketidakserasian manusia dengan peralatan yang dipakai⁵. Penerapan ergonomi dapat dilakukan dalam dua pendekatan, yaitu⁶:

⁴ Satalaksana. Teknik Tata Cara Kerja. Bandung: KMTI ITB. 1982, hal.65

⁵ Bridger.R.S,*Introduction to Ergonomics*. McGraw-Hill. Singapore. 1995, hal.1.

⁶ Cermin Dunia Kedokteran No.136. 2002, hal. 22.

1. Pendekatan Kuratif

Pendekatan ini dilakukan melalui proses yang sudah atau sedang berlangsung. Kegiatannya berupa perbaikan atau modifikasi dari proses yang sudah atau sedang berlangsung. Sasaran kegiatan ini adalah kondisi kerja dan lingkungannya dan dalam pelaksanaannya harus melibatkan pekerja yang terkait dengan proses kerja yang sedang berlangsung.

2. Pendekatan Konseptual

Pendekatan ini dikenal sebagai pendekatan sistem dan hal ini akan sangat efektif dan efisien bila dilakukan pada saat perencanaan. Bila berkaitan dengan teknologi, maka sejak proses pemilihan dan alih teknologi, prinsip-prinsip ergonomi sudah dimanfaatkan bersama-sama dengan kajian lain yang juga diperlukan, seperti kajian teknis, ekonomi, sosial budaya, hemat akan energi dan melestarikan lingkungan. Menurut Manuaba (1997), pendekatan holistik ini dikenal dengan pendekatan Teknologi Tepat Guna. Jika dikaitkan dengan penyediaan lapangan kerja, pendekatan ergonomi secara konseptual dilakukan sejak awal perencanaan dengan mengetahui kemampuan adaptasi pekerja sehingga dalam proses kerja selanjutnya, pekerja berada dalam batas kemampuan yang dimiliki.

Ergonomi sangat diperlukan baik dalam analisis proses yang sudah/sedang berjalan, maupun yang akan berlangsung.

Ergonomi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu ergonomi fisik, ergonomi kognitif, dan ergonomi organisasi.

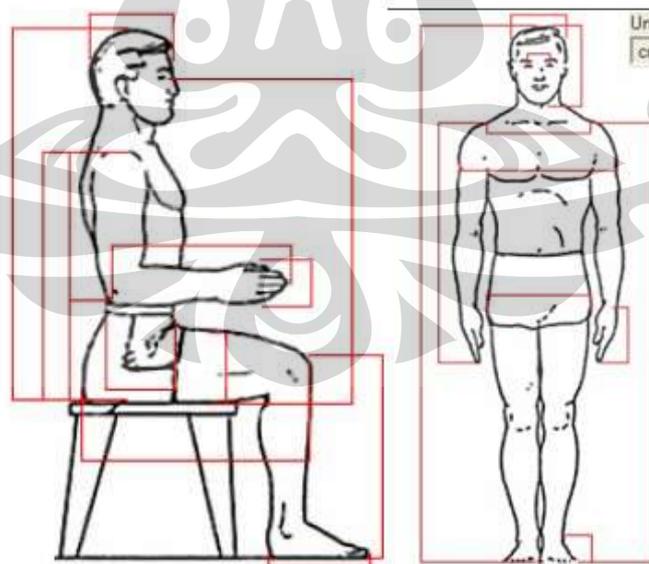
- ergonomi fisik berhubungan dengan respon tubuh manusia terhadap beban fisik dan psikologis.
- ergonomi kognitif (*engineering psychology*) melibatkan proses-proses mental seperti persepsi, atensi, kognisi, pengendalian motorik, dan penyimpanan ingatan yang mempengaruhi interaksi antara manusia dan elemen-elemen sistem.
- ergonomi organisasi atau makroergonomi, berhubungan dengan optimasi dari sistem sosioteknik yang meliputi struktur organisasi, kebijakan, dan proses.

2.1.1 Antropometri

Antropometri adalah cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari pengukuran tubuh manusia, khususnya ukuran, bentuk, kekuatan, dan kapasitas kerja tubuh. Antropometri berasal dari bahasa Yunani, yaitu “*anthropos*” (manusia) dan “*metron*” (mengukur). Antropometri juga diartikan sebagai pengetahuan yang berhubungan dengan pengukuran dimensi dan karakteristik fisik tubuh manusia seperti volum, pusat gravitasi, properti inersia, dan massa suatu segmen tubuh. Antropometri ini juga dibagi menjadi 2 bagian:

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

Jenis antropometri ini diukur dalam kondisi tubuh berada pada keadaan tetap (*statis*). Pengukuran ini meliputi dimensi skeleton (antara pusat sendi) atau dimensi kontur (dimensi permukaan kulit: kulit pada tangan tentu berbeda dengan kulit kepala). Stoudt (1981) menyatakan bahwa pengukuran tubuh ini berbeda dengan adanya perbedaan pada beberapa fungsi seperti umur, kelamin, dan populasi dengan etnis yang berbeda. Postur manusia dapat berbeda-beda disebabkan oleh beberapa faktor seperti aktifitas yang dilakukan, lingkungan, dan keturunan.



Gambar 2. 1 Struktur Tubuh Manusia

Sumber: *Jack User Manual Version 6.0*, 2008, hal.68

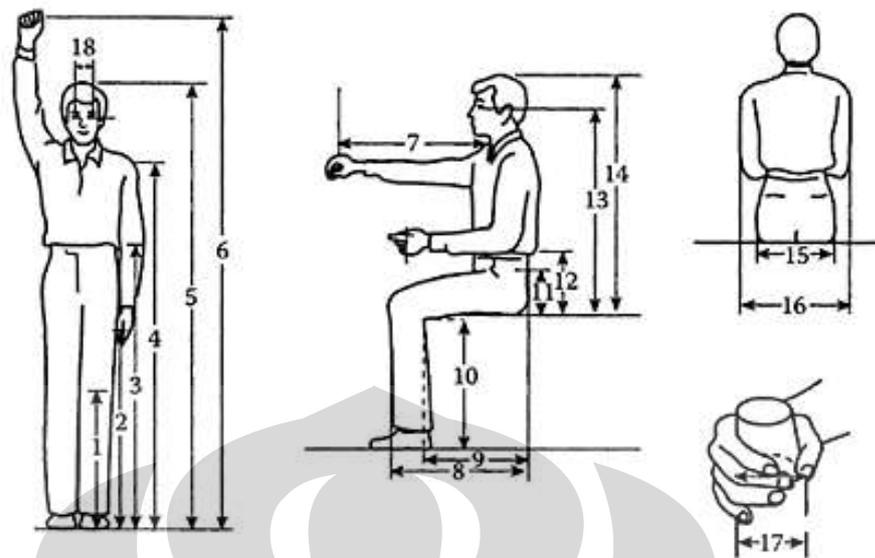
Data antropometri statis lebih banyak digunakan dibandingkan antropometri dinamis. Ini disebabkan karena pengukuran fungsional terhadap tubuh manusia pada saat diam (statis) dianggap lebih mewakili aktivitas manusia yang sebenarnya, dan belum ada prosedur yang baku dalam menerjemahkan data antropometri statis ke dalam data antropometri dinamis. Secara umum, pengukuran ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

- posisi berdiri
Ukuran tubuh yang dapat diukur adalah tinggi badan berdiri, tinggi bahu, tinggi siku, tinggi pinggul, dan panjang lengan.
- posisi duduk
Dalam posisi ini, ukuran tubuh yang dapat diukur adalah tinggi duduk, panjang lengan atas, panjang lengan bawah dan tangan, jarak lekuk lutut dan garis punggung, serta jarak lekuk lutut dan telapak kaki.

2. Pengukuran dimensi fungsional tubuh (*functional body dimension*)

Pengukuran tipe data antropometri ini dilakukan ketika tubuh melakukan aktivitas fisik. Pengukuran antropometri dimensi fungsional tubuh dilakukan dalam keadaan bergerak dan memperhatikan gerakan-gerakan yang mungkin terjadi saat operator tersebut melakukan pekerjaannya. Dalam pengukuran dimensi dinamis, biasanya dilakukan pengambilan data dari tiga sudut pandang: tampak depan, samping, dan tampak atas. Istilah lain dari pengukuran ini adalah *dynamic anthropometry*. Antropometri dalam posisi tubuh melakukan fungsinya yang dinamis 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 serta jarak antara manusia dengan atap mobil dan *dashboard*.

Dalam pengukuran antropometri, beberapa bagian tubuh diukur seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2. 2 Pengukuran Antropometri

Sumber: Helander, 2006, hal.154

Keterangan gambar 2.2, yaitu:

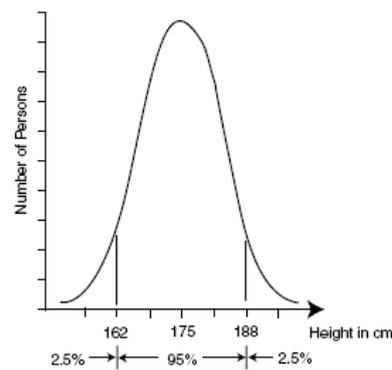
- 1 = tinggi bagian depan tulang kering dari lantai (*tibial height*)
- 2 = jarak buku jari tengah terhadap lantai (*knuckle height*)
- 3 = tinggi siku dalam posisi berdiri tegak (*elbow height*)
- 4 = tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak (*shoulder height*)
- 5 = dimensi tinggi tubuh dalam posisi berdiri tegak (*stature*)
- 6 = tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak, diukur dari lantai sampai dengan telapak tangan yang terjengkau lurus ke atas secara vertikal (*functional overhead reach*)
- 7 = jarak jangkauan tangan yang terjulur ke depan diukur dari bahu sampai ujung jari tangan (*functional forward reach*)
- 8 = panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan ujung lutut (*buttock-knee depth*)
- 9 = panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan bagian belakang lutut (*buttock-popliteal depth*)
- 10 = tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari lantai sampai dengan paha (*popliteal height*)
- 11 = tebal atau lebar paha (*thigh clearance*)
- 12 = tinggi siku dalam posisi duduk (*sitting elbow height*)
- 13 = tinggi mata dalam posisi duduk (*sitting eye height*)

- 14 = tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari alas tempat duduk/pantat sampai dengan kepala (*sitting height*)
- 15 = lebar pantat dalam posisi duduk (*hip breadth*)
- 16 = jarak antara dua siku yang tegak lurus dalam posisi duduk (*elbow-to-elbow breadth*)
- 17 = diameter genggaman tangan (*grip breadth*)
- 18 = jarak antara dua pupil mata (*interpupillary distance*)

Dari pengukuran antropometri ini, akan didapatkan data yang akan diubah ke dalam nilai persentil. Nilai persentil ini sangat berguna di dalam perhitungan ergonomi yang dilakukan. Nilai persentil juga memiliki fungsi berbeda tergantung dengan fungsi kerja sistem yang ada, sebagai contoh, persentil 5 akan lebih berguna dibandingkan dengan persentil 50 atau 95 dalam mengevaluasi faktor manusia untuk proses kerja meraih benda pada tempat tinggi. Nilai persentil yang biasa digunakan adalah persentil 5, 50, dan 95.

Sebagian besar dimensi tubuh terdistribusi secara normal. Setiap data pengukuran biasanya berada dalam kurva "*bell-shape*". Hanya sedikit orang yang benar-benar pendek atau benar-benar tinggi, tapi sebagian besar lainnya berada di sekitar pusat distribusi atau rata-rata (*mean*). Gambar 2.3 menunjukkan distribusi dari tinggi tubuh pria di Amerika. Pada gambar dapat dilihat bahwa hanya 2,5% populasi yang tinggi tubuhnya lebih rendah daripada tinggi tubuh rata-rata yaitu 162 cm dan 2,5% lainnya mempunyai tinggi tubuh yang melebihi 188 cm. Dengan kata lain dapat disebutkan bahwa sekitar 95% dari populasi berada dalam kisaran tinggi 162 cm sampai dengan 188 cm, karena nilai persentil 2,5 adalah 162 cm dan nilai persentil 97,5 adalah 188 cm⁷.

⁷ Marras, William S., dan Karwowski, Waldemar. *Fundamental and assessment tools for occupational ergonomics*. London. 2006, hal.94.



Gambar 2. 3 Distribusi Frekuensi Tinggi Tubuh Pria di Amerika

Sumber: Marras & Karwowski, 2006, hal.94

Pengukuran antropometri biasanya dinyatakan dalam persentil. Yang paling banyak digunakan adalah persentil 5, persentil 50, dan persentil 95⁸.

Tabel 2. 1. Penjelasan Pengukuran Persentil

Percentile Description	
5th	5% of the population is smaller
50th	Average value
95th	95% of the population is smaller

Sumber: Helander, 2006, hal.149

Dalam perhitungan persentil, ada dua cara yang dapat digunakan yaitu dengan melihat langsung distribusi data, dan dengan menggunakan grafik (pengukuran, perhitungan, atau perkiraan) nilai persentil⁹. Oleh karena kebanyakan data antropometri terdistribusi secara normal, maka pendekatan yang lebih mudah digunakan adalah cara kedua yang melibatkan standar deviasi, S . Perhitungan persentil, p , dengan pendekatan ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$p = m + k \times S \quad (2.1)$$

dengan p = nilai persentil; m = nilai rata-rata; k = faktor pengali; S = standar deviasi

⁸ Helander, Martin. *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). Taylor & Francis e-Library. London, 2006.

⁹ Marras, William S., dan Karwowski, Waldemar. *Fundamental and assessment tools for occupational ergonomics*. London. 2006, hal.94.

Jika persentil yang diinginkan di atas persentil 50, maka faktor k , bertanda positif. Sebaliknya, jika persentil yang diinginkan berada di bawah persentil 50, maka faktor k , bernilai negatif¹⁰.

Tabel 2. 2. Nilai Faktor k untuk Setiap Persentil

TABLE 9.2 Percentile Values with their k factors

Below Mean		Above Mean	
Percentile	Factor k	Percentile	Factor k
0.001	-4.25	50	0
0.01	-3.72	51	0.03
0.1	-3.09	52	0.05
0.5	-2.58	53	0.08
1	-2.33	54	0.10
2	-2.05	55	0.13
2.5	-1.96	56	0.15
3	-1.88	57	0.18
4	-1.75	58	0.20
5	-1.64	59	0.23
6	-1.55	60	0.25
7	-1.48	61	0.28
8	-1.41	62	0.31
9	-1.34	63	0.33
10	-1.28	64	0.36
11	-1.23	65	0.39
12	-1.18	66	0.41
13	-1.13	67	0.44
14	-1.08	68	0.47
15	-1.04	69	0.50
16	-0.99	70	0.52
17	-0.95	71	0.55
18	-0.92	72	0.58
19	-0.88	73	0.61
20	-0.84	74	0.64
21	-0.81	75	0.67
22	-0.77	76	0.71
23	-0.74	77	0.74
24	-0.71	78	0.77
25	-0.67	79	0.81
26	-0.64	80	0.84
27	-0.61	81	0.88
28	-0.58	82	0.92
29	-0.55	83	0.95
30	-0.52	84	0.99
31	-0.50	85	1.04
32	-0.47	86	1.08
33	-0.44	87	1.13
34	-0.41	88	1.18
35	-0.39	89	1.23
36	-0.36	90	1.28
37	-0.33	91	1.34
38	-0.31	92	1.41
39	-0.28	93	1.48
40	-0.25	94	1.55
41	-0.23	95	1.64
42	-0.20	96	1.75
43	-0.18	97	1.88
44	-0.15	98	2.05
45	-0.13	99	2.33
46	-0.10	99.5	2.58
47	-0.08	99.9	3.09
48	-0.05	99.99	3.72
49	-0.03	99.999	4.26
50	0		

Sumber: Marras & Karwowski, 2006, hal.9-5

¹⁰ *Ibid* hal.16.

2.1.2 Musculoskeletal Disorder

Keluhan *musculoskeletal* adalah keluhan sakit, nyeri, pegal-pegal dan lainnya pada sistem otot (musculoskeletal) seperti tendon, pembuluh darah, sendi, tulang, saraf dan lainnya yang disebabkan oleh aktivitas kerja. Keluhan musculoskeletal sering juga dinamakan MSD (*Musculoskeletal Disorder*), RSI (*Repetitive Strain Injuries*), CTD (*Cumulative Trauma Disorders*) dan RMI (*Repetitive Motion Injur*). Level MSD dari yang paling ringan hingga yang berat akan mengganggu konsentrasi dalam melakukan aktifitas, menimbulkan kelelahan dan pada akhirnya akan menurunkan produktivitas. Cedera juga dapat mengenai otot, tendon, ligamen, saraf, pembuluh darah di leher, bahu, lengan, siku, pergelangan dan jari tangan.

Adanya keluhan *musculoskeletal disorder* disebabkan beberapa faktor, seperti:

- tekanan atau gaya pada otot yang berlebihan
- postur kerja yang tidak benar
- terjadinya pengulangan pekerjaan pada satu otot
- lamanya paparan yang diterima oleh otot.

Analisis ergonomi dapat menggunakan indikator kekuatan otot dan keluhan pada otot yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti:

- posisi kerja yang tidak alamiah (*awkward Posture*)
- pengulangan pekerjaan pada satu jenis otot
- penggunaan tenaga yang berlebihan
- posisi kerja yang statis
- terjadi kontak bagian tubuh dengan lingkungan ataupun peralatan kerja
- metode/cara kerja
- jam kerja yang terlalu panjang.

Selain faktor tersebut, faktor lingkungan kerja fisik seperti paparan kebisingan, suhu, getaran dan pencahayaan yang kurang baik juga akan mempengaruhi timbulnya keluhan pada otot. Selain lingkungan kerja fisik faktor lingkungan kimia, biologi dan psikososial juga sangat mempengaruhi terjadinya

keluhan pada otot. Untuk itu dalam melakukan identifikasi dan analisis bahaya perlu mencakup faktor pekerja pekerjaan dan lingkungan kerja.

Ergonomi adalah pencegahan untuk menghindari *musculoskeletal disorder* tersebut. Terdapat beberapa panduan ergonomi yang telah dibuat oleh Silverstein, Fine, dan Amstrong, yaitu¹¹:

a. Gerakan berulang (*repetitive*)

1. Gunakan bantuan mekanis atau dengan otomatisasi mesin, misalnya dalam pengemasan barang, gunakan lebih banyak bantuan alat daripada tangan.
2. Analisis pekerjaan, untuk mengurangi gerakan yang tidak perlu.
3. Rotasi pekerjaan yang mempunyai gerakan yang berbeda.
4. Mengurangi lembur (*over time*) dan rangsangan upah lebih (*incentives*).
5. Rancang perkakas sesuai dengan tangan yang digunakan, kanan atau kidal.

b. Gerakan sangat kuat (*Forceful*)

1. Kurangi berat dan atau ukuran perkakas yang digunakan agar sesuai dengan kekuatan normal tangan.
2. Gunakan perkakas yang bergaya berat di telapak atau genggam tangan agar beban menyebar ke otot dan persendian, gunakan perkakas yang kurang memerlukan pergerakan pergelangan tangan.
3. Jangan menggunakan perkakas licin, perkakas yang gerakannya menyentak, atau perkakas yang banyak memelintir.

c. Sikap tubuh yang kaku

1. Sesuaikan jenis pekerjaan dengan pekerja.
2. Hindari gerakan abduksi (fleksio ke depan) $30-40^{\circ}$, fleksio siku atau ekstensi $>20^{\circ}$, hindari gerakan yang sering memutar leher.
3. Posisi pergelangan tangan harus selalu netral, dengan membuat pekerjaan lebih mudah dijangkau.

¹¹ Cermin Dunia Kedokteran No.136, 2002, hal. 19.

- d. Tekanan mekanis
 - 1. Mengalasi atau memberi bantalan pada pegangan perkakas yang digunakan, panjangkan atau lebarkan perkakas sesuai dengan genggamannya, agar tekanan mekanis merata pada permukaan tangan.
 - 2. Jangan memegang bagian perkakas yang bertepi tajam.
- e. Pengendalian getaran
 - 1. Gunakan isolator (alat peredam) vibrator.
 - 2. Hindari penggunaan perkakas pemutar yang kuat.
- f. Penggunaan perlindungan tangan
 - 1. Pergunakan yang sesuai ukuran tangan, dan melindungi bagian tangan yang memerlukan, misalnya untuk melindungi jari, gunakan *cellotape* jari tangan, jangan sarung tangan. Sarung tangan memerlukan gerakan yang lebih kuat, mengurangi sensasi raba, memerlukan ruang lebih besar sehingga resiko terjepit pada mesin dapat lebih besar.
 - 2. Mengurangi dingin, jika pekerja berada di dalam lingkungan dingin.

2.2 Permodelan dan Simulasi.

Robert *et al* (1983) menyatakan bahwa model adalah representasi dari sistem, yang dikembangkan untuk mempelajari sistem tersebut. Model adalah suatu representasi atau dalam bahasa tertentu (yang disepakati) dari suatu sistem nyata. Dengan menggunakan model, sistem dapat dipelajari tanpa mengganggu atau merusak sistem yang sudah ada, sementara sistem yang sudah ada tersebut akan terus berjalan dan bahkan apabila sistemnya sendiri belum ada, dapat diupayakan untuk membuat sistem yang baru untuk kemudian dipelajari. Model sendiri dibagi menjadi empat macam, yaitu :

1. Model deskriptif, menggambarkan masalah dalam bentuk kalimat atau kata-kata.
2. Model fisik, model dihadirkan dalam bentuk fisik, misalnya model mobil dengan skala 1:100.
3. Model analitik, model ini menggunakan symbol matematis untuk mewujudkan status variabel-variabel dalam sistem serta menunjukkan bagaimana variabel berubah dan berinteraksi.

4. Model prosedur.

Model sangat bermanfaat untuk membantu memecahkan masalah yang sederhana maupun kompleks dalam berbagai bidang dengan memperhatikan beberapa bagian atau beberapa ciri utama sistem. Ada dua aspek model yaitu :

- representasi, dengan arti model merupakan pemetaan karakteristik sistem
- abstraksi, model merupakan transformasi karakteristik sistem nyata dan kompleks.

Pemodelan sistem adalah studi tentang bagaimana membentuk atau mengembangkan model dari suatu sistem. Alasan pembuatan model adalah sebagai berikut :

- sistem nyata terlalu kompleks, sehingga tidak mungkin dapat dilakukan eksperimen langsung dikarenakan biaya terlalu mahal dan tidak praktis
- dengan model, kita dapat menggambarkan system secara ekonomis.

Model dikatakan baik jika mengandung semua variabel yang relevan dan bersifat sederhana. Model mempunyai tujuan :

- membantu untuk berpikir
- untuk komunikasi atau instruksi
- untuk prediksi atau penaksian masa mendatang
- untuk fungsi *controlling* (pengendalian)
- untuk eksplorasi informasi yang dibutuhkan
- membantu memperjelas masalah – masalah yang muncul
- mempebanyak alternatif untuk pengambilan keputusan.

Dalam sebuah model sederhana, penyelesaiannya dapat menggunakan analisa solusi konvensional, sementara kebanyakan sistem yang ada sifatnya lebih kompleks, sehingga diperlukan sebuah simulasi dan modelnya yang biasa disebut dengan simulasi model.

Simulasi menurut kamus bahasa Indonesia berarti “Penggambaran suatu sistem atau proses dengan peragaan memakai model statistic atau pemeranan.” Harrell *et al* (2000) menyatakan bahwa simulasi adalah tiruan dari sistem dinamis dengan menggunakan model computer untuk mengevaluasi dan memperbaiki hasil dari sistem. Sedangkan menurut *Oxford American Dictionary* (1980),

simulasi didefinisikan sebagai cara untuk “menciptakan kembali sebuah kondisi dalam situasi, dengan menggunakan alat sebuah model, untuk pembelajaran, percobaan atau pelatihan, dan sebagainya.”

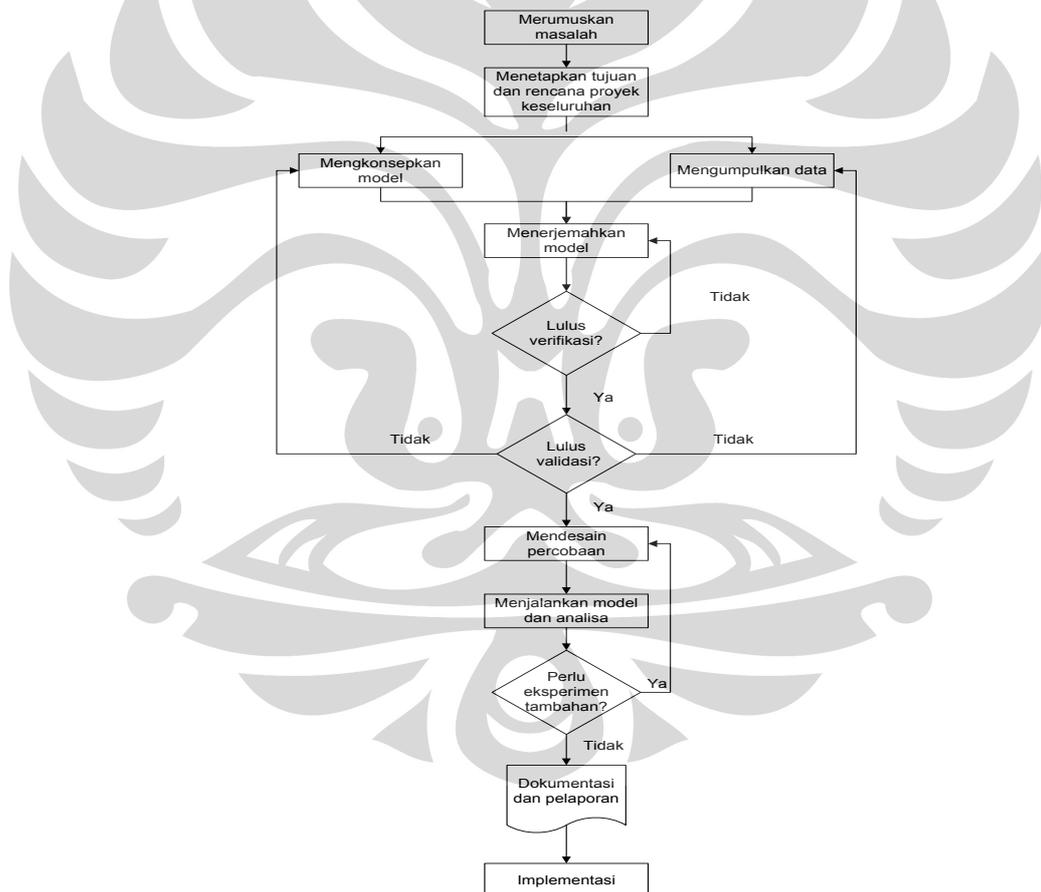
Selanjutnya model dalam simulasi dapat diklasifikasikan menjadi tiga dimensi, yaitu :

1. Berdasarkan perubahannya terhadap waktu.
 - statis, menggambarkan sifat sistem pada suatu saat tertentu atau dimana waktu tidak berperan dalam sistem
 - dinamis, sifat sistem digambarkan sesuai berjalannya waktu.
2. Berdasarkan perubahan keadaan.
 - diskrit, jika sebuah model menggambarkan perubahan keadaan pada suatu waktu tertentu, perubahan keadaan terjadi apabila ada sesuatu yang terjadi pada sistem tersebut
 - kontinu, jika sebuah model menganggap bahwa perubahan keadaan adalah kontinu, keadaan cenderung untuk berubah pada waktu tertentu.
3. Berdasarkan variasi random.
 - deterministik, bila keluarannya dapat dijelaskan secara lengkap berdasarkan masukannya
 - stokastik, sifatnya probabilistic dan random, dimana keluarannya sendiri juga bersifat random sehingga harus diperlakukan sebagai suatu estimasi karakteristik sesungguhnya dari model.

Simulasi akan memberikan dasar yang kuat untuk para pengambil keputusan dalam mengestimasi dampak yang akan terjadi dari perubahan masukan dari model. Dengan melakukan simulasi, suatu sistem dapat diketahui perilakunya tanpa harus membuatnya secara nyata. Selain itu juga dengan melakukan simulasi perubahan terhadap sistem dapat dilakukan tanpa harus mengganggu sistem yang sudah ada. Suatu model simulasi yang kompleks dan mendetail belum tentu baik apabila sulit dimengerti dan mengikutsertakan aspek-aspek yang tidak berpengaruh. Menurut Robert (1983), model simulasi dapat dikatakan baik apabila memiliki kriteria sebagai berikut:

- mudah dimengerti dan digunakan
- memiliki tujuan dan sasaran yang jelas
- dapat diandalkan dan dikendalikan
- mendetail pada aspek-aspek yang penting
- dengan mudah dapat diubah dan dimodifikasi
- bersifat evolutif, mulai dari yang sederhana sampai dengan yang paling kompleks.

Dalam melakukan simulasi, ada langkah-langkah yang harus dilakukan agar hasil simulasi yang dilakukan bisa mengatasi masalah dengan tepat¹². Langkah-langkah dalam melakukan simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Flowchart Pembuatan Simulasi

¹² Banks, 2000, hal. 18

1. Perumusan masalah

Setiap studi harus dimulai dengan pernyataan masalah. Jika pernyataan masalah tersebut diberikan oleh pembuat kebijakan atau orang yang memiliki masalah tersebut, seorang analis harus memastikan bahwa masalah tersebut telah dipahami dengan jelas. Jika pernyataan masalah dibuat oleh analis, pembuat kebijakan harus mengerti dan setuju dengan rumusan masalah tersebut.

2. Penetapan tujuan dan rencana proyek

Tujuan merupakan pertanyaan-pertanyaan yang harus dijawab melalui simulasi. Disini harus dilihat apakah simulasi merupakan metode yang tepat untuk masalah tersebut. Rencana proyek harus dibuat termasuk jumlah orang digunakan, biaya, dan waktu yang diperlukan untuk setiap tahap beserta hasil yang diharapkan pada setiap tahap tersebut.

3. Pengkonsepan model

Dalam mengkonsepan model sangat dipengaruhi oleh kemampuan untuk menarik komponen-komponen dasar masalah untuk memilih dan memodifikasi asumsi-asumsi dasar yang menjadi karakteristik sistem, kemudian memperluas dan memperinci model sampai menghasilkan pendekatan sistem yang tepat. Dengan demikian, maka sebaiknya dimulai dengan model yang sederhana kemudian dikembangkan secara bertahap. Dalam membuat konsep model, sebaiknya melibatkan pengguna model untuk menghasilkan model yang tepat dan pengguna lebih percaya terhadap model tersebut.

4. Pengumpulan data

Karena pengumpulan data biasanya memakan waktu yang cukup lama, maka perlu dilakukan seawal mungkin, biasanya bersamaan dengan pembuatan model. Agar pengambilan data bisa dilakukan dengan cepat dan tepat, sebelum melakukan pengambilan data perlu ditentukan data apa saja yang diperlukan, sumber data, cara pengumpulan data, dan sebagainya. Selama pengambilan data juga perlu dilakukan analisis terhadap data tersebut.

5. Penerjemahan Model

Dalam menerjemahkan model perlu dipertimbangkan jenis aplikasi yang digunakan. Bahasa pemrograman sangat berguna dan fleksibel, namun membutuhkan waktu dan usaha yang lebih banyak. Software simulasi yang ada saat ini memiliki fitur-fitur yang membuatnya lebih fleksibel.

6. Verifikasi

Verifikasi model merupakan proses untuk menentukan apakah model simulasi merefleksikan model konseptual dengan tepat. Disini dicek apakah model tersebut telah dibuat dengan benar. Verifikasi model berkaitan dengan pengecekan struktur dan *syntax* yang digunakan dalam model. Oleh karena itu, dalam verifikasi lebih melibatkan pembuat model daripada pengguna model. Beberapa cara yang dapat dilakukan dalam verifikasi adalah:

- melakukan pengecekan pada kode model.
- memeriksa output model.
- mengamati tingkah laku sistem dalam animasi.
- menggunakan fungsi *trace* dan *debug* pada *software* untuk mendapatkan keadaan model yang tidak dapat terlihat melalui animasi.

7. Validasi

Validasi model merupakan proses untuk menentukan apakah model telah merepresentasikan sistem yang sebenarnya. Model bisa berjalan dengan benar (lulus verifikasi) namun belum tentu model tersebut bisa merepresentasikan sistem. Oleh karena itu diperlukan pengecekan model dengan melibatkan pengguna atau orang yang mengetahui sistem tersebut. Beberapa cara yang dilakukan dalam validasi model adalah:

- melakukan pengamatan pada animasi untuk dibandingkan dengan pengetahuan seseorang mengenai keadaan sebenarnya.
- membandingkan dengan sistem aktual.
- membandingkan dengan model lain yang telah tervalidasi.
- melakukan uji degenerasi untuk melihat apakah sifat output dari model akan berubah ketika salah satu variabelnya mencapai titik tertentu
- menggunakan uji kondisi ekstrim seperti dengan menghalau kedatangan pada suatu sistem untuk melihat apakah sistem masih akan berjalan

- melakukan pemeriksaan dengan *face validity*, yaitu dengan menanyakan seseorang yang memiliki pengetahuan mengenai sistem mengenai masuk akal nya model yang dibuat
- melakukan pengujian terhadap data historis
- melakukan analisis sensitivitas
- melakukan penelitian terhadap kejadian-kejadian yang terjadi pada model untuk dibandingkan dengan tingkah laku sistem aktual
- melakukan *turing test* yaitu sebuah uji untuk melihat apakah orang-orang yang berpengetahuan mengenai sistem aktual dapat membedakan output dari sistem dan output dari model.

8. Desain percobaan

Setelah model lulus verifikasi dan validasi, langkah selanjutnya adalah mendesain percobaan-percobaan yang akan dilakukan terhadap model tersebut. Alternatif-alternatif yang berkaitan dengan pengambilan keputusan harus ditentukan, termasuk lamanya simulasi, jumlah percobaan, dan sebagainya.

9. Menjalankan model dan analisis

Model dijalankan sesuai alternatif yang telah dibuat untuk mengetahui akibat yang terjadi untuk setiap alternatif tersebut. Data hasil percobaan tersebut kemudian dianalisis untuk mencari solusi yang paling sesuai untuk masalah yang ada.

10. Dokumentasi

Hasil dari semua analisis harus dilaporkan dengan jelas dan ringkas dalam laporan akhir. Ini akan memudahkan pengguna model untuk mereview formula akhir, alternatif-alternatif sistem, kriteria-kriteria untuk membandingkan alternatif-alternatif, hasil percobaan, dan solusi yang direkomendasikan untuk menyelesaikan masalah.

11. Implementasi

Tahap terakhir dalam simulasi adalah mengimplentasikan hasil dari model kedalam sistem yang sesungguhnya. Keberhasilan dalam implementasi bergantung pada seberapa baik tahap-tahap sebelumnya dilakukan.

Implementasi juga dipengaruhi oleh seberapa jauh pengguna dilibatkan dalam seluruh proses simulasi.

2.3 *Virtual Reality Environment.*

Perkembangan teknologi yang begitu cepat membuat kehidupan manusia menjadi lebih mudah. Teknologi grafis dan simulasi berkembang begitu cepat yang dapat mereprestasikan aktivitas nyata ke dalam model pada komputer seperti aplikasi *virtual reality*. Aplikasi ini memiliki keuntungan dimana pengguna dapat mensimulasikan keadaan nyata tanpa harus melakukannya dalam kondisi lingkungan sebenarnya. Definisi dari *virtual reality* ini dapat direpresentasikan sebagai aplikasi *high-end user-computer* yang melibatkan simulasi *real time* dan interaksi melalui beberapa penghubung sensor, dimana sensor ini menyangkut visual, pendengaran, pemikiran, penciuman, dan perasa¹³. Ada tiga komponen dalam *virtual reality*, yaitu¹⁴:

1. *Immersion.*

Merupakan perasaan psikologis pengguna pada kondisi sebenarnya yang merupakan bagian dari *virtual reality*.

2. Interaksi.

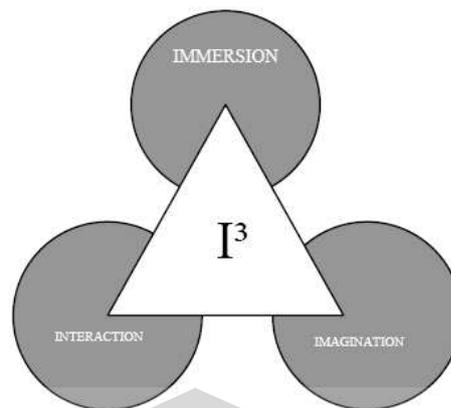
Interaksi sangat diperlukan sebagai input yang digunakan dalam *virtual reality*. Keadaan sebenarnya harus dapat ditangkap sebagai bahan masukan untuk *virtual reality*.

3. Imajinasi.

Imajinasi pengguna sangat diperlukan untuk membuat keadaan semakin mendekati kenyataannya. Penggunaan *software* dapat membantu realisasi dari imajinasi pengguna, seperti *autodesk 3ds max*, *dassault system delmia IGRIP*, *parametic technology corporation (PTC) division reality*, *viconpeak tracker 1.0*, *trackd VRCO's inc*, dan *visual advantage rapidVRM*.

¹³ Burdea, G., 'Virtual Reality Systems and Applications' [Short Course], in Elctro'93 International Conference, Edison, NJ, 1993.

¹⁴ Mahendran, P. K., 'Application Of Virtual Reality & Digital Manufacturing Techniques in Aircraft Manufacturing Assembly', The Department of Industrial and Manufacturing Engineering and the faculty of the Graduate School of Wichita State University, 2005: hal. 4.



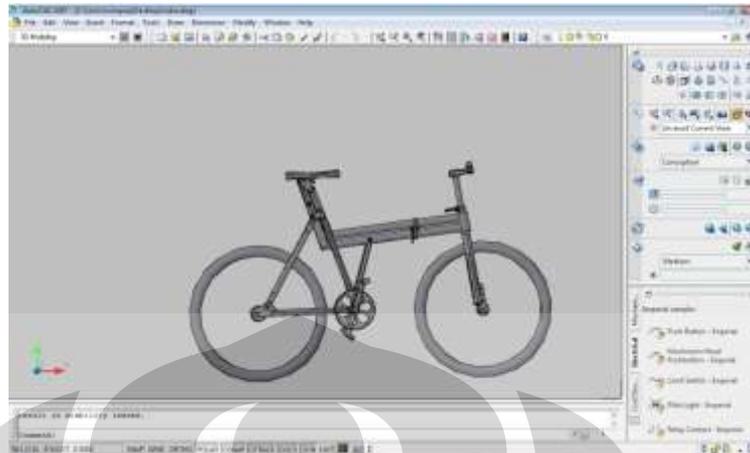
Gambar 2. 5 Tiga Komponen *Virtual Reality*

Sumber: *Application Of Virtual Reality & Digital Manufacturing Techniques in Aircraft Manufacturing Assembly*, 2005, hal.4

Virtual Reality dapat meliputi model lingkungan *virtual* (*virtual environment*) dan model manusia *virtual* (*virtual human*). *Virtual environment* (*VE*) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu representasi yang memungkinkan penggunanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis sesuai dengan lingkungan nyata. *Virtual human/digital human model* adalah model biomekanis yang akurat dari sosok manusia. Model dapat menirukan gerakan manusia sehingga memungkinkan bagi para peneliti untuk melakukan simulasi aliran proses kerja, dan melihat bagaimana beban kerja yang dirasakan pekerja ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu. Dengan perkembangan teknologi yang begitu cepat, ada beberapa alat yang dapat memenuhi mendukung *virtual reality*, seperti *Software AutoCAD*, dan *Software Jack*.

2.3.1 *Software AutoCAD*

Software AutoCAD merupakan *software* yang sangat berguna dalam mendesain suatu produk dengan ukuran yang sebenarnya. *Software* ini dapat memberikan representasi produk dalam bentuk dua dimensi maupun tiga dimensi, dan *software* ini sangat memudahkan penggunanya. Desain *AutoCAD* telah memiliki tempat yang sangat penting di kalangan praktisi desain.



Gambar 2. 6 Contoh Tampilan *Software AutoCAD*

2.3.2 *Software Solidworks 2007*

Aplikasi *Solidworks 2007* adalah *software* otomatisasi desain mekanik yang dibuat dalam pendekatan grafis jendela *Microsoft*. *Software* ini dapat membantu para desainer mekanik dalam membuat sketsa ide secara cepat, eksperimen dalam *features* dan dimensi, dan menghasilkan model dan gambar yang detail.

2.3.3 *Software Jack 6.0.*

Software Jack adalah sebuah produk ergonomi dan faktor manusia yang dapat membantu dalam usaha peningkatan desain suatu produk dan tugas di dalam suatu tempat kerja¹⁵. *Software* ini dapat membantu dalam memposisikan operator secara biomekanika menggunakan manusia digital dengan variasi ukuran, memberikan mereka pekerjaan, dan menganalisis performa mereka. Manusia digital dalam *software Jack* ini dapat memberitahu apa yang mereka lihat dan capai, seberapa nyaman mereka, kapan dan kenapa mereka mulai merasakan sakit, kapan mereka mulai lelah, dan informasi ergonomi penting lainnya. Informasi ini

¹⁵ Constantinescu, Carmen dkk. 'Definition Virtual Reality Based Collaborative Digital Manufacturing Environment', *Information Society Technology*. 2007, hal.12.

dapat membantu suatu organisasi dalam menciptakan produk yang aman, dan efektif dengan biaya yang rendah. Hal ini dapat dicapai karena organisasi tersebut tidak harus menerapkannya secara langsung pada lingkungan nyata tetapi cukup dengan menggunakan *software Jack* ini. Kelebihan *software Jack* dibandingkan dengan *software* tiga dimensi lainnya adalah *software Jack* dapat meliputi obyek bergerak yang merepresentasikan lingkungan sebenarnya. Selain itu, *software Jack* ini dapat memberikan analisis produk yang diuji terhadap manusia *virtual* di *software Jack* tersebut tanpa harus membuat prototipe fisik benda tersebut. Secara umum, *software Jack* ini memiliki keuntungan, seperti: waktu pendesainan menjadi lebih singkat, biaya pengembangan menjadi lebih kecil, meningkatkan kualitas, meningkatkan produktivitas, dan menambah keselamatan.

Ada beberapa tahap dalam menggunakan *software Jack* ini¹⁶, yaitu:

1. Membangun sebuah *virtual environment*.
2. Menciptakan manusia *virtual*.

Manusia *virtual* ini didasarkan pada dimensi tubuh yang diambil dari antropometri terbaru ANSUR 88, NHANES, dan CAESAR. Manusia *virtual* juga dapat diciptakan sesuai keinginan, berdasarkan antropometri yang diinginkan.

3. Memposisikan manusia *virtual* di dalam *virtual environment* tersebut.
4. Memberikan tugas kepada manusia *virtual* tersebut.

Manusia tersebut dapat diberikan tugas dengan merubah posisi pada saat melakukan tugas sesuai dengan yang diinginkan.

5. Menganalisis performa manusia *virtual* tersebut.

¹⁶ http://www.ugs.com/products/tecnomatix/docs/fs_tecnomatix_jack.pdf.



Gambar 2. 7 Contoh Tampilan *Software Jack*

Sumber: *Jack User Manual Version 6.0*, 2008

Software jack ini memiliki beberapa alat analisis ergonomi¹⁷, seperti:

- analisis gaya tulang belakang (*Low Back Spinal Force Analysis*)
- prediksi kekuatan statis (*Static Strength Prediction*)
- analisis daya angkat NIOSH (*NIOSH Lifting Analysis*)
- analisis penetapan waktu awal (*Predetermined Time Analysis*)
- penilaian anggota badan atas (*Rapid Upper Limb Assessment*)
- pengeluaran energi metabolik (*Metabolic Energy Expenditure*)
- batas pegangan manual (*Manual Handling Limit*)
- analisis kelelahan/waktu pemulihan (*Fatigue/Recovery Time Analysis*)
- analisis postur bekerja (*Working Posture Analysis*).

Analisis gaya tulang belakang (*Low Back Spinal Force Analysis*) membantu dalam mengevaluasi gaya tulang belakang yang terjadi pada tulang belakang manusia *virtual*, di bawah berbagai macam postur dan pembebanan. Berdasarkan biomekanika tulang belakang menggabungkan data anatomi dan psikologi, alat ini dapat membantu dalam:

1. Penentuan tugas yang baru atau yang sudah ada dan dicocokkan dengan panduan NIOSH atau melindungi pekerja dari peningkatan luka pada tulang belakang.

¹⁷ *Ibid* hal. 23.

2. Evaluasi pekerjaan dalam waktu yang berjalan, menurunkan beban momen pada saat gaya tekan pada tulang belakang melebihi batas gaya rekomendasi NIOSH.

Prediksi kekuatan statis membantu untuk mengevaluasi persentase populasi pekerja yang mempunyai kekuatan untuk performa tugas berdasarkan postur, syarat penggunaan, dan antropometri. Alat ini membantu dalam:

1. Bantuan dalam menganalisis tugas pengangkatan material termasuk mengangkat, menurunkan, menarik dan mendorong, menyangkut gaya tangan yang kompleks, pemutaran torso, dan tekukan.
2. Memprediksikan persentase pria dan wanita yang mempunyai kekuatan statis untuk pekerjaan yang sudah ditentukan.
3. Mengevaluasi pekerjaan dalam waktu yang berjalan, memperbaiki postur dimana tugas yang diberikan melebihi batas NIOSH atau batas kemampuan kekuatan pengguna.

Analisis daya angkat NIOSH (*NIOSH Lifting Analysis*) membantu dalam mengevaluasi daya angkat simetrik dan asimetrik, menyangkut daya angkat dengan rangkaian optimal antara obyek dan tangan pekerja.

Analisis penetapan waktu awal (*Predetermined Time Analysis*) merupakan alat yang dipakai untuk memprediksikan waktu yang diperlukan untuk performa sebuah tugas dengan membagi sebuah tugas ke dalam rangkaian gerakan berdasarkan *method-time measurement* (MTM-1)

Penilaian anggota badan atas (*Rapid Upper Limb Assessment-RULA*) mengevaluasi pekerja terhadap resiko kelainan tubuh bagian atas. Dari tugas yang diberikan, RULA:

1. Menilai resiko kelainan tubuh bagian atas berdasarkan postur, penggunaan otot, berat beban, durasi tugas dan frekuensi.
2. Memberikan tugas yang dievaluasi sebuah nilai yang mengindikasikan derajat intervensi yang dibutuhkan untuk mengurangi resiko luka tubuh bagian atas.

Pengeluaran energi metabolik (*Metabolic Energy Expenditure*) memprediksikan kebutuhan energi metabolik sebuah pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sebuah deskripsi tugas sederhana tersebut.

Batas pegangan manual (*Manual Handling Limit*) mengevaluasi dan mendesain model pegangan manual termasuk mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membawa untuk mengurangi resiko sakit pada punggung.

Analisis kelelahan dan waktu pemulihan (*Fatigue/Recovery Time Analysis*) membantu dalam menilai waktu pemulihan yang cukup pada pekerjaan yang diberikan untuk menghindari kelelahan pekerja.

Analisis postur bekerja (*Working Posture Analysis*) memberikan metode sederhana untuk pemeriksaan kenyamanan postur bekerja secara cepat dan menetapkan kapan diperlukannya pembetulan postur bekerja. Alat ini mengevaluasi:

1. Ketidaknyamanan relatif postur bekerja berdasarkan posisi punggung, lengan dan kaki, sejalan dengan adanya beban.
2. Memberikan penilaian pada postur yang memerlukan perbaikan postur.

2.3.4 Metode PEI (*Posture Evaluation Index Method*)

Posture Evaluation Index (PEI) merupakan suatu metode untuk melakukan analisis ergonomi yang dikembangkan berdasarkan pada aplikasi “*Task Analysis Toolkit*” yang dimiliki oleh software Jack 6.0. *Posture Evaluation Index* (PEI) mengintegrasikan hasil dari *low back analysis* (LBA), *ovako working posture analysis system* (OWAS), dan *rapid upper limb assessment* (RULA). Menurut Di Girinimo, Monacellia, dan Patalano (2004) dijelaskan bahwa PEI merupakan hasil penjumlahan dari tiga variabel non dimensi, yaitu I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 merupakan hasil *low back analysis* (LBA) yang dibagi dengan batasan NIOSH untuk kekuatan angkat (3400 N). Variabel I_2 merupakan angka *ovako working posture analysis system* (OWAS) yang dibagi dengan nilai maksimum OWAS yaitu 4. Sedangkan variabel I_3 merupakan angka yang didapat dari analisis *rapid upper limb assessment* (RULA) yang dibagi dengan nilai maksimum RULA yaitu 7 dan dikalikan dengan faktor amplifikasi sebesar 1,42. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$PEI = I_1 + I_2 + I_3 * m_r \quad (2.2)$$

dengan: $I_1 = \text{LBA}/3400 \text{ N}$; $I_2 = \text{OWAS}/4$; $I_3 = \text{RULA}/7$; $m_r = 1,42$

Tahapan-tahapan dalam metode PEI adalah sebagai berikut:

1. Analisis lingkungan kerja.

Tahapan ini terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dan pertimbangan alternatif pergerakan yang meliputi pertimbangan rute alternatif dan pelaksanaan postur.

2. Analisis akses dan jangkauan.

Tahapan selanjutnya adalah *accessibility analysis* atau analisis yang dilakukan terhadap kemampuan model manusia dalam mencapai mesin-mesin dalam stasiun kerja. Berdasarkan analisis lingkungan kerja dan *accessibility analysis*, dapat dibentuk konfigurasi-konfigurasi yang berbeda.

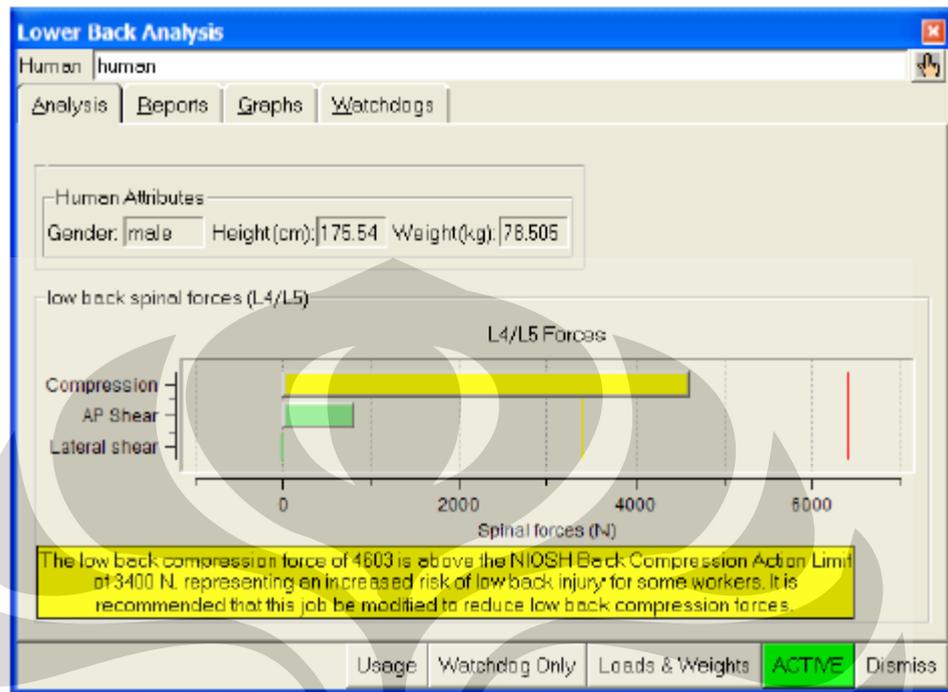
3. Mendapatkan nilai *static strength prediction* (SSP).

Tahapan ini bertujuan untuk menilai apakah pekerjaan yang akan dilakukan dapat dipertimbangkan dalam analisis selanjutnya. Hanya pekerjaan yang memiliki persentase di atas 90% saja yang boleh dilibatkan dalam analisis selanjutnya. Apabila pekerjaan tersebut mempunyai nilai persentase kurang dari 90%, maka sebaiknya pekerjaan tersebut tidak dimasukkan dalam analisis berikutnya.

4. Mendapatkan nilai *Low back analysis* (LBA).

Low Back Analysis merupakan alat untuk mengevaluasi kekuatan tulang belakang model manusia, terkait dengan setiap postur yang diberikan kepadanya. *Low Back Analysis* mengevaluasi gerakan-gerakan yang berhubungan dengan pekerjaan yang dibebankan kepada model manusia berdasarkan standar NIOSH (*the National Institute for Occupational Safety and Health*). Menurut Di Girinimo, Monacellia, dan Patalano (2004), dijelaskan bahwa *Low Back Analysis* memberikan informasi yang berhubungan dengan tekanan dan kekuatan pada L4 dan L5 cakram lumbar (*lumbar disks*); momen reaksi yang terjadi pada L4 dan L5 cakram lumbar (*lumbar disks*); dan tingkat aktivitas dari otot tubuh untuk menyeimbangkan

momen yang diterima oleh tulang belakang. *Software Jack 6.0* sudah memberikan hasil secara otomatis sesuai dengan postur yang telah ada.



Gambar 2. 8 Tampilan *Low Back Analysis* pada *Software Jack 6.0*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.4

Nilai dari *low back analysis* (LBA) ini didapatkan berdasarkan perbandingan dengan tugas mengangkat/*lifting* yang diberikan oleh standar NIOSH. Secara matematis, standar *lifting* NIOSH ini dapat dirumuskan sebagai berikut¹⁸:

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

dimana RWL adalah *recommended weight limit* (batas beban yang direkomendasikan), LC adalah beban konstan, dan faktor lainnya dalam rumus tersebut adalah:

¹⁸ *Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*, hal.1

- HM, faktor "*Horizontal Multiplier*",
- VM, faktor "*Vertical Multiplier*",
- DM, faktor "*Distance Multiplier*" atau faktor pengali jarak,
- FM, faktor "*Frequency Multiplier*" atau faktor pengali frekuensi,
- AM, faktor "*Asymmetric Multiplier*", dan
- CM, faktor "*Coupling Multiplier*".

Tabel 2. 3. *Horizontal Multiplier*

H in	HM	H cm	HM
≤ 10	1.00	≤ 25	1.00
11	.91	28	.89
12	.83	30	.83
13	.77	32	.78
14	.71	34	.74
15	.67	36	.69
16	.63	38	.66
17	.59	40	.63
18	.56	42	.60
19	.53	44	.57
20	.50	46	.54
21	.48	48	.52
22	.46	50	.50
23	.44	52	.48
24	.42	54	.46
25	.40	56	.45
≥ 25	.00	58	.43
		60	.42
		63	.40
		≥ 63	.00

Sumber: *Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*

Tabel 2. 4. Assymmetric Multiplier

A	AM
deg	
0	1.00
15	.95
30	.90
45	.86
60	.81
75	.76
90	.71
105	.66
120	.62
135	.57
>135	.00

Sumber: *Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*

Tabel 2. 5. Vertical Multiplier

V	VM	V	VM
in		cm	
0	.78	0	.78
5	.81	10	.81
10	.85	20	.84
15	.89	30	.87
20	.93	40	.90
25	.96	50	.93
30	1.00	60	.96
35	.96	70	.99
40	.93	80	.99
45	.89	90	.96
50	.85	100	.93
55	.81	110	.90
60	.78	120	.87
65	.74	130	.84
70	.70	140	.81
>70	.00	150	.78
		160	.75
		170	.72
		175	.70
		>175	.00

Sumber: *Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*

Tabel 2. 6. Distance Multiplier

D	DM	D	DM
in		cm	
≤10	1.00	≤25	1.00
15	.94	40	.93
20	.91	55	.90
25	.89	70	.88
30	.88	85	.87
35	.87	100	.87
40	.87	115	.86
45	.86	130	.86
50	.86	145	.85
55	.85	160	.85
60	.85	175	.85
70	.85	>175	.00
>70	.00		

Sumber: *Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*

Tabel 2. 7. Frequency Multiplier

Frequency Lifts/min (F) ‡	Work Duration					
	≤ 1 Hour		> 1 but ≤ 2 Hours		> 2 but ≤ 8 Hours	
	V < 30 †	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30
≤0.2	1.00	1.00	.95	.95	.85	.85
0.5	.97	.97	.92	.92	.81	.81
1	.94	.94	.88	.88	.75	.75
2	.91	.91	.84	.84	.65	.65
3	.88	.88	.79	.79	.55	.55
4	.84	.84	.72	.72	.45	.45
5	.80	.80	.60	.60	.35	.35
6	.75	.75	.50	.50	.27	.27
7	.70	.70	.42	.42	.22	.22
8	.60	.60	.35	.35	.18	.18
9	.52	.52	.30	.30	.00	.15
10	.45	.45	.26	.26	.00	.13
11	.41	.41	.00	.23	.00	.00
12	.37	.37	.00	.21	.00	.00
13	.00	.34	.00	.00	.00	.00
14	.00	.31	.00	.00	.00	.00
15	.00	.28	.00	.00	.00	.00
> 15	.00	.00	.00	.00	.00	.00

† Values of V are in inches. ‡ For lifting less frequently than once per 5 minutes, set F = 2 lifts/minute.

Sumber: *Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*

5. Analisis *Ovako working posture analysis system* (OWAS).

OWAS pertama kali dikembangkan di Finlandia oleh Karhu pada tahun 1981. Menurut Karhu (1977), *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS) merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengatur postur tubuh pekerja yang tidak baik dalam industri¹⁹.

Prinsip OWAS adalah menganalisis postur tubuh pada saat melakukan pekerjaan (*working posture*). OWAS menilai tingkat kenyamanan postur tubuh yang sedang diteliti dan memberikan penilaian urgensi tindakan perbaikan dari postur tersebut. OWAS dipakai secara umum untuk menilai bagian tubuh yang berkaitan dengan postur melakukan kerja yaitu tulang belakang, lengan, dan kaki secara bersamaan.

Dalam OWAS, aktivitas-aktivitas dikelompokkan menggunakan empat kelas utama, yaitu tidak berbahaya (*no harmful effect*), sedikit berbahaya (*a limited harmful effect*), berbahaya (*recognized harmful effect on wealth*), dan sangat berbahaya (*highly harmful effect on wealth*)²⁰. Pengelompokan ini adalah berdasarkan estimasi para ahli dengan mempertimbangkan risiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem muskuloskeletal²¹.

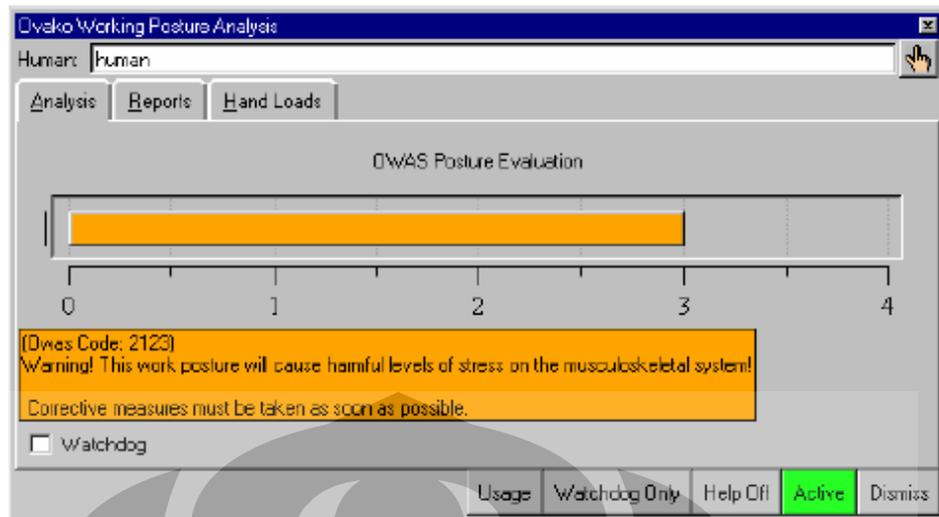
Dalam *software* Jack 6.0, OWAS digunakan untuk memeriksa apakah postur yang digunakan dalam bekerja sudah memberikan kenyamanan bagi manusianya. Dengan menggunakan OWAS, pengguna dapat:

- Melakukan evaluasi terhadap ketidaknyamanan relatif dari sebuah postur berdasarkan posisi punggung, lengan, dan kaki sesuai dengan kebutuhan
- Memberikan skor kepada postur yang dinilai yang menunjukkan urgensi dari pengukuran korektif untuk mengurangi risiko cedera pada pekerja

¹⁹ Kumar, 2006, hal.20

²⁰ Di Gironimo, Monacellia, & Patalano, 2004, hal.4

²¹ Karwowski, Waldemar, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, Taylor and Francis: New York, 2001, hal.3299.



Gambar 2. 9 Tampilan Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.37

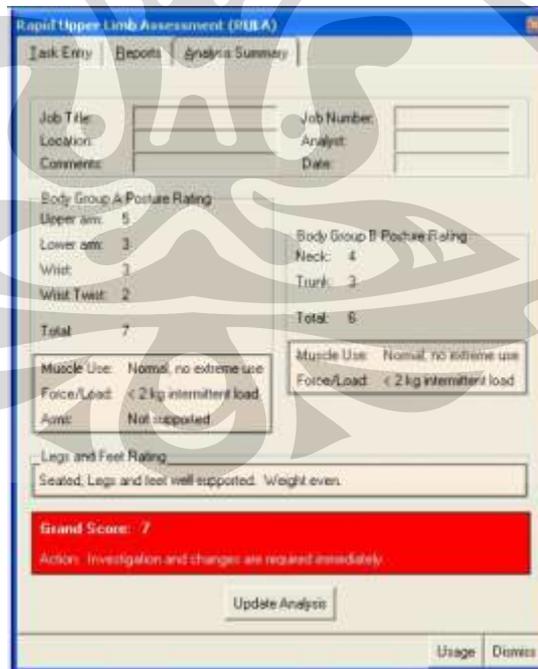
6. Mendapatkan nilai *rapid upper limb assessment* (RULA).
 Metode RULA memberikan evaluasi pada batasan tubuh bagian atas. Nilai RULA dihasilkan dalam bentuk angka yang merepresentasikan risiko kerja dan tindakan yang mungkin dilakukan untuk meminimalisasi resiko tersebut. RULA digunakan untuk mengevaluasi manusia dari segi postur tubuh yang dimiliki, kekuatan dan aktivitas otot yang memberikan efek berbahaya bagi kesehatan, dikarenakan melakukan pekerjaan berulang sehingga menimbulkan ketegangan pada otot. Menurut Lueder (1996) bahwa pendekatan yang digunakan dalam metode RULA biasanya menggunakan pembobotan, dimana semakin tinggi bobot yang diberikan menunjukkan risiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan.

Tabel 2. 8. RULA: Nilai dan Indikasi

KATEGORI RULA	
Nilai	Indikasi
1 dan 2	Postur dapat diterima, selama tidak dilakukan dalam waktu yang lama
3 dan 4	Diperlukan perhatian khusus dan perubahan mungkin diperlukan
5 dan 6	Perhatian dan perubahan perlu dilakukan
7 atau lebih	Perubahan sangat perlu dilakukan

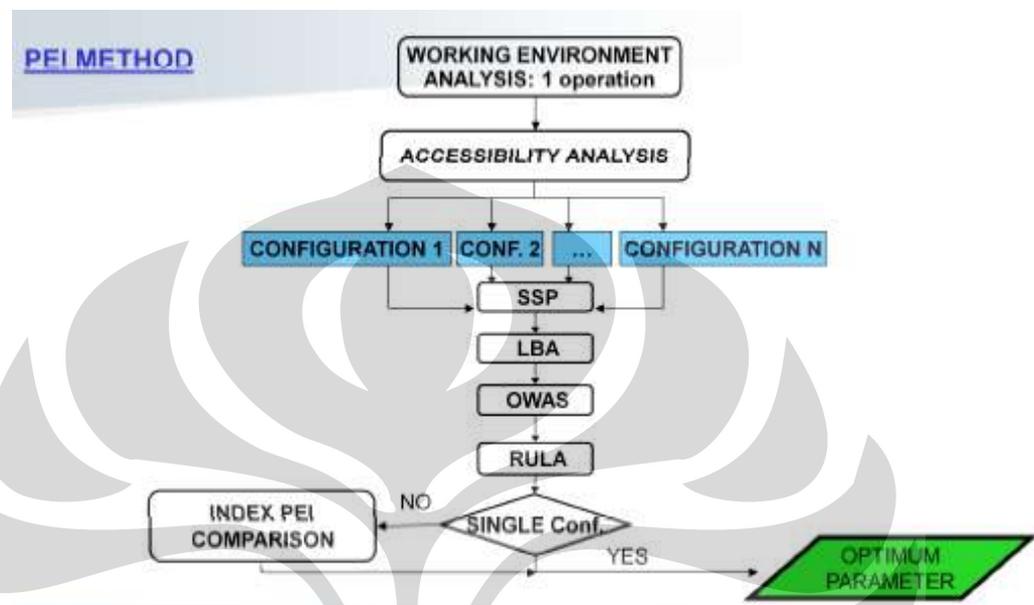
Sumber: *Comparison of Method RULA and REBA for Evaluation of Postural Stress in Odontological Services*, 2006, hal.5

Metode RULA makin dikembangkan dengan adanya *software* dengan dasar pengetahuan faktor manusia dan ergonomi seperti *software Jack 6.0*. *Software Jack 6.0* ini akan memberikan nilai RULA secara otomatis dengan menevaluasi postur manusia yang ditampilkan.

**Gambar 2. 10** Tampilan RULA pada *Software Jack 6.0*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.41

7. Melakukan perhitungan PEI berdasarkan nilai yang telah didapatkan.
8. Melakukan analisis dari hasil perhitungan PEI.



Gambar 2. 11 Diagram alir metode PEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

2.4 Perkembangan Sepeda Lipat

Sampai saat ini, banyak yang mengklaim sebagai penemu sepeda lipat, tetapi dipercaya sepeda lipat mulai muncul pada tahun 1793. Perkembangan sepeda lipat tidak terlepas dari perkembangan sepeda itu sendiri. Selama beberapa saat, penemu sepeda diduga adalah Leonardo Da Vinci yang didasarkan pada sebuah sketsa pada Codex Atlanticus yang merupakan salah satu karyanya. Sepeda mulai disadari sebagai sebuah penemuan pada saat Made de Sivrac pada tahun 1790 mengembangkan “Celerifere” yaitu dua roda yang dihubungkan dengan tiang dan dihias sehingga menyerupai kuda atau singa. Alat ini tidak memiliki mekanisme kemudi dan pedal, dan merupakan penemuan baru yang aneh yang ditujukan pada kalangan orang kaya yang malas. Pada tahun 1818, Baron Karl von Drais dari Jerman memperkenalkan penemuannya di Paris yaitu

“Draisienne” yang sudah memiliki mekanisme kemudi tetapi tetap belum memiliki pedal.



Gambar 2. 12 Model Sepeda “Draisienne”

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

Di tahun 1860, Ernest Michaux dan adiknya Pierre, pria perancis, menyempurnakan bentuk sepeda dengan menambahkan engkol pada roda depan dan pedal pada penemuannya yang bernama “Velocipede”.



Gambar 2. 13 Model Sepeda “Velocipede”

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

Bentuk sepeda terus berkembang sampai pada tahun 1885, dimana bentuknya sudah menyerupai dengan sepeda yang ada saat ini. Sepeda ini disebut sebagai

sepeda aman karena desainnya sudah memperhatikan segi keamanan dan kemudahan dalam penggunaannya.

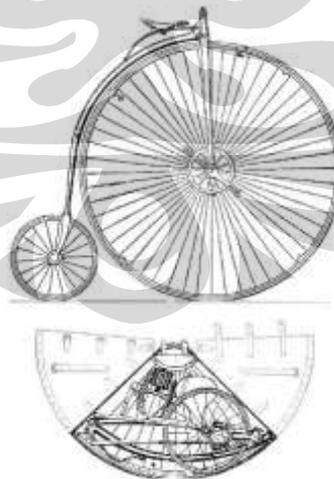


Gambar 2. 14 Model Sepeda Aman

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

Sejak saat itu sepeda terus dikembangkan sampai pada ditemukannya sepeda lipat. Sampai sekarang, belum ada kejelasan tentang penemu sepeda lipat dikarenakan banyaknya pembuat sepeda lipat yang mengklaim dirinya sebagai penemu sepeda lipat itu sendiri.

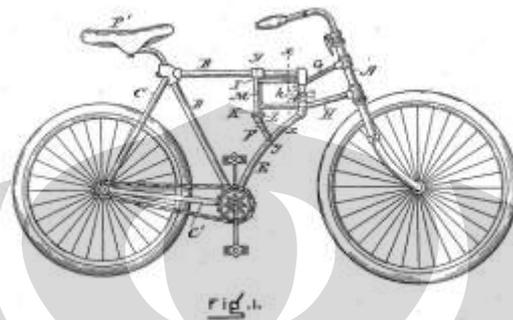
William Grout dipercaya sebagai salah satu penemu sepeda lipat dimana sepeda hasil penemuannya memiliki roda depan yang dapat dilipat dan rangka yang dapat dibongkar. Bentuk sepeda seperti ini diyakini lebih sebagai sepeda *portable* dibandingkan dengan sepeda lipat yang sebenarnya.



Gambar 2. 15 Model Sepeda Lipat Wiliam Grout

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

Salah satu penemuan yang tercatat tentang sepeda lipat adalah sepeda yang dibuat oleh Michael B. Ryan dan juga telah dipatenkan pada tanggal 26 Desember 1893. Gambar di bawah ini merupakan sketsa paten sepeda lipat yang dibuat oleh Michael B. Ryan.



Gambar 2. 16 Model Sepeda Lipat Michael B. Ryan

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

Pada 18 Januari 1896, Henry Gérard menemukan model sepeda lipat yang kemudian dipatenkan bersama dengan Charles Morel, seorang pengusaha perancis yang kaya dan mempunyai pabrik sepeda. Sepeda Gérard ini banyak digunakan untuk keperluan militer.



Gambar 2. 17 Model Sepeda Lipat Henry Gérard

(Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>)

Di Inggris, ditemukan untuk pertama kalinya sepeda lipat pada tahun 1896 dan dipatenkan pada tanggal 18 Maret 1899 oleh penemunya yaitu William

Crowe. Bentuk sepeda ini memiliki stang yang dapat dilipat yang terintegrasi dengan mekanisme rem.



Gambar 2. 18 Model Sepeda Lipat William Crowe

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

Pada tahun 1898, Michael B. Ryan menyempurnakan penemuan sepeda lipat nya dengan bentuk yang lebih sederhana. Beberapa negara menggunakan sepeda lipat dengan tujuan militer dan banyak bermunculan perusahaan sepeda lipat pada tahun 1890an seperti Dursley-Pedersen (Inggris), Faun (Inggris), Fongers (Belanda), Peugeot (Perancis), Bianchi (Itali), dan Leitner (Rusia).

Di Amerika, Columbia memproduksi sebuah sepeda yang bernama Compax pada tahun 1942 untuk keperluan militer. Sepeda ini terlihat seperti sepeda lipat, tetapi sebenarnya merupakan sepeda yang memiliki rangka yang terbagi dua di tengah dan dapat disambung. Sepeda ini juga diproduksi dengan versi berbeda dan ditujukan untuk warga sipil.



Gambar 2. 19 Model Sepeda Compax

(Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>)

Pada tahun 1946, sebuah perusahaan yang tidak diketahui namanya mempunyai catatan paten sepeda lipat dengan model yang memiliki roda kecil. Ini merupakan sepeda lipat pertama yang memiliki roda kecil dengan adanya catatan dokumentasi. Pada tahun 1962, diperkenalkan sepeda Moulton yang memiliki roda yang lebih kecil dari sepeda biasanya. Walaupun sepeda Moulton ini bukan sepeda lipat, sepeda Moulton ini menjadi inspirasi dalam penemuan model sepeda lipat selanjutnya.



Gambar 2. 20 Model Sepeda Compax Terbaru

(Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>)

Pada tahun 1970an, model sepeda lipat kembali digemari dan banyak manufaktur sepeda yang memproduksi model sepeda lipat. Sepeda lipat yang paling populer pada dekade ini adalah Raleigh Twenty Stowaway, yang diperkenalkan pada tahun 1971 dan diproduksi sampai pada tahun 1980an. Sepeda lipat ini menjadi sangat terkenal karena diproduksi dalam jumlah besar dan memiliki persneling pusat internal, khususnya *Sturmey-Archer 3-speed hub*.



Gambar 2. 21 Model Sepeda Lipat Raleigh Twenty Stowaway

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

Pada dekade 1970an, sepeda lipat banyak mendapat perhatian pada negara Perancis, Jerman, Itali, dan Swedia. Pada dekade yang sama, eropa timur dan barat juga mengembangkan sepeda lipat.

Pada 1980an, dimulai dengan dua penemuan signifikan pada sejarah sepeda lipat. Pertama, Andrew Ritchie mulai memproduksi sepeda lipat Brompton pada tahun 1981. Kemudian pada tahun 1982, Dr. David Hon mulai memperkenalkan sepeda lipat Dahon. Kedua merek ini masih terkenal sampai sekarang. Dahon menjadi perusahaan manufaktur sepeda lipat terbesar di dunia dengan estimasi *market share* mencapai 60%.

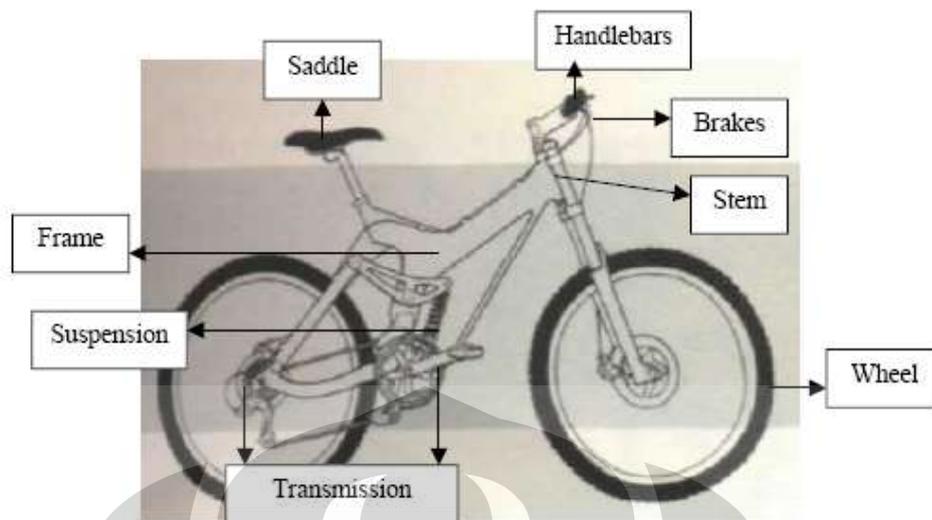


Gambar 2. 22 Model Sepeda Lipat Dahon dan Dr. David Hon

Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

2.4.1 Elemen Sepeda

Sebuah sepeda terdiri dari kerangka (*frame*), suspensi, roda (pusat, jari-jari, pelek, ban), transmisi (pedal, rantai, roda gigi, *freewheel*), rem, stang (*handlebars*), batang, dan sadel (*saddle*).

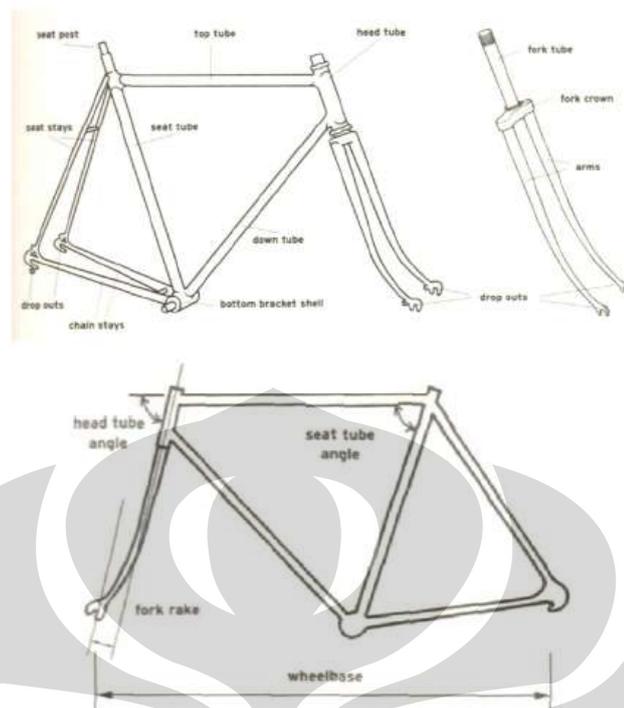


Gambar 2. 23 Elemen-Elemen Sepeda

Sumber: Kocabiyik, 2004, hal.128

Kerangka (*frame*) merupakan jantung dan jiwa dari sebuah sepeda. Kerangka menerjemahkan usaha pedal menjadi gerakan maju, menuntun roda ke arah yang dituju, dan membantu menahan getaran. Desain atau geometri dari sebuah kerangka sepeda dengan posisi pengendara tegak lurus bervariasi, tergantung pada tujuan bersepeda serta tipe dan berat pengendara.

Kinerja kerangka sebuah sepeda ditentukan oleh material penyusunnya, desain, dan cara pembuatannya. Secara umum, perancangan desain kerangka sepeda merupakan usaha untuk menemukan keseimbangan yang paling baik antara kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan berat (*weight*).



Gambar 2. 24 Kerangka (*Frame*) Sepeda

Sumber: Kocabiyik, 2004, hal.128

2.4.2 Gaya Kayuh Sepeda

Gaya kayuh sepeda merupakan gaya yang dikeluarkan oleh pengendara untuk mengayuh sepeda. Gaya ini bekerja pada pedal sepeda dan dipengaruhi oleh gaya penggerak roda belakang (F_{rb}). Gaya penggerak roda ini selalu lebih besar daripada gaya yang dibutuhkan untuk membuat sepeda bergerak (F_{sepeda}). Hal ini disebabkan karena adanya gaya gesek antara ban sepeda dengan jalan.

Gaya gesek merupakan gaya yang menimbulkan hambatan dan terjadi sebagai akibat dua permukaan benda yang saling bersentuhan. Gaya ini dipengaruhi oleh kekasaran permukaan benda yang bersentuhan yang dinyatakan dalam besaran koefisien gesekan, μ . Semakin kasar permukaan, maka koefisien gesekannya semakin besar. Sebaliknya, semakin licin kedua permukaan yang bergesekan, maka koefisien geseknya semakin kecil. Gaya gesek terbagi menjadi

dua, yaitu gaya gesek kinetik (f_k) dan gaya gesek statis (f_s)²². Gaya gesek kinetik (f_k) bekerja pada saat benda mulai bergerak dan dipengaruhi oleh koefisien gesek kinetik (μ_k). Gaya gesek statis (f_s) bekerja pada saat kedua permukaan benda yang bersentuhan relatif diam satu sama lain atau ketika benda hampir bergerak dan dipengaruhi oleh koefisien gesek statis (μ_s). Salah satu contoh gaya gesek statis adalah gaya gesek yang terjadi antara ban sepeda dengan permukaan jalan. Secara matematis, gaya gesek dirumuskan sebagai berikut:

$$f_k = \mu_k \times N \quad (2.4)$$

$$f_s = \mu_s \times N \quad (2.5)$$

dengan N = gaya normal sepeda.

Tabel 2.9 di bawah ini menunjukkan nilai koefisien gesek dari permukaan karet ketika bersentuhan dengan permukaan aspal dan semen.

Tabel 2. 9. Koefisien Gesek Permukaan Karet dengan Aspal dan Semen

Rubber - sliding		
Surface	Wet	Dry
Asphalt	0.25 - 0.75	0.50 - 0.80
Concrete	0.45 - 0.75	0.60 - 0.85

Sumber: Carvill, 1993, hal.86

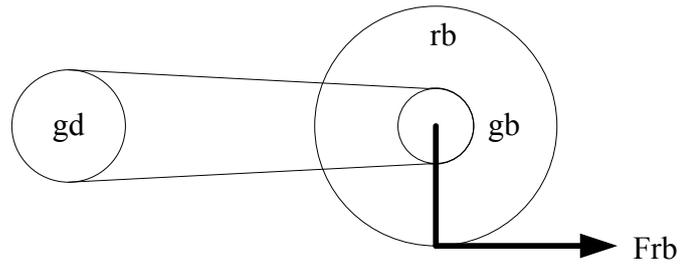
Dengan demikian, besar gaya penggerak roda belakang (F_{rb}) adalah:

$$F_{rb} = F_{sepeda} + f_s \quad (2.6)$$

$$F_{sepeda} = \text{massa sepeda } (M) \times \text{percepatan sepeda } (a) \quad (2.7)$$

Selanjutnya, untuk mendapatkan gaya kayuh sepeda (F_p), maka dibuatlah model sederhana sistem gaya dari roda, gir belakang, gir depan, tuas pedal, dan pedal.

²² Unit Pelaksana Pendidikan Ilmu Pengetahuan Dasar. *Handout fisika*. Universitas Indonesia, Depok, 2005.



Gambar 2. 25 Sistem Gaya pada Roda dan Gir Sepeda

Gir depan (gd) dan gir belakang (gb) mempunyai hubungan roda-roda yang dihubungkan oleh sabuk/rantai. Sehingga kecepatan linier kedua roda tersebut adalah sama.

$$\begin{aligned}
 V_{gd} &= V_{gb} \\
 \omega_{gd} \times R_{gd} &= \omega_{gb} \times R_{gb} \\
 \alpha_{gd} \times R_{gd} &= \alpha_{gb} \times R_{gb} \\
 ((F_p \times L_{tp}) / (m_{gd} \times R_{gd}^2)) \times R_{gd} &= F_{rb} \times R_{rb} / (m_{gb} \times R_{gb}^2) \times R_{gb}
 \end{aligned}$$

karena $m_{gd} \sim m_{gb}$, maka:

$$F_p = (F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}) / (R_{gb} \times L_{tp}) \quad (2.8)$$

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ketiga dalam skripsi ini membahas tentang pengumpulan data dan perancangan model untuk penelitian analisis ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI). Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data spesifikasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI), data antropometri mahasiswi, data jarak dan kemiringan beberapa tanjakan pada lintasan sepeda UI, dan data waktu yang diperlukan pada saat menggunakan sepeda lipat tersebut di beberapa kondisi lintasan. Pengumpulan data berisi tentang data apa saja yang diperlukan, dan bagaimana data tersebut diambil, dan perancangan model akan berhubungan dengan bagaimana data yang didapat tersebut diolah dengan menggunakan *software Jack 6.0*.

3.1 Pengumpulan Data

Data yang akan diambil dalam penelitian ini adalah data spesifikasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, data antropometri mahasiswi, data jarak dan kemiringan beberapa tanjakan pada lintasan sepeda Universitas Indonesia, dan data waktu yang diperlukan pada saat menggunakan sepeda lipat tersebut.

3.1.1 Spesifikasi Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

3.1.1.1 Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia

Universitas Indonesia adalah kampus modern, komprehensif, terbuka, multi budaya, dan humanis yang mencakup disiplin ilmu yang luas. UI saat ini secara simultan selalu berusaha menjadi salah satu universitas riset atau institusi akademik terkemuka di dunia.

Fakultas Teknik merupakan salah satu fakultas di Universitas Indonesia yang berdiri sejak 1924. Awalnya, fakultas teknik berada di daerah Bandung, dan mulai pada tahun 1960an, fakultas-fakultas yang berdiri di luar Jakarta mulai berdiri sendiri. Pada tahun 1964, atas izin presiden Soekarno, diresmikan fakultas

teknik yang berada di Jakarta dan di bawah bendera Universitas Indonesia. Hal ini dilakukan setelah adanya proyek pembenahan jalan protokol dan dirasa perlunya ada fakultas teknik yang berdiri di Jakarta sehingga proses pembelajaran teknik menjadi lebih mudah. Fakultas Teknik menjadi fakultas termuda yang berada di Universitas Indonesia.

Dari sinilah bermula sejarah Fakultas Teknik Universitas Indonesia (FTUI). Jurusan Sipil, Jurusan Mesin dan Jurusan Elektro dibuka pada tahap pertama. Masing-masing diketuai oleh Ir. Sutami untuk Jurusan Sipil, Ir. Ahmad Sayuti untuk Ketua Jurusan Mesin dan Ir. K. Hadinoto untuk Ketua Jurusan Elektro. Tahun berikutnya dibuka Jurusan Metalurgi dan Jurusan Arsitektur, dengan ketuanya masing-masing Dr. Ing. Purnomosidhi H dan Ir. Sunaryo S. Ir. Rooseno selaku Dekan pertama dibantu oleh Ir. Sutami selaku Pembantu Dekan Bidang Akademis, Ir. Slamet Bratanata selaku Pembantu Dekan Bidang Administrasi dan Keuangan serta Dr. Ing. Purnonosidhi H selaku Pembantu Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni.

Saat ini, FTUI terdiri atas tujuh departemen sebagai pengelola sumber daya akademik yang membawahi delapan program studi sebagai kesatuan rencana belajar berdasarkan suatu kurikulum teknik:

- Departemen/Program Studi Teknik Sipil
- Departemen Teknik Mesin/Program Studi Teknik Mesin dan Program Studi Teknik Perkapalan
- Departemen/Program Studi Teknik Elektro
- Departemen Teknik Metalurgi dan Material /Program Studi Teknik Material
- Departemen/Program Studi Arsitektur
- Departemen/Program Studi Teknik Kimia
- Departemen/Program Studi Teknik Industri

dan satu program studi tingkat pascasarjana dibawah FTUI yaitu Program Studi Optoelektronika dan Aplikasi Laser. Departemen Teknik Mesin adalah satu-satunya Departemen yang memiliki lebih dari satu Program Studi.

Departemen Teknik Mesin merupakan departemen tertua di Universitas Indonesia selalu berkembang dari segi pendidikan dan penelitian. Sebagai sebuah bagian dari institusi pendidikan tinggi, Visi dan Misi Departemen Tesin Mesin diselaraskan dengan Visi dan Misi Universitas Indonesia. Visi Departemen Teknik Mesin adalah sebagai pusat penelitian dan pelayanan pendidikan yang unggul di bidang teknik mekanikal. Dalam mencapai visi tersebut, misi sangat diperlukan, dan misi Departemen Teknik Mesin adalah melaksanakan penelitian dan pendidikan berbasis penelitian untuk pengembangan ilmu dan teknologi dibidang teknik mekanikal, dan menyelenggarakan penelitian dan pendidikan yang mengupayakan penggunaannya untuk meningkatkan taraf dan kualitas kehidupan masyarakat dan kemanusiaan. Dengan adanya visi misi ini, Departemen Teknik Mesin menjadi yang terdepan dalam hal penelitian. Saat ini, salah satu karya terbaru Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia adalah sepeda lipat yang telah mendapatkan hak cipta tersendiri.

3.1.1.2 Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia

Sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) merupakan hasil karya UI asli yang dibuat oleh mahasiswa Departemen Teknik Mesin UI. Proyek pembuatan sepeda lipat ini diketuai oleh Ir. Hendri D.S Budiono, MEng, dan Dr.Ir. Gandjar Kiswanto, MEng. Proyek ini dikerjakan pula oleh mahasiswa Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.



Gambar 3. 1 Prototipe Satu Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Sumber: Departemen Teknik Mesin UI

Menurut hasil wawancara dengan Ir. Jachrizal Sumabrata, M.Sc PhD, sepeda lipat ini diperkirakan berpotensi menggantikan sepeda UI yang telah beroperasi di jalur sepeda UI saat ini. Hal ini dilakukan mengingat umur sepeda yang sedang beroperasi saat ini dan merupakan bentuk apresiasi terhadap hasil karya mahasiswa Universitas Indonesia itu sendiri.

Sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini sudah memiliki hak cipta tersendiri sehingga model dan ukuran sepeda lipat ini tidak tersebar secara mudah. Sepeda ini akan terasa nyaman untuk pengendara dengan beban 70 kg, walau sepeda mampu menahan beban mencapai 90 kg. Sepeda lipat ini memiliki jarak poros depan-belakang 900 mm, diameter roda 20", dan dapat dilipat oleh satu orang sehingga dihasilkan dimensi akhir lipatan sepeda yaitu 732 x 655 x 312 (mm) dalam waktu pelipatan maksimum 60 detik. Material pipa baja hitam digunakan untuk frame utama hingga menghasilkan berat setelah dilipat sebesar 15 kg. Sepeda ini dilengkapi dengan 6 tingkat kecepatan dari Shimano Gear dengan pemindah gigi menggunakan RevoShift. Untuk menambah kenyamanan berkendara sepeda ini juga dilengkapi dengan *shock absorber* pada bagian depan untuk meredam getaran yang akan terjadi. Jarak sadel ke stang sebesar 600 mm dengan kemiringan batang sadel 70° dan sudut kemiringan garpu depan diharapkan dapat menambah kenyamanan pengendara. Berkaitan dengan keamanan, sepeda ini dilengkapi dengan sistem pengereman bagian belakang dan *rubber brake* untuk bagian belakang. Gambar 3.2 di bawah ini menunjukkan bagaimana sepeda lipat tersebut dilipat.





Gambar 3. 2 Lipatan Sepeda

Sumber: Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia

Model yang digunakan dalam *software Jack 6.0* ini merupakan model solidworks 2007 yang sudah dibuat oleh tim proyek sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.



Gambar 3. 3 Desain Aktual Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Sumber: Departemen Teknik Mesin UI

3.1.2 Antropometri Mahasiswi UI

Antropometri berhubungan dengan pengukuran dimensi dan karakteristik tubuh manusia seperti volum, pusat gravitasi, properti inersia, dan massa suatu segmen tubuh. Pengukuran antropometri ini juga dibagi dua, yaitu antropometri statis (struktural), dan antropometri dinamis (fungsional). Antropometri statis (struktural) diukur dalam kondisi tubuh berada pada keadaan tetap (statis), dan

antropometri dinamis (fungsional) dilakukan ketika tubuh melakukan aktivitas fisik yang akan diukur.

Data antropometri pada penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini diambil dengan prinsip antropometri statis (tetap). Data antropometri pada penelitian ini diambil dengan dua cara, yaitu pada posisi berdiri dan pada posisi duduk. Penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini terbagi ke dalam dua bagian yaitu penggunaan pada pengguna pria dan pengguna wanita, tetapi penelitian ini akan dikonsentrasikan pada penggunaan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada pengguna wanita. Sehingga, data yang diambil dalam penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini adalah mahasiswi D3 dan S1 UI yang masih aktif dikarenakan mahasiswi ini berpotensi sebagai pengguna sepeda pada lintasan sepeda UI, dan sudah menggunakan sepeda UI pada lintasan sepeda UI. Hal ini dilakukan karena penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini ingin menunjukkan apakah sepeda lipat ini dapat menggantikan sepeda UI yang sudah ada, sehingga obyek penelitian ini adalah mahasiswi UI.

Dalam pengukuran antropometri, terdapat 18 bagian tubuh yang diukur, yaitu tinggi bagian depan tulang kering dari lantai, jarak buku jari tengah terhadap lantai, tinggi siku dalam posisi berdiri tegak, tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak, tinggi tubuh dalam posisi berdiri tegak, tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak, jarak jangkauan tangan yang terjulur ke depan diukur dari bahu sampai ujung jari tangan, panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan ujung lutut, panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan bagian belakang lutut, tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari lantai sampai dengan paha, tebal atau lebar paha, tinggi siku dalam posisi duduk, tinggi mata dalam posisi duduk, tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari alas tempat duduk/pantat sampai dengan kepala, lebar pantat dalam posisi duduk, jarak antara dua siku yang tegak lurus dalam posisi duduk, diameter genggam tangan, dan jarak antara dua pupil mata.

Software Jack 6.0 sendiri sudah memiliki standar dimensi antropometri. Dimensi antropometri pada *software Jack 6.0* yaitu *stratue, abdominal depth, ankle height, acromion height, arm length, biacromial breadth, bideltoid breadth, buttock knee length, elbow rest height, elbow fingertip, foot length, hand breadth, hand length, head breadth, foot breadth, hip breadth, interpupil distance, shoulder elbow length, sitting acromial length, sitting eye height, seated height, sitting knee height, length thigh clearance, thumbtip reach, head height, dan head length*. Penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI hanya melakukan pengukuran pada bagian tubuh yang berhubungan langsung atau yang dapat memberikan pengaruh pada model *virtual environment* dengan menggunakan *software Jack 6.0*.



Gambar 3. 4 Dimensi Antropometri Yang Dipakai

Dimensi antropometri ini diukur dengan dua cara yang telah disebutkan di atas, yaitu pada posisi berdiri dan pada posisi duduk. Ini dilakukan sesuai dengan aturan pengambilan data antropometri dari sisi ergonomi.

Tabel 3. 1. Cara Pengambilan Dimensi Antropometri

No.	Posisi	
	Berdiri	Duduk
1	Tinggi Badan	Panjang dari lutut sampai pantat

2	Berat Badan	Panjang dari bahu sampai siku
3	Panjang telapak tangan	Panjang dari siku sampai jari terpanjang
4	Lebar telapak tangan	Tinggi mata kaki
5	Panjang telapak kaki	Tinggi lutut
6	Lebar telapak kaki	
7	Lebar Pinggul	
8	Panjang lengan	

Pengambilan data antropometri ini menggunakan alat sederhana seperti timbangan badan, meteran, penggaris panjang, kursi, dan dua operator. Dua operator yang mengambil data antropometri ini sudah menyesuaikan standar cara pengambilan data antropometri untuk menghindari resiko kesalahan yang besar yang akan mempengaruhi hasil analisis. Semua ukuran dimensi antropometri diambil dalam satuan cm, kecuali untuk berat badan diukur dalam satuan kg.



Gambar 3. 5 Pengambilan Data Antropometri

Data antropometri ini diambil di ruang perpustakaan Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia dengan mengambil sampel sebanyak 30 orang mahasiswi UI yang telah menggunakan lintasan sepeda UI. Data pengukuran antropometri mahasiswi pengguna lintasan sepeda UI ditunjukkan pada bagian lampiran.

Setelah data antropometri mahasiswa UI didapatkan, data ini diolah untuk mendapatkan nilai persentil 5, 50, dan 95 bagi pengendara sepeda wanita pada lintasan sepeda UI. Data persentil ini dihitung dengan menggunakan *Microsoft Excel 2007*.

No	Nama	BB/2 Badan	Tinggi Badan	Am Lengan	Elbow Jengger	Shoulder Alasa	Hand Breadth	Hand Length	Bumoch Linae	Hip Breadth	Foot Breadth	Foot Length	Ankle Wrt	IT Area
1	Cindy	49,5	157	73	42,5	35	9	18	33	36	10	22	8	49
2	Lita	81	163	74	45	36	9,5	18	39,5	36	10	24	7	52
3	Hana (DK)	48	157,5	76	43	39	9	17	38	38	9	22	7	50
4	Kumia	44,5	159	69,5	43	31	9	17,5	33,5	36	10	24	6	30,4
5	Nangka	54,5	164	73	43,5	34,5	10	17	36	36	9,5	23	6,5	52
6	Nytha	52	159	70	42	34	9,5	17,5	34	38	10	23	6	50,4
7	Active	48	155,5	71	41,5	33	9	17	33	36	9,5	23	7,5	49,5
8	Pipos	44	150	69	39	31	9,5	16,5	31,5	36,5	9	23,8	5	43
9	Nurrita	52	155,5	71	44	35	9,5	16,5	33	32,5	9	23	7	49
10	Santa	38	136,5	70	43,5	32	9	17	33	36,5	9	23	7	47
11	Sarah Damai	55	158	69,5	42	32	9,5	17,5	33	34	9,5	23	7	48
12	IG Ayu Kusuma	45	156	75	44,5	35	9,5	18	34	31	10	25	6,5	51
13	Novi	49	157	69,5	40	33	8,5	16,5	32	35	9	23	8	48,5
14	Hana Ichakunnita	42	151	69,5	41,5	31,5	9	17	32,5	31,7	9	23	6,8	48
15	Sarani	42	150	69	41,5	31	9,5	17	31	32	9,5	23	6,5	45
16	Miyah	35	136,7	73,5	44	32	8,5	17	33	35,7	10	23,5	7,5	49
17	Chyntia	61	154	72,5	44	31	9	18	34,5	35,5	10,5	26	7	50
18	Lusy	56	163	71,5	44,5	33	9,5	18	36	39	11	24	7	53
19	Ricky M	37	144	74	42	33	9	16,8	30	31	9,5	23,5	8	47
20	Dwitta	52	155,5	69	43	31	9	18,8	36,5	37	9,5	23,5	5,5	49
21	Nisara	48,5	159	68	41	33	9	16	34	39	9,5	23	8	45
22	Brama	37	142	64	38	30	8,5	15,5	28,5	30	8,5	21	8	45
23	Ahalla DF	48	151	71	43	31	8,5	17,5	33	32,5	9,5	23	8	48,5
24	Elice	45	151	67	41	30	9	15,5	33	30,5	8	20,5	7	45
25	Carissa	70	158,5	74	46	32	10	18,2	36	36	11	24	8	48
26	Aaha	42	153	67	40	31	8,5	16	32,5	33	9,5	22,8	5	46
27	NurFF	60	164,5	71	46	34	9,5	18	40	40	9	24,5	7	49
28	Sekar Malia	58	157	70,5	43,5	33	10	18,5	36	36	9,5	23,5	6,5	48
29	Christa	51	162,5	71	43	32,5	9	17	36	33	10,5	24,5	7,5	50
30	Dinar	53	159	70	43	33	10	18,5	34	38	9	22	7	48,5
31	Percentile 5	42	150	69,9	39,45	30,45	8,9	15,725	31,725	30,725	8,39	21,77	5,225	44,45
32	Percentile 50	52,3	157,8	71	43	32	9	17	34	33	9	23	6,5	48,25
33	Percentile 95	63,95	164,8	74,95	45,95	33	10	18,965	40	37,95	10,975	24	7,5	51

Gambar 3. 6 Perhitungan Persentil Antropometri *Microsoft Excel*

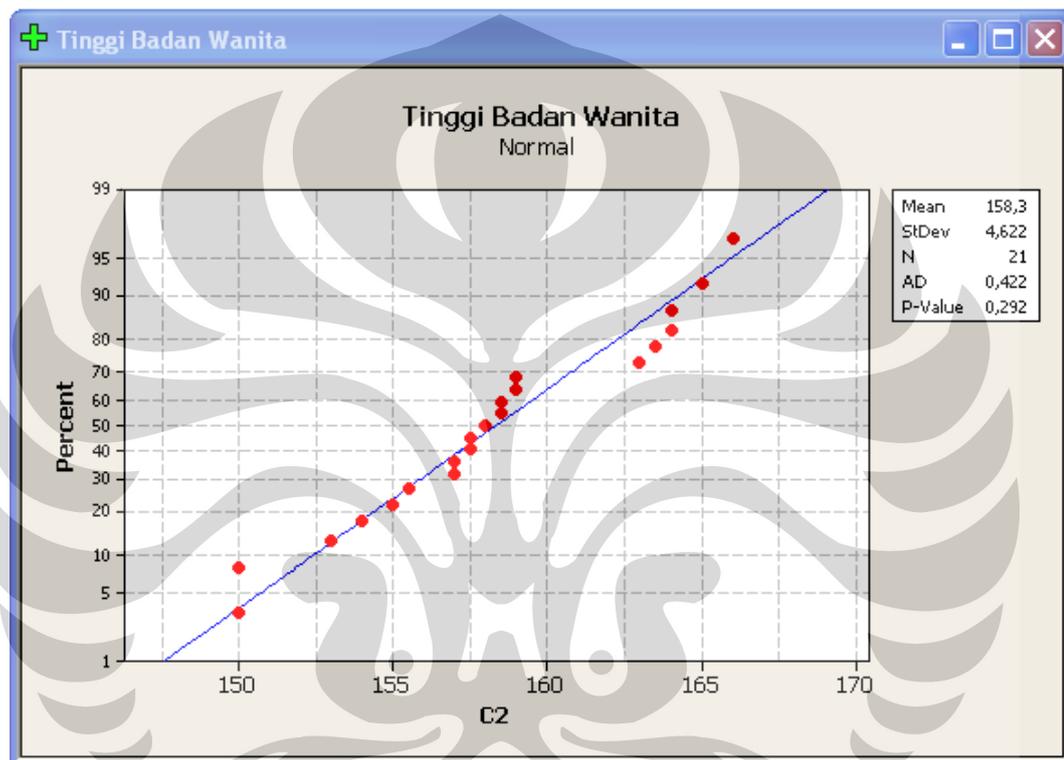
Tabel 3.2 di bawah ini menunjukkan nilai persentil yang sudah diolah berdasarkan data antropometri mahasiswa yang telah didapat

Tabel 3. 2. Daftar Persentil Antropometri Mahasiswi UI

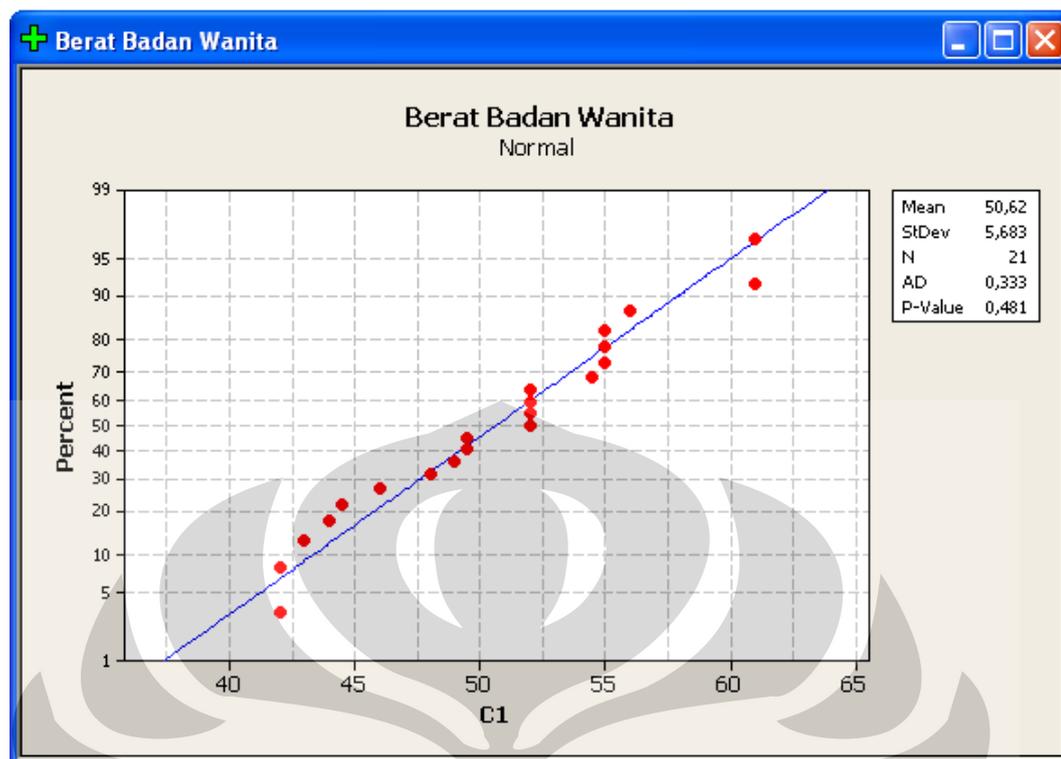
Dimensi	Percentile			Keterangan
	5th	50th	95th	
Berat badan (kg)	42	51,5	65,95	
Tinggi badan (cm)	150	157,75	164,775	Jarak vertikal ke bagian kepala paling atas
Panjang lengan (cm)	65,9	71	74,55	Panjang lengan ketika berdiri tegak
Panjang dari siku ke jari (cm)	39,45	43	45,55	Posisi pada saat duduk
Jarak bahu dan siku (cm)	30,45	32	35	Posisi pada saat duduk
Lebar tangan (cm)	8,5	9	10	Jarak antara radial dan ulnar metacarpal
Panjang tangan (cm)	15,725	17	18,365	Jarak dari ujung jari tengah ke distal
Jarak pantat dan lutut (cm)	51,225	54	60	Jarak horizontal dari depan tempurung lutut ke bagian belakang pantat pada posisi duduk
Lebar pinggul (cm)	30,725	35	37,55	Jarak maksimum horizontal pinggul ketika berdiri
Lebar kaki (cm)	8,39	9	10,275	Jarak maksimum antara permukaan medial dan lateral pada kaki
Panjang kaki (cm)	21,27	23	25	Jarak maksimum dari belakang tumit ke ujung jari kaki terpanjang
Tinggi mata kaki (cm)	5,225	6,5	7,5	Pada posisi duduk
Tinggi lutut saat duduk (cm)	44,45	48,25	52	Jarak vertikal dari lantai ke paha paling atas

Selain menghitung dengan menggunakan *Microsoft Excel*, menurut Marras dan Karwowski ada dua cara yang dapat digunakan yaitu pertama, dengan langsung melihat distribusi data, dan kedua, dengan menggunakan grafik (pengukuran, perhitungan, atau perkiraan) nilai persentil.

Untuk mengetahui apakah data antropometri yang diperoleh cukup baik untuk digunakan dalam penelitian ini, maka perlu dilakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data 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. Hasilnya tersaji pada gambar-gambar di bawah:



Gambar 3. 7 Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan Mahasiswi UI



Gambar 3. 8 Hasil Uji Normalitas Data Berat Badan Mahasiswi UI

3.1.3 Tanjakan Pada Lintasan Sepeda Universitas Indonesia

Jalur sepeda UI merupakan salah satu proyek terbesar UI untuk menuju pada *green campus*. Lintasan sepeda UI ini mengitari kampus UI sepanjang sekitar 22 km dan memiliki lebar lintasan sebesar sekitar 2 m, dimana lintasan sepanjang 5 km sudah dapat dipakai dan 17 km sedang dalam perencanaan²³. Jalur sepeda ini memiliki lintasan yang mendatar dan lintasan yang menanjak. Secara umum, lintasan menanjak akan memberikan energi yang lebih kepada pengendara sepeda dibandingkan lintasan mendatar. Berdasarkan hasil observasi, ada 9 tanjakan yang diperkirakan memiliki kemiringan yang diperkirakan akan memberikan kelelahan kepada pengendara sepeda di lintasan sepeda UI. Kesembilan tanjakan itu adalah tanjakan pusgiwa, tanjakan menara air, tanjakan balairung (parkiran), tanjakan balairung (danau UI), tanjakan di depan Fakultas

²³ Wawancara Sinar Harapan Kepada Rektor UI Gumilar R Somantri, 2008.

Ekonomi UI, tanjakan di depan Gerbang UI pertama, tanjakan di depan Gerbang UI kedua, tanjakan di depan Halte UI, dan tanjakan di depan restoran Mang Engking.



Gambar 3. 9 Denah Lintasan Menanjak yang Diambil

Sumber: Direktorat Pemeliharaan dan Pengelolaan Aset UI, 2008, diolah

Data jarak dan kemiringan lintasan tanjakan pada lintasan sepeda UI ini diambil dengan adanya bantuan dari Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia (UI). Hal ini dilakukan karena alat yang dapat mengukur kemiringan dan jarak lintasan menanjak, yaitu alat theodolit, merupakan alat yang berada di bawah kuasa Laboratorium Transportasi Departemen Teknik Sipil UI, dan keterampilan yang diperlukan untuk menggunakan alat tersebut sudah dimiliki oleh asisten laboratorium transportasi tersebut. Sehingga, dalam pengambilan beberapa data lintasan menanjakan pada lintasan sepeda UI memerlukan peralatan seperti alat theodolit, penggaris panjang, dan dua asisten laboratorium transportasi Departemen Teknik Sipil UI.



Gambar 3. 10 Alat Theodolit

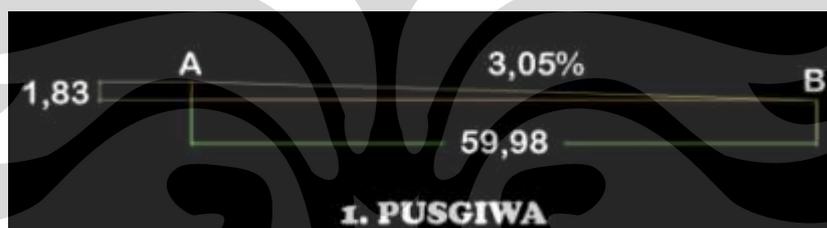
Cara pengukuran lintasan menanjak ini adalah:

1. Dua operator menyiapkan alat yang diperlukan, yaitu alat theodolit dan penggaris panjang.
2. Operator pertama mengukur tinggi alat theodolit yang diukur dari lintasan datar tempat alat theodolit tersebut berdiri sampai pada tinggi alat teropong pada alat theodolit tersebut. Operator pertama ditempatkan di titik A.
3. Operator kedua ditempatkan di depan alat theodolit dengan memegang penggaris panjang agar operator pertama dapat mengukur posisi penggaris panjang yang dipegang operator kedua tersebut. Operator kedua menempati titik B.
4. Setelah operator kedua tersebut menempati posisinya, operator pertama melakukan pengukuran menggunakan alat theodolit tersebut.
5. Hasil pengukuran tersebut, diolah untuk mendapatkan persen kemiringan lintasan tanjakan tersebut.

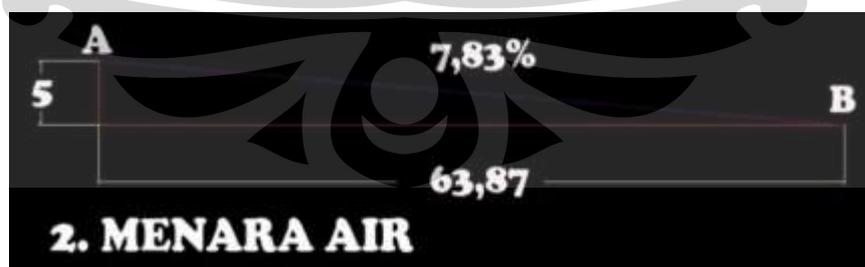


Gambar 3. 11 Pengukuran Tanjakan Pada Lintasan Sepeda UI

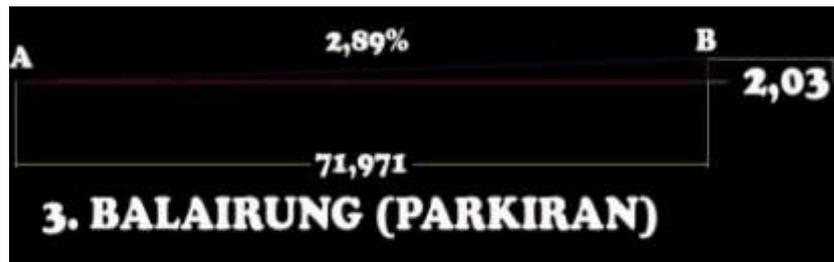
Di bawah ini, merupakan hasil yang didapat dari pengukuran lintasan menanjak pada lintasan sepeda UI.



Gambar 3. 12 Persen Kemiringan Lintasan menanjak Pusgiwa



Gambar 3. 13 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Menara Air



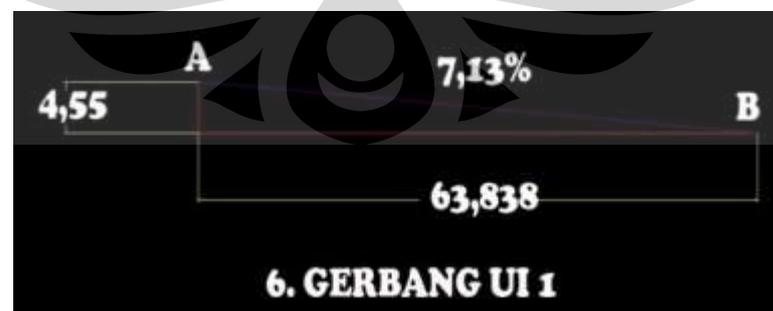
Gambar 3. 14 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Balairung (Parkiran)



Gambar 3. 15 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Balairung (Danau)



Gambar 3. 16 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Fakultas Ekonomi UI



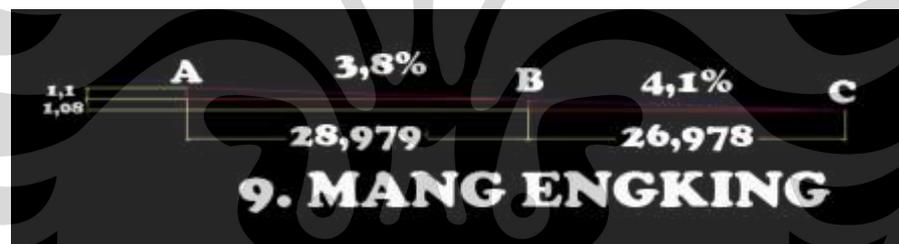
Gambar 3. 17 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Gerbang UI 1



Gambar 3. 18 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Gerbang UI 2



Gambar 3. 19 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Halte UI



Gambar 3. 20 Persen Kemiringan Lintasan Menanjak Mang Engking

Tabel 3. 3. Rekapitulasi Data Kemiringan Lintasan Menanjak

Titik Lintasan yang Diukur	Persen Kemiringan
Pusgiwa	3.05
Menara Air	7.83
Balai rung – BNI	2.82
Balai rung – Danau	8.93
FE	2.04
	2.06
Gerbang UI 1	7.13
Gerbang UI 2	11.50
	6.06
Halte UI	9.14
	9.30
RM. Mang Engking	3.80
	4.01

Dari hasil pengukuran ini, ditunjukkan bahwa lintasan menanjak terlandai pada lintasan sepeda UI adalah lintasan menanjak Fakultas Ekonomi UI, dan lintasan menanjak tercuram pada lintasan sepeda UI adalah lintasan menanjak Gerbang UI 2. Dalam sebuah buku yang berjudul Perencanaan Teknik Jalan Raya karya dari Shirley Hendarsih menyebutkan bahwa lintasan menanjak memiliki kemiringan signifikan apabila persen kemiringannya mencapai lebih besar dari 5%. Mengacu pada buku tersebut, maka didapatkan lintasan menanjak pada lintasan sepeda UI yang memiliki kemiringan lebih besar sama dengan 5%, yaitu:

1. Tanjakan Menara Air
2. Tanjakan Balairung (Danau)
3. Tanjakan Gerbang UI 1

4. Tanjakan Gerbang UI 2
5. Tanjakan Halter UI

Dari segi ergonomi, pembuatan batasan model ergonomi desain suatu benda harus dapat mewakili tujuan yang ingin dicapai. Sebagai contoh, penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini akan menggunakan satu model tanjakan yang memiliki kemiringan paling besar. Hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa tanjakan dengan kemiringan paling besar akan didapatkan desain standar sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang dapat mewakili seluruh kondisi lintasan jalur sepeda UI dari segi ergonomi. Cara ini dilakukan dengan tujuan agar mengurangi risiko kecelakaan dalam bersepeda dengan menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI di jalur sepeda UI. Berdasarkan pertimbangan ini, kondisi tanjakan di gerbang UI 2 akan menjadi variabel dalam model *virtual environment* penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita.

Pada penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita ini juga disimulasikan pada lintasan mendatar di jalur sepeda UI.

3.1.4 Waktu Untuk Simulasi *Virtual Environment*

Salah satu variabel yang juga menentukan adalah waktu untuk simulasi pada model *software Jack 6.0*. Yang diperlukan dalam pengambilan waktu tersebut adalah dua operator (yang mengambil data waktu), satu operator (yang menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI), dan *stopwatch*. Operator yang melakukan kegiatan bersepeda diukur setelah mencapai keadaan *steady state*. *Steady state* merupakan kondisi dimana keadaan yang ingin diukur tersebut sudah mencapai kondisi stabil yang dapat merepresentasikan keadaan bersepeda pada kondisi sebenarnya. *Steady state* yang dilakukan pada pengambilan data waktu ini dilakukan dengan cara; kegiatan bersepeda oleh operator yang menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dihitung ketika operator tersebut mulai bersepeda di halte sepeda terdekat dari tanjakan yang akan diukur. Sehingga keadaan ini akan merepresentasikan kegiatan

bersepeda dengan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada jalur sepeda UI pada kondisi yang sebenarnya.

Tabel 3. 4. Halte Terdekat Untuk Kondisi *Steady State*

Nama Tanjakan	Halte Sepeda Terdekat (mulai kegiatan bersepeda)
Gerbang UI 2	Halte sepeda: Halte stasiun UI

Data waktu bersepeda yang diambil di tanjakan gerbang UI 2 ini didapatkan dengan menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang merupakan prototipe akhir sebelum sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI tersebut diproduksi massal untuk masyarakat. Prototipe sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dalam pengambilan data ini masih dalam keadaan belum sempurna, sehingga pengambilan data waktu pada tanjakan gerbang UI 2 dilakukan dengan melakukan perbandingan waktu yang didapat ketika bersepeda menggunakan sepeda UI. Pengambilan data ini diambil di tanjakan balairung (danau) UI yang memiliki jarak tanjakan terkecil, dan hal ini dilakukan untuk menghindari kerusakan pada prototipe sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Waktu untuk sepeda UI dan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada tanjakan balairung (danau) UI ini didapatkan dengan menggunakan teknik pengambilan data yang telah dijelaskan di atas. Akan tetapi, untuk waktu menanjak yang menggunakan sepeda UI dilakukan dengan tidak memakai operator yang menggunakan sepeda UI melainkan dengan observasi mahasiswa yang melintas pada tanjakan tersebut.



Gambar 3. 21 Penggunaan Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Kemudian, untuk mendapatkan waktu menanjak seorang mahasiswi menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, dilakukan pula observasi dengan mengambil data waktu menanjak mahasiswi pengguna sepeda UI yang melintasi tanjakan gerbang UI 2.

Tabel 3. 5. Data Waktu Untuk Tanjakan Gerbang UI 2

Nama Tanjakan	Sepeda yang Digunakan	
	Sepeda UI	Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI
Balairung (Danau) UI	16 detik	14 detik
Gerbang UI 2	58 detik	50,75 detik

Dengan melakukan perbandingan waktu menanjak pada tanjakan Balairung (Danau) UI antara sepeda UI dengan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, maka didapatkan waktu yang mungkin pada saat seorang mahasiswi menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dan melintasi tanjakan gerbang UI 2. Sedangkan untuk lintasan mendatar, didapatkan juga dengan cara perbandingan waktu simulasi dengan sepeda UI pada salah satu kondisi lintasan mendatar di jalur sepeda UI.

3.2 Perancangan Model

Data-data yang telah berhasil dikumpulkan kemudian akan diolah untuk mencapai tujuan dari penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita ini. Data-data yang telah dikumpulkan ini juga akan digunakan pada model dengan menggunakan *software Jack 6.0*.

Model sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI didapatkan dalam bentuk format *file Solidworks 2007*. Data mentah model sepeda lipat ini diubah ke dalam format *file* yang dapat dibaca oleh *software Jack 6.0*. Adapun beberapa format file yang dapat dibaca oleh *software Jack 6.0* adalah sebagai berikut:

Format	File Extension
Vis	(.jt)
VRML 1.0	(.wrl)
VRML 2.0	(.wrl)
IGES 5.3	(.igs)
Stereolithography	(.stl)
Inventor 2.1	(.iv)
Optimizer 1.1	(.csb)
Performer 2.1 binary	(.pfb)
Deneb IGRIP 1.2 parts	(.igp, *)
Cyberware	(.cyb)
BYU	(.g)
Visualization Toolkit	(.vtk)
Marching cubes	(.tri)

Gambar 3. 22 Format Import Data *Software Jack 6.0*

Sumber: *Jack User Manual Version 6.0*, 2008, hal.48

Model sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan format *solidworks 2007* kemudian dimodifikasi menjadi format Vis dengan ekstensi *file .jt*. Modifikasi ini dilakukan dengan menggunakan *software NX6*. *File* model sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan format ekstensi *file .jt* memiliki keuntungan yang lebih dibandingkan ekstensi *file* lainnya pada model simulasi sepeda lipat Departemen Teknik mesin UI terhadap pengendara wanita dengan menggunakan *software Jack 6.0*. Ekstensi *file .jt* dapat dibuka secara langsung ke dalam *environment software Jack 6.0*. Selain itu, ekstensi *file .jt* memiliki beberapa keuntungan lainnya, yaitu²⁴:

- muatan langsung (meningkatkan waktu muatan oleh faktor dari sebuah faktor sampai 10 pada berbagai kasus; meningkatkan kemampuan *handling* geometri yang meliputi *frame rate*, dan ukuran *file* yang dapat dimuat)
- penampilan geometri JT lebih baik dari tampilan geometri yang di-*import* dalam bentuk format *file* lainnya

²⁴ *Jack User Manual Version 6.0*, 2008.

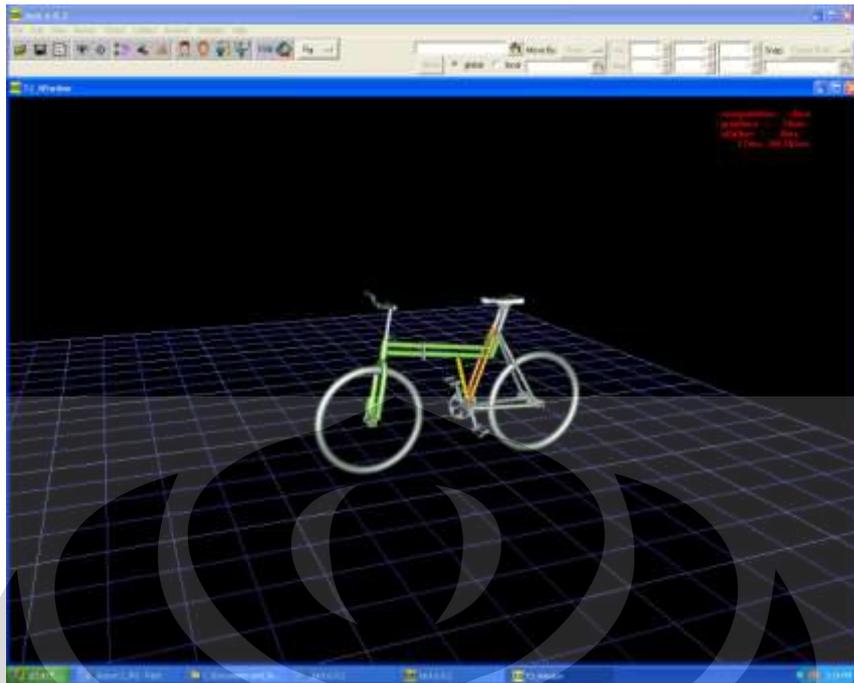
- pertukaran: pengguna dapat mengakses semua fungsi yang tidak *available* dengan menggunakan JT. Menu konteks dapat digunakan untuk mengakses fungsi tersebut. Mematikan *visibility* segmen JT dan mengganti dengan psurf
- *file environment* yang mengacu JT bisa dimasukkan langsung ke dalam *software Jack 6.0* dan *VMU environment*.

Untuk, desain tanjakan yang akan dimasukkan ke dalam model *environment* pada *software Jack 6.0* dibuat dengan menggunakan *software AutoCAD*. Kemudian, model tanjakan tersebut diubah ke dalam format yang dapat dibaca oleh *software Jack 6.0*. Oleh karena itu, model tanjakan *software AutoCAD* tersebut diubah ke dalam format .stl dengan menggunakan *software Autodesk Mechanical Desktop 2008*. *Command* yang digunakan untuk mendapatkan format .stl pada *software Autodesk Mechanical Desktop 2008* adalah AMSTLOUT. *Command* ini dapat membuat desain solid suatu benda secara langsung ke dalam bentuk .stl. Cara seperti ini akan lebih mudah jika dibandingkan dengan *command* STLOUT yang menggunakan *software AutoCAD*.

3.2.1 Perancangan Model Dengan *Software Jack 6.0*.

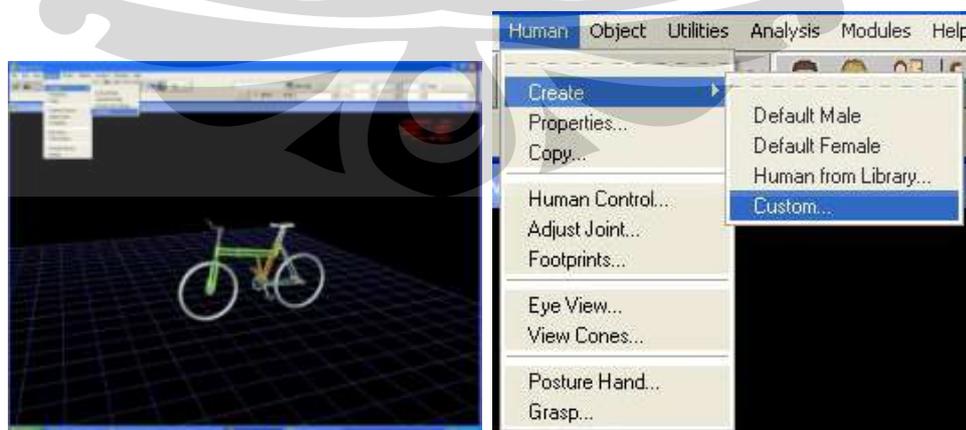
Perancangan model penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita menggunakan model *virtual environment* di dalam *software Jack 6.0*. Adapun langkah-langkah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Membuka tampilan *software Jack 6.0* pada komputer yang digunakan.
2. Meng-*import* model sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang telah diubah ke dalam format .jt ke dalam *software Jack 6.0*. *Command* yang digunakan adalah File → Import.



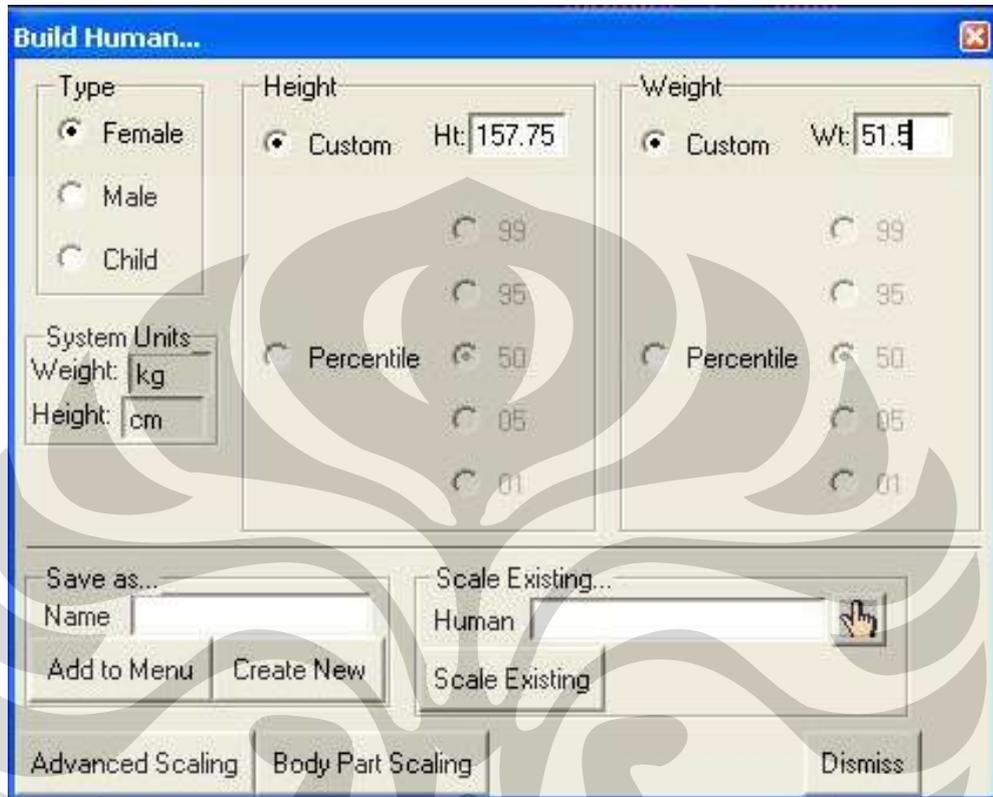
Gambar 3. 23 Tampilan Sepeda Pada *Software Jack 6.0*

3. Memasukan *virtual human* yang akan disimulasikan. *Virtual human* yang dimasukkan ke dalam model simulasi ini berdasarkan pada data antropometri yang telah diambil. *Virtual human* ini menggunakan data antropometri mahasiswi persentil 50 dikarenakan persentil 50 merupakan nilai tengah dari nilai maksimum dan nilai minimum data antropometri. Desain sebuah benda harus dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan penggunaanya.



Gambar 3. 24 Tampilan Membuat *Virtual Human*

Pada *software Jack 6.0*, virtual human dibuat dengan menggunakan *command custom* dan *advance scaling*. *Command* yang digunakan dalam tahapan ini adalah Human → Create Human → Custom.



Gambar 3. 25 Kotak Dialog *Create Human*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.66

Build Human...

Stature:

Abdominal Dep.:

Ankle Hgt:

Acromion Height:

Arm Length:

Biacromial Br.:

Bideltoid Br.:

Buttock-Knee:

Elbow Rest Hgt:

Elbow-Fingertip:

Foot Breadth:

Foot Length:

Hand Breadth:

Hand Length:

Head Breadth:

Head Height:

Head Length:

Gender: Female Male

Hip Breadth:

Interpupil Dist:

Shoulder-Elbow:

Sitting Acromial:

Sitting Eye:

Sitting Hgt:

Sit Knee Hgt:

Thigh Clearance:

Thumbtip Reach:

Units:

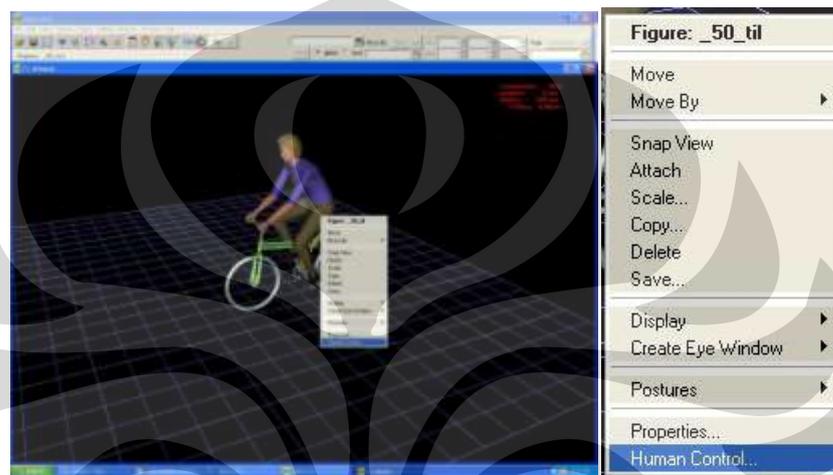
Save as...

Gambar 3. 26 Kotak Dialog *Advanced Human Scaling*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.68

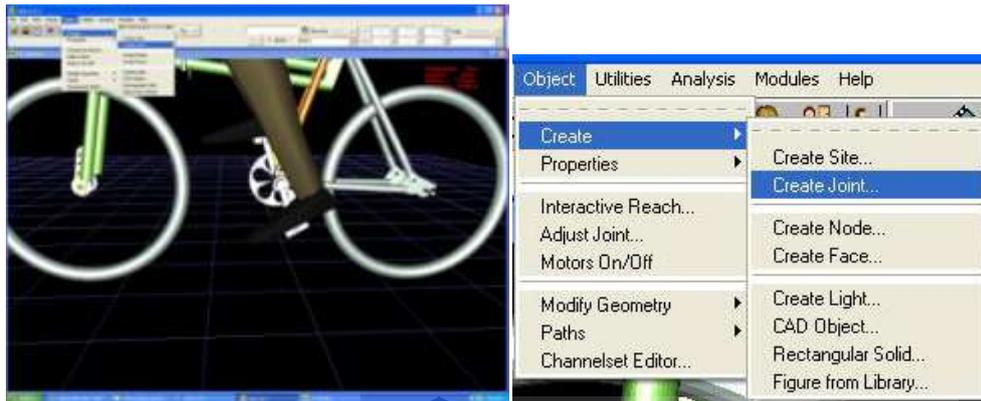
Data antropometri untuk persentil 50 yang telah diambil dimasukkan ke dalam *command advance scaling*.

4. Tahap selanjutnya adalah memposisikan *virtual human* tersebut ke dalam postur bersepeda. Hal ini dilakukan dengan menggunakan *human control* yang ada pada saat mengklik kanan pada *virtual human* tersebut atau dengan mengklik Human → Human Control.

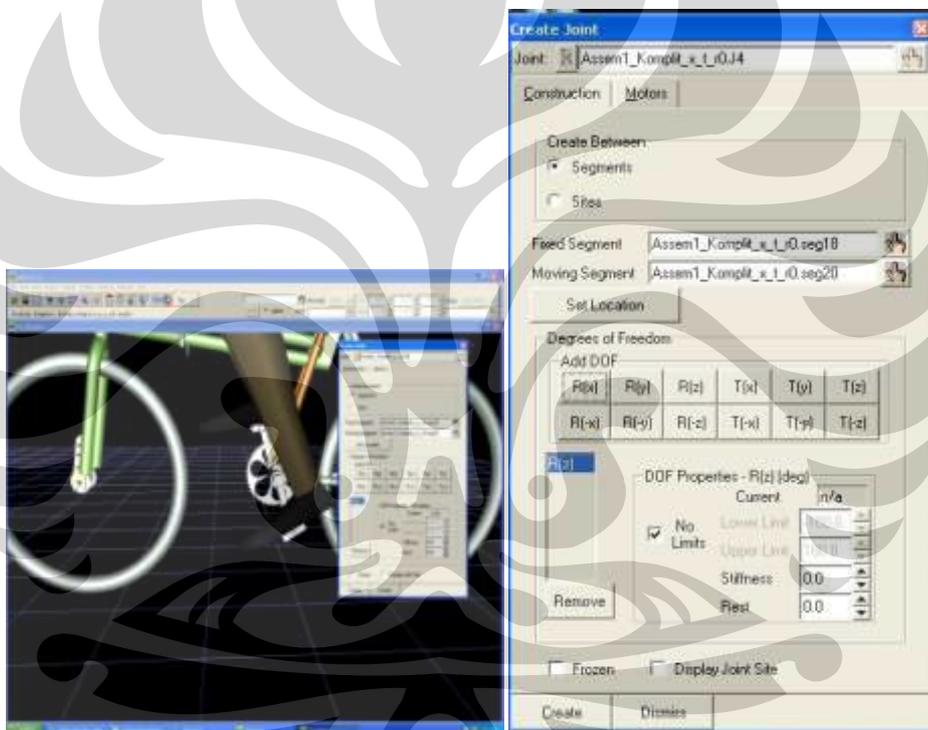


Gambar 3. 27 Tampilan *Command Human Control*

Kemudian, *joints* sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini dibuat agar pedal dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan. *Joints* sepeda yang akan terbentuk adalah pada bagian pedal sepeda yaitu dua bantalan pedal sepeda kanan dan kiri, satu batang pedal sepeda sebelah kanan yang menyatu dengan bulatan rantai sepeda, dan satu batangan pedal sepeda sebelah kiri. *Command* yang digunakan untuk membuat *joint* adalah Object → Create → Create Joint.



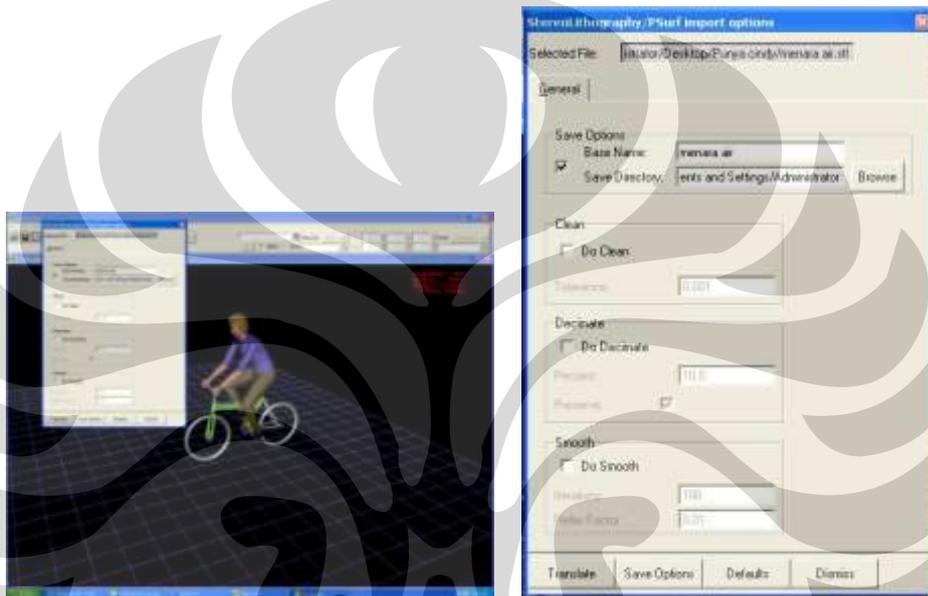
Gambar 3. 28 Tampilan Pembuatan *Joints* Pada Sepeda



Gambar 3. 29 Tampilan Keterangan *Joints* Sepeda

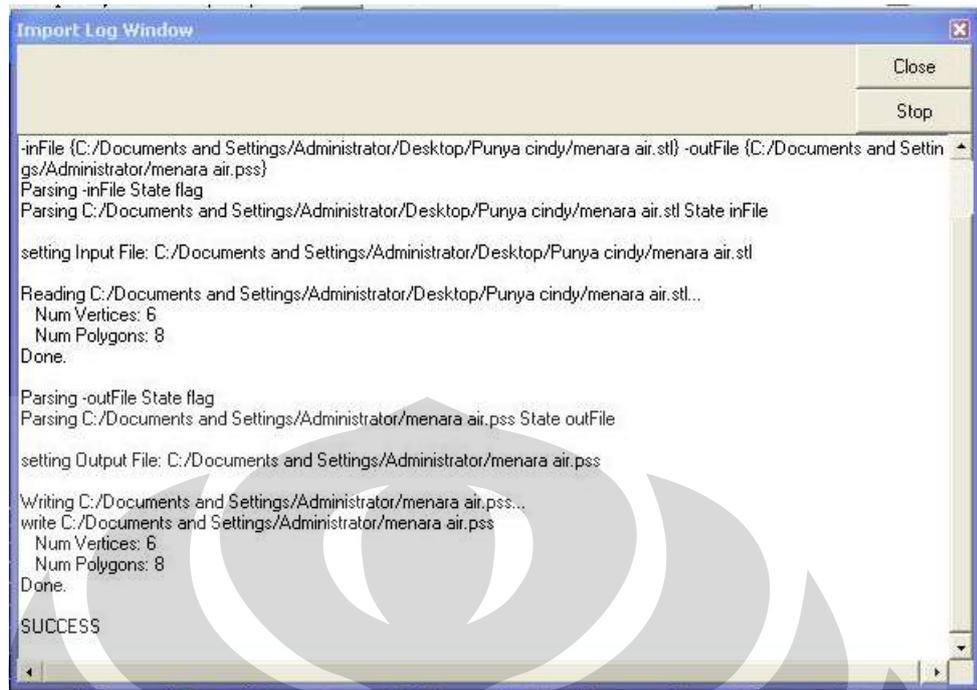
Pada model simulasi ini dipilih *degree of freedom* (DOF) pada pedal yaitu $R\{z\}$ dan tidak memiliki batas (*No Limits*). $R\{z\}$ ini berarti bahwa *joint* pada pedal tersebut akan bergerak secara rotasi dan mengikuti sumbu z, dan DOF itu dipilih *No Limits* berarti bahwa perputaran pedal tersebut tidak dibatasi.

5. Selanjutnya, memasukkan variabel yang berpengaruh pada model *virtual environment* ini, yaitu tanjakan. Tanjakan yang akan digunakan pada model *virtual environment* sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita adalah tanjakan gerbang UI 2. Cara memasukan model tanjakan ke dalam tampilan *software Jack 6.0* adalah dengan meng-*import file* tanjakan tersebut ke dalam model simulasi. Cara ini sama dengan cara meng-*import* model sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ke dalam tampilan *software Jack 6.0*.

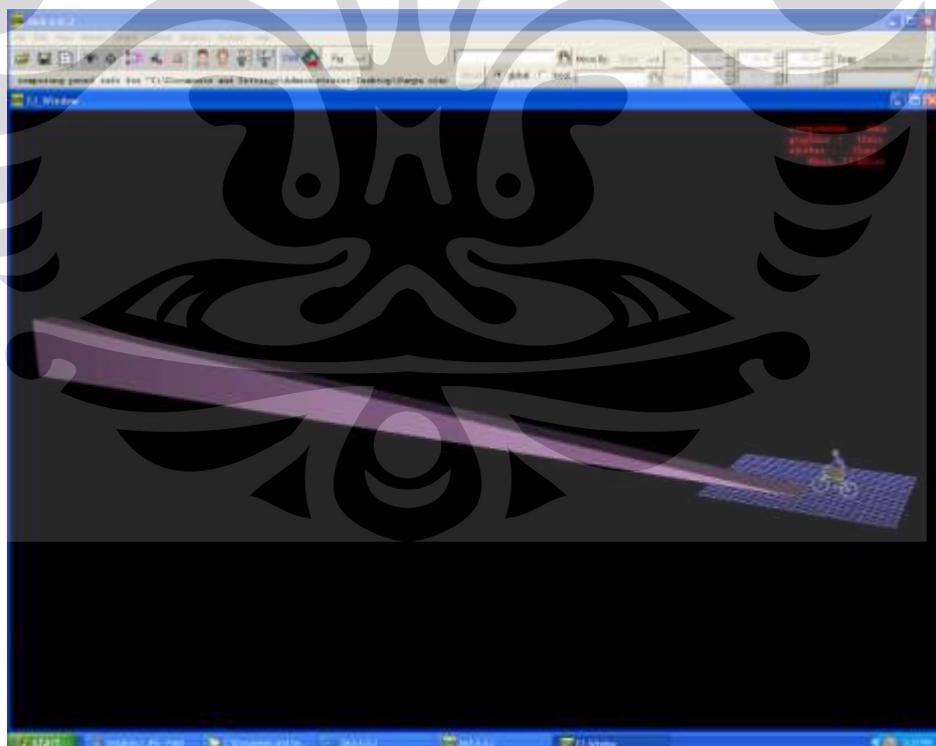


Gambar 3. 30 Tampilan Perintah Meng-*import* Model Tanjakan

Setelah muncul gambar *command box* seperti di atas, kemudian pilih *translate*. *Log window* akan muncul yang akan menunjukkan *import* model tanjakan tersebut berhasil atau tidak.

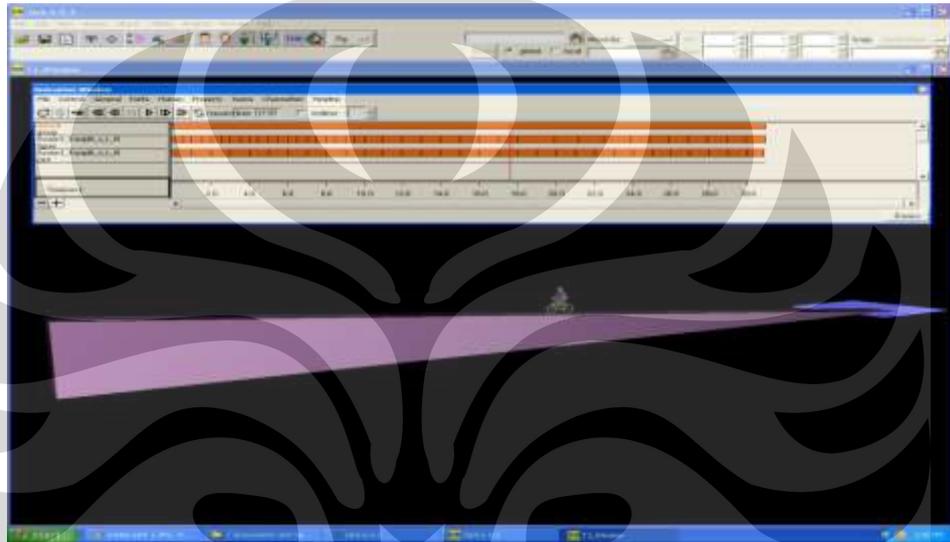


Gambar 3. 31 Tampilan *Import Log Window*

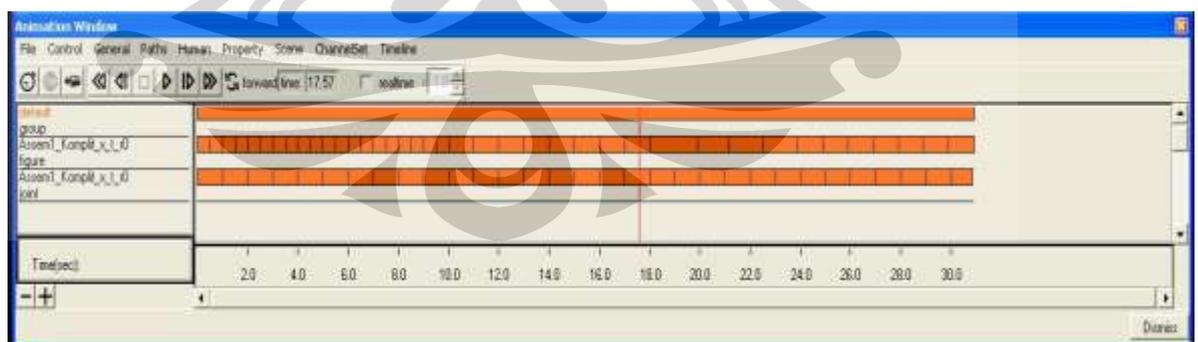


Gambar 3. 32 Tampilan Model Tanjakan Setelah Di-*import*

6. Tahap selanjutnya adalah membuat animasi pergerakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang digunakan oleh *virtual human* dengan persentil 50 mahasiswi Universitas Indonesia dalam melewati tanjakan gerbang UI 2. Pembuatan animasi ini menggunakan *command animation system* yang ada pada *software Jack 6.0*. *Command* yang digunakan adalah Modules → Animation Systems.



Gambar 3. 33 Tampilan Simulasi Sepeda Lipat UI Dengan Pengendara Wanita



Gambar 3. 34 Tampilan *Command Box Animation System*

Data waktu tanjakan gerbang UI 2 digunakan dalam membuat animasi pergerakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI oleh pengendara wanita.

- Memberikan gaya pada model. gaya dan beban dalam postur bersepeda ini adalah terdistribusi dalam keadaan postur duduk. Pada kedua kaki juga dimasukkan gaya pedal bersepeda dengan menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Model ini juga diasumsikan untuk mendapatkan postur terburuk sehingga harus dimasukkan beban sebesar 2 kg masing-masing pada punggung kiri dan kanan pengendara ini. Asumsi ini muncul pada keadaan seorang mahasiswi yang menggunakan sepeda pada jalur sepeda UI akan memakai tas.



Gambar 3. 35 Tampilan *Loads and Weights Box*

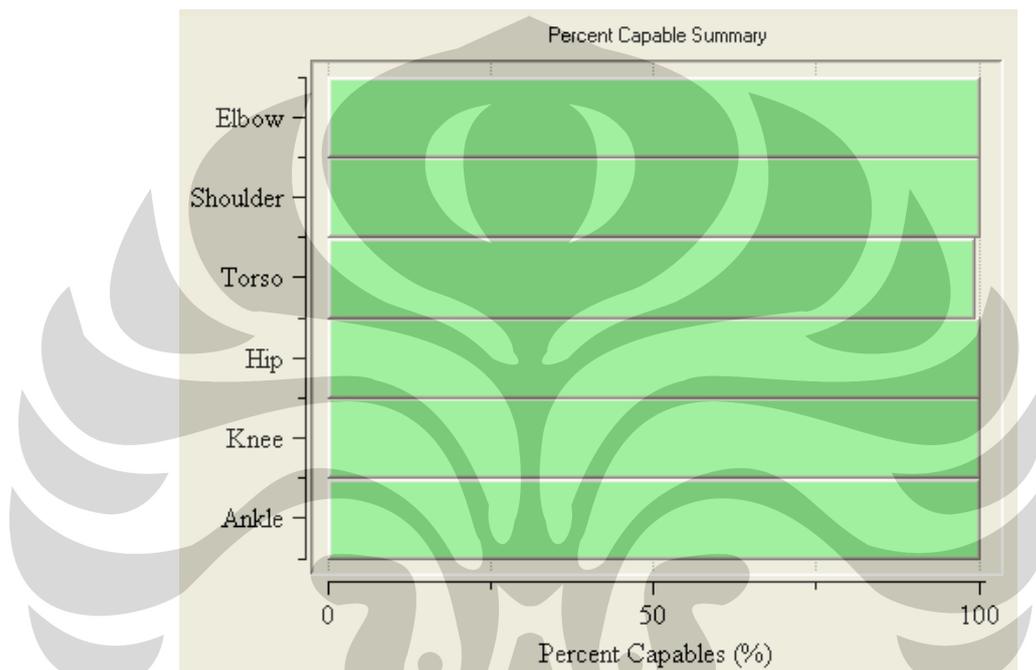
8. Mengecek nilai persen kapabilitas. Pada awal simulasi, dilihat dulu persen kapabilitas postur yang dimodelkan apakah memenuhi syarat dalam membuat analisis selanjutnya. Persen kapabilitas ini diukur dengan menggunakan *static strength prediction* (SSP). Jika nilai yang ditunjukkan sudah memiliki nilai persen kapabilitas di atas 90%, maka analisis selanjutnya dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai PEI (*Posture Evaluation Index*).



Gambar 3. 36 Tampilan *Static Strength Prediction*

Warna hijau yang ditunjukkan menjelaskan bahwa postur bersepeda ini dapat digunakan oleh mahasiswa karena persen kemampuan untuk tiap beberapa bagian tubuh yang penting menunjukkan nilai yang besar, yaitu di atas nilai 90%. Pada SSP juga dapat dimasukkan gaya yang berkaitan dengan gerakan simulasi. Pada model ini, ditambahkan gaya yang berkaitan, yaitu gaya pedal pada kegiatan bersepeda dengan menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI oleh mahasiswa UI pada jalur sepeda UI, dan beban yang

diasumsikan sebagai bawaan (tas) oleh mahasiswa UI dan diberikan pada bahu pengendara tersebut. Gaya pada model sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita ini diasumsikan terdistribusi pada posisi duduk (*sitting*). Gambar 3.37 di bawah ini merupakan contoh hasil SSP dari satu model yang dapat dilanjutkan untuk dianalisis menggunakan LBA, RULA, dan OWAS.



Gambar 3. 37 Tampilan Persen Kapabilitas SSP

Berdasarkan gambar 3.37, ditunjukkan *percent capable* yang baik dengan menunjukkan nilai di atas 90% untuk tubuh bagian tertentu yang dianggap akan banyak melakukan gerakan simulasi pada *software Jack 6.0*. Nilai di atas 90% ini diartikan sebagai batas kemampuan yang baik untuk bagian tubuh tersebut melakukan pekerjaan. Pada standar *software Jack 6.0*, nilai *limit percent capable* (batas persen kemampuan) untuk pria dan wanita berbeda, yaitu 99% untuk pria, dan 75% untuk wanita. Sehingga, terlihat jelas bahwa kemampuan tubuh wanita dan pria berbeda dalam melakukan suatu pekerjaan yang sama. Tahap terakhir adalah mendapatkan nilai dari beberapa

hasil analisis yang dikeluarkan oleh *software Jack 6.0* ini. Semua analisis yang diperlukan untuk mendapatkan nilai PEI berada di dalam *analysis toolkit software Jack 6.0*. Analisis-*analisis* yang digunakan adalah:

- Analisis *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

RULA merupakan salah satu alat ergonomi untuk menganalisis tubuh bagian atas. RULA membagi dua kelompok tubuh untuk dianalisis yaitu kelompok tubuh bagian atas A dan kelompok tubuh bagian atas B. Kelompok tubuh bagian atas A meliputi tangan, lengan, dan pergelangan tangan, sedangkan kelompok tubuh bagian atas B meliputi leher dan batang tubuh atas secara umum. Nilai RULA yang akan diberikan berupa indeks antara 1-7 yang merupakan hasil penilaian dari total nilai yang diberikan oleh kedua kelompok tubuh bagian atas tersebut. Gambar 3.38 di bawah ini merupakan contoh hasil nilai RULA penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan menggunakan model awal sepeda lipat.

The screenshot displays the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software window. It includes a 'Task Entry' tab and an 'Analysis Summary' section. The job details are as follows:

Job Title:	Gerbang UI 2	Job Number:	
Location:	Kampus UI Depok	Analyst:	Cindy A
Comments:		Date:	19 Juni 2009

The assessment results are categorized into two groups:

Body Group A Posture Rating		Body Group B Posture Rating	
Upper arm:	3	Neck:	4
Lower arm:	3	Trunk:	3
Wrist:	2	Total:	8
Wrist Twist:	2		
Total:	4		

Muscle Use and Force/Load information:

Muscle Use:	Normal, no extreme use	Muscle Use:	Normal, no extreme use
Force/Load:	< 2 kg intermittent load	Force/Load:	2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
Arms:	Supported		

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

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

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

Gambar 3. 38 Tampilan Nilai RULA

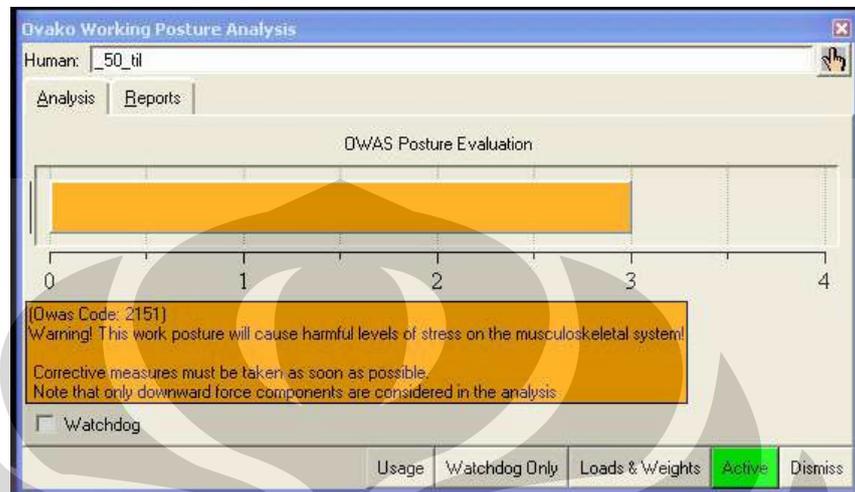
Nilai RULA akan bergantung pada dua kelompok bagian tubuh atas tersebut, sehingga untuk memperkecil nilai RULA diperlukan perubahan postur yang melibatkan kedua kelompok tubuh bagian atas tersebut.

Pada seluruh model konfigurasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita, dimasukkan beberapa perintah. Kelompok tubuh bagian atas A dimasukkan kondisi otot normal tanpa penggunaan yang ekstrim, beban atau gaya yang diberikan lebih kecil dari 2 kg dan tidak konstan, dan lengan mendukung postur yang sedang dianalisis. Hal ini didasari pada kegiatan bersepeda kelompok tubuh bagian atas A tidak mendapatkan beban signifikan dan ada secara terus menerus, dan lengan mendukung postur dari kegiatan bersepeda dengan adanya postur memegang stang sepeda. Kelompok tubuh bagian atas B dimasukkan dengan kondisi otot normal tanpa penggunaan yang ekstrim, dan adanya beban atau gaya antara 2-10 kg yang konstan yang merupakan asumsi dari pengendara wanita tersebut membawa tas pada saat bersepeda menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada jalur sepeda UI. Nilai RULA ini juga didukung dengan adanya penilaian pada posisi kedua kaki. Pada seluruh model sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini, postur diposisikan seperti duduk dengan kondisi kedua kaki didukung, dan beban terdistribusi secara merata. *Command* ini dipilih karena postur dari bersepeda itu sendiri yang merupakan postur duduk, posisi kaki ditopang oleh pedal, dan gaya pedal tersebut yang terdistribusi secara merata pada kedua kaki pengendara sepeda.

- Analisis *Ovako Working Posture* (OWAS)

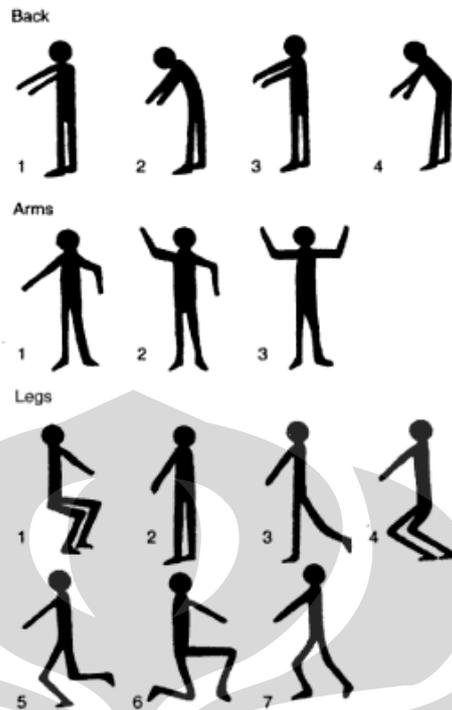
OWAS memberikan penilaian berdasarkan postur tubuh secara keseluruhan pada saat bekerja. OWAS menilai bagian tubuh yang berkaitan dalam melakukan pekerjaan seperti tulang belakang, kaki, dan lengan secara bersamaan. Pada model simulasi *software jack 6.0* untuk penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap

pengendara wanita dengan menggunakan model awal sepeda pada lintasan menanjak jalur sepeda UI, didapatkan nilai OWAS sebesar 3 seperti gambar 3.39 di bawah ini:



Gambar 3. 39 Tampilan Nilai OWAS

Nilai OWAS ini mempunyai kode yang terdiri dari 4 angka. Keempat angka ini terdiri dari kode untuk tiga bagian tubuh yaitu tulang belakang, kaki dan lengan, dan berat beban yang diberikan pada postur tersebut. Sebagai contoh, kode OWAS yang didapatkan pada gambar 3.40 yaitu 2151.



Gambar 3. 40 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

Sumber: Karwowski, 2001, hal.3299

Angka 2 pada angka pertama menunjukkan bagaimana bentuk tulang belakang pada postur model, angka 1 pertama pada rangkaian kode OWAS tersebut menunjukkan bagaimana bentuk lengan pada postur model, posisi kaki pada postur model ditunjukkan oleh angka 5, dan angka terakhir yaitu angka 1 menunjukkan beban yang diterima oleh postur. Kode OWAS ini ditunjukkan pada tabel 3. 6 berikut ini.

Tabel 3. 6. Kode OWAS Untuk Angka Pertama, Kedua, dan Ketiga

No. Kode Pada Kode OWAS	Angka		
	Pertama	Kedua	Ketiga
	Tulang Belakang	Lengan	Kaki
1	Lurus	kedua Lengan di Bawah Bahu	Duduk
2	Bungkuk	Salah Satu di Atas Bahu	Berdiri Pada Kedua Kaki
3	Berputar	Kedua Lengan di Atas Bahu	Berdiri Pada Satu Kaki
4	Bungkuk dan Berputar		Duduk dengan Dua Lutut Menekuk
5			Duduk dengan Satu Lutut Menekuk
6			Berlutut
7			Berjalan

Ada tiga jenis beban yang diberikan pada postur untuk memberi kode OWAS, yaitu:

Tabel 3. 7. Kode OWAS Untuk Angka Terakhir

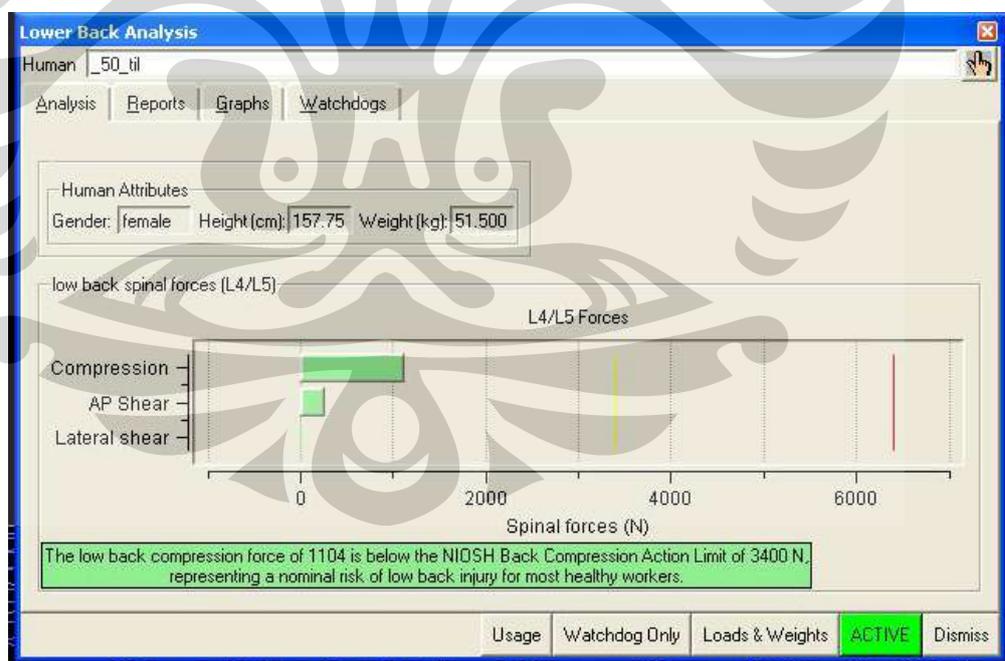
Kode OWAS	Beban yang diberikan
1	<10 kg
2	<20 kg
3	>20 kg

OWAS ini sangat berguna bila digunakan pada lingkungan industri karena memberikan nilai pada postur pekerja dalam melakukan pekerjaan. Analisis ergonomi ini sangat baik untuk postur kerja dengan

pergantian gerakan yang cepat atau tidak membutuhkan waktu yang lama.

- Analisis *Lower Back Analysis* (LBA)

Nilai LBA yang akan didapatkan dengan menggunakan *software Jack 6.0* akan berupa nilai gaya yang dibebankan terhadap tulang belakang *virtual human*. Berdasarkan *software Jack 6.0*, nilai batas gaya tekanan yang sudah memasuki kategori peringatan adalah sebesar 3400 newton yang merupakan nilai batas gaya tekanan yang dapat diterima tulang belakang pada postur mengangkat dan merupakan standar NIOSH (*the National Institute for Occupational Safety and Health*), dan nilai batas gaya tekanan yang sudah memasuki kategori berbahaya atau dapat merusak tubuh adalah sebesar 6400 newton. Gambar 3.41 di bawah ini merupakan contoh nilai LBA yang didapatkan dari *software Jack 6.0* pada model *virtual environment* sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan menggunakan model awal sepeda lipat.



Gambar 3. 41 Tampilan Nilai LBA

Pada gambar 3.41, terlihat bahwa gaya tekanan terhadap tulang belakang *virtual human* yang disimulasikan memiliki gaya tekanan sebesar 1104 newton.

Berdasarkan beberapa model konfigurasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang dianalisis, didapatkan bahwa gaya tekanan terhadap tulang belakang pada *software Jack 6.0* didasarkan postur yang diberikan. Dari postur bersepeda pada model konfigurasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, didapatkan kesimpulan bahwa nilai LBA akan semakin kecil apabila posisi tulang belakang mendekati posisi normal tulang belakang tanpa melakukan aktifitas bekerja. Posisi badan yang memiliki postur semakin bungkuk maupun postur tubuh bagian atas dengan arah ke belakang, akan memberikan nilai LBA yang semakin besar.

Pada model ini juga dijalankan simulasi pada dua keadaan lintasan yaitu lintasan menanjak dan lintasan mendatar. Nilai LBA pada lintasan menanjak akan semakin berkurang dengan penambahan kemiringan lintasan menanjak tersebut.

9. Tahap selanjutnya adalah memasukkan semua nilai ke dalam rumus PEI (*Posture Evaluation Index*). Untuk model pertama ,yaitu dengan desain awal dari sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, pengendara sepeda tersebut adalah mahasiswi UI dengan persentil 50 antropometri, dan disimulasikan pada tanjakan Gerbang UI 2, memiliki nilai PEI sebesar:

$$PEI_1 = 1104 N / 3400 N + \frac{3}{4} + \frac{6}{7} * 1,42 = 0,3247 + 0,75 + 1,217 = 2,292$$

Nilai terbesar dari nilai PEI adalah sebesar 3,42.

10. Membuat model lainnya dengan konfigurasi desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk mencari desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang terbaik bagi pengendara mahasiswi UI dengan cara seperti yang telah dijelaskan di atas.

3.2.2 Perhitungan Gaya Pada Simulasi *Virtual Environment* Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Beban yang diberikan pada kaki berupa gaya kayuh sepeda yang dikeluarkan oleh pengendara untuk menggerakkan sepeda. Perhitungan gaya kayuh sepeda ini dilakukan dengan asumsi bahwa gir yang digunakan oleh pengendara dalam mengendarai sepeda pada lintasan menanjak adalah gir yang paling kecil yaitu gir satu dan gir yang digunakan pada lintasan mendatar adalah gir empat. Selain itu, koefisien gesekan (μ) yang terjadi antara ban sepeda dengan jalur sepeda diasumsikan sama dengan koefisien gesekan yang terjadi antara karet dengan semen yaitu sebesar 0,85. Besarnya gaya kayuh sepeda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti di bawah ini:

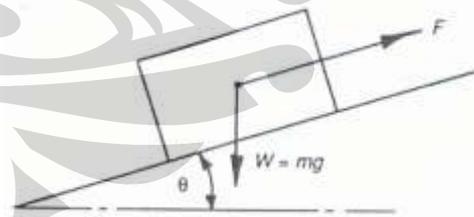
>> Untuk lintasan menanjak

$$\begin{aligned}\theta &= \text{arc tan } 11,5\% \\ &= \text{arc tan } 0,115 \\ &= 6,56^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{\text{sepeda}} &= m a \text{ (karena kecepatan dianggap konstan, maka } a=0) \\ &= 0 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_s &= W (\mu \cos \theta + \sin \theta) \\ &= m g (\mu \cos \theta + \sin \theta) \\ &= (15 + 51,5) \times 9,8 ((0,85 \times 0,99) + 0,11) \\ &= 651,7 \times 0,9515 \\ &= 620,09255 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{\text{rb}} &= F_{\text{sepeda}} + F_s \\ F_{\text{rb}} &= F_s \\ F_{\text{rb}} &= 620,09255 \text{ N}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 F_p &= \frac{F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}}{R_{gb} \times L_{tp}} & R_{gd} &= 9 \text{ cm} \\
 & & R_{rb} &= 25,4 \text{ cm} \\
 & & R_{gb} &= 6,5 \text{ cm} \\
 & & L_{tp} &= 11 \text{ cm} \\
 &= \frac{620,09255 \times 9 \times 25,4}{6,5 \times 11} \\
 &= \frac{141753,157}{71,5} = 1982,56 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Beban gaya ini diasumsikan terdistribusi secara merata di kedua kaki pengendara. Dengan demikian, masing-masing kaki dikenakan beban sebesar 1982,56 N dibagi dua yaitu sebesar 991,28 N atau 101,1 kg. Pemberian beban kepada kaki pengendara yang diwakili oleh model manusia (manekin) dilakukan dengan menggunakan *command* Modules → LoadsAndWeights.



Gambar 3. 42 *Command* Loads And Weights

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk lintasan mendatar. Hasil yang diperoleh adalah seperti di bawah ini:

>> Untul lintasan mendatar

$$\begin{aligned}
 F_{sepeda} &= m a \text{ (karena kecepatan dianggap konstan, maka } a=0) \\
 &= 0 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_s &= \mu m g \\
 &= 0,85 \times (15 + 51,5) \times 9,8 \\
 &= 553,945 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{rb} &= F_{sepeda} + F_s \\
 F_{rb} &= F_s \\
 F_{rb} &= 553,945 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_p &= \frac{F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}}{R_{gb} \times L_{tp}} & R_{gd} &= 9 \text{ cm} \\
 & & R_{rb} &= 25,4 \text{ cm} \\
 & & R_{gb} &= 4,5 \text{ cm} \\
 & & L_{tp} &= 11 \text{ cm} \\
 &= \frac{553,945 \times 9 \times 25,4}{4,5 \times 11} \\
 &= \frac{126631,827}{49,5} = 2558,22 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, beban yang diberikan kepada kaki model manusia (manekin) sebagai pengendara pada lintasan mendatar adalah 2558,22 N dibagi dua yaitu sebesar 1279,11 N atau 130,52 kg untuk masing-masing kaki. Jika dibandingkan dengan lintasan menanjak, beban yang dikenakan terhadap kaki model manusia (manekin) sebagai pengendara sepeda pada lintasan mendatar mempunyai nilai yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan gir yang digunakan oleh pengendara pada masing-masing lintasan.

3.2.3 Konfigurasi Desain Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Konfigurasi desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini berdasarkan pada posisi stang sepeda dan sadel dari desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI tersebut.

Untuk desain stang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, akan ada 3 jenis stang sepeda yaitu stang sepeda pada sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang memiliki ukuran tinggi sebesar 12 cm, tinggi stang sepeda yang ditambahkan sebesar 10 cm dari model aktualnya, dan tinggi stang sepeda yang ditambahkan sebesar 20 cm dari model aktualnya. Kemudian, untuk desain sadel sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, akan ada 3 jenis sadel sepeda pula yaitu ukuran asli sadel sepeda pada sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, tinggi sadel sepeda yang ditambahkan sebesar 4 cm dari model aktualnya, dan tinggi sadel sepeda yang ditambahkan sebesar 8 cm dari model aktualnya. Nilai pertambahan tinggi pada stang dan sadel sepeda berdasarkan pada observasi langsung prototipe sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Sehingga, untuk

mesimulasikan semua desain pada satu model tanjakan yaitu tanjakan Gerbang UI 2 akan didapatkan 9 model simulasi bersepeda menggunakan *software Jack 6.0*, dan kesembilan konfigurasi ini juga disimulasikan pada lintasan mendatar.

Tabel 3. 8. Konfigurasi Desain Sepeda Lipat

No. Konfigurasi	Ukuran (mm)		Keterangan
	Sadel	Stang	
1	830	120	Aktual
2	830	220	USULAN
3	830	320	
4	870	120	
5	910	120	
6	870	220	
7	910	220	
8	870	320	
9	910	320	

3.2.4 Pengujian Model

Pengujian model terdiri dari dua bagian utama, yaitu verifikasi dan validasi model. Suatu model dikatakan telah lolos verifikasi jika model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen. Greenberger, Crenson, and Crissey (1976) mendeskripsikan verifikasi sebagai suatu uji apakah suatu model telah disintesis tepat sesuai dengan yang dimaksud. Verifikasi model mengindikasikan bahwa model tersebut telah dipercaya konsepnya, namun tidak peduli konsepsi tersebut valid atau tidak.

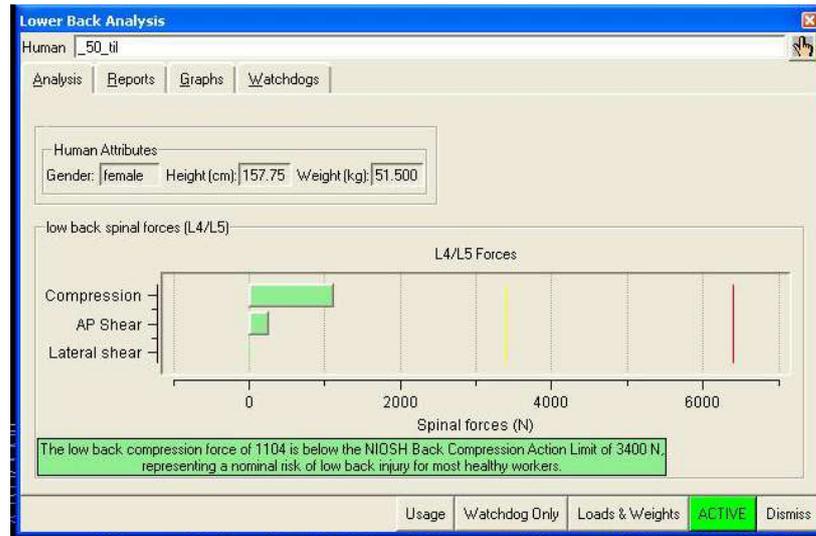
Verifikasi terhadap model konfigurasi yang telah dibuat dilakukan dengan cara memperhatikan apakah model tersebut sesuai dengan kondisi sebenarnya atau tidak. Dalam hal ini, yang dilakukan adalah membandingkan postur tubuh pengendara dalam model konfigurasi dengan postur tubuh pengendara yang sebenarnya.



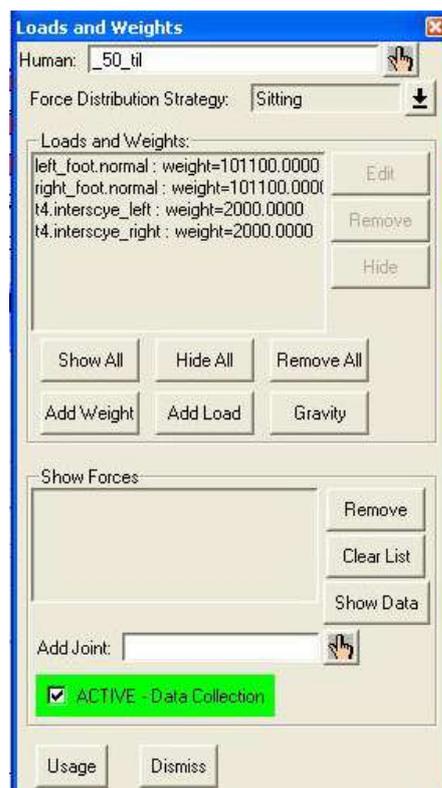
Gambar 3. 43 Verifikasi Model

Setelah melewati proses verifikasi model, maka tahapan selanjutnya dalam pengujian model adalah proses validasi model. Validasi terhadap model konfigurasi dilakukan dengan cara memberikan beban berlebih kepada model manusia (manekin). Pada bagian bahu manekin, diberikan beban seberat 10 kg dan 20 kg yang terdistribusi secara merata di bahu bagian kiri dan kanan. Pemberian beban ini seharusnya memberikan pengaruh terhadap analisis *lower back*. Apabila hasil analisis LBA sebelum dan sesudah pemberian beban menunjukkan perubahan, maka model konfigurasi yang dibuat dapat dinyatakan valid. Perbedaan nilai LBA setelah terjadinya pembebanan pada bahu pengendara wanita untuk penelitian ini ditunjukkan sebagai berikut:

- Nilai LBA pada desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita pada tanjakan Gerbang UI 2 dengan beban 4 kg yang terdistribusi merata pada bahu pengendara wanita tersebut menunjukkan nilai sebesar 1104 newton.

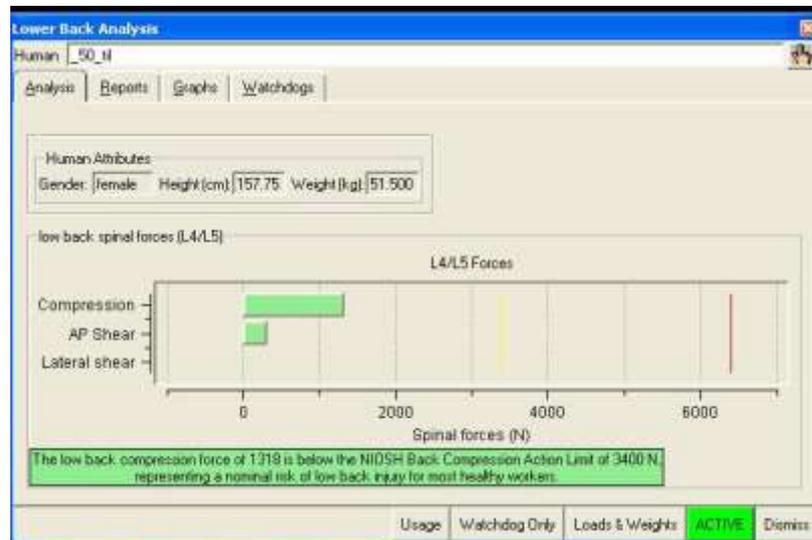


Gambar 3. 44 Nilai LBA Untuk Beban Bahu 4 kg

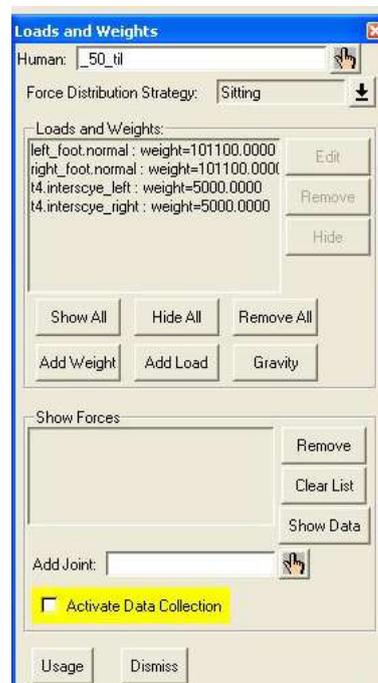


Gambar 3. 45 Tampilan Kotak Loads and Weights Untuk Beban Bahu 4 kg

- Nilai LBA pada desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita pada tahanan Gerbang UI 2 dengan beban 10 kg yang terdistribusi merata pada bahu pengendara wanita tersebut menunjukkan nilai sebesar 1318 newton.

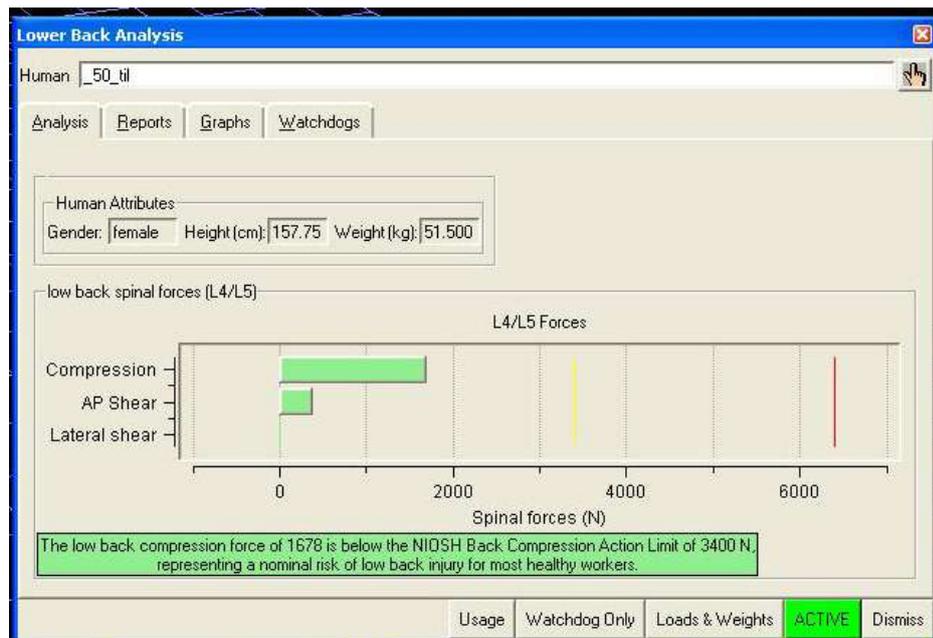


Gambar 3. 46 Nilai LBA Untuk Beban Bahu 10 kg

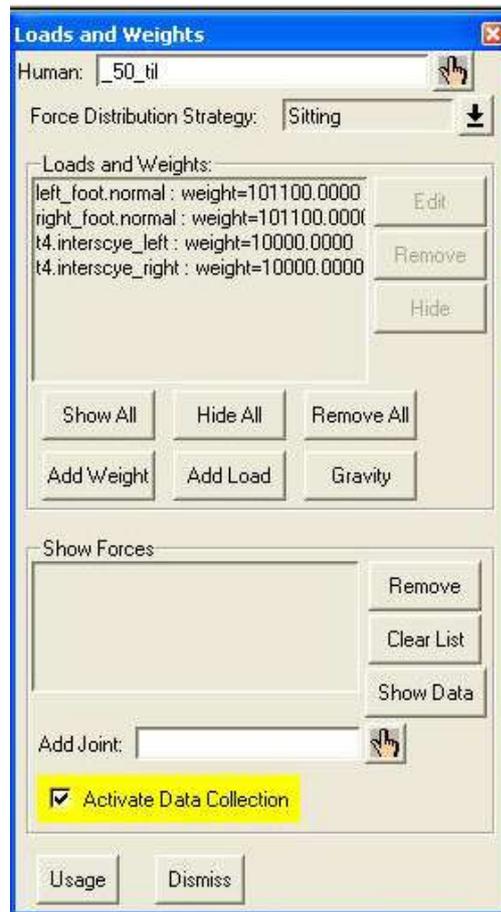


Gambar 3. 47 Tampilan Kotak Loads and Weights Untuk Beban Bahu 10 kg

- Nilai LBA pada desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita pada tanjakan Gerbang UI 2 dengan beban 20 kg yang terdistribusi merata pada bahu pengendara wanita tersebut menunjukkan nilai sebesar 1678 newton.



Gambar 3. 48 Nilai LBA Untuk Beban Bahu 20 kg



Gambar 3. 49 Tampilan Kotak Loads and Weights Untuk Beban Bahu 20 kg

Setelah diujicobakan dengan *software jack 6.0*, terlihat bahwa nilai LBA untuk beberapa pembebanan pada bahu memberikan nilai LBA yang berbeda. Perbedaan nilai LBA akan memberikan nilai PEI yang berbeda. Sehingga, pada model untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan metode PEI ini akan memberikan hasil yang valid.

BAB 4

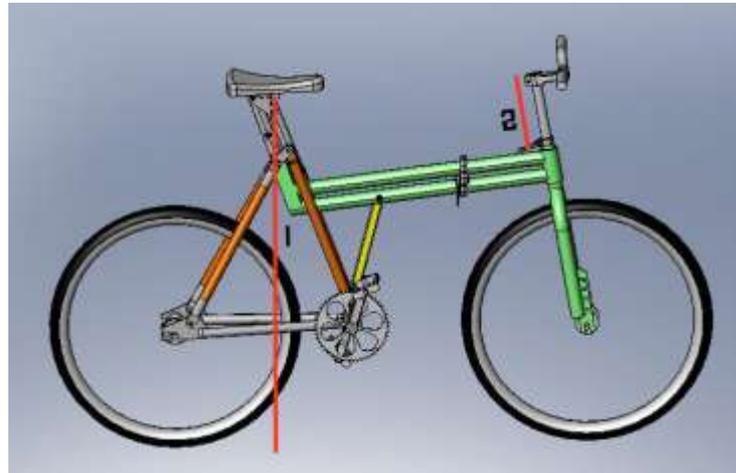
PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas tentang hasil-hasil dan analisis ergonomi berdasarkan model simulasi *virtual environment* sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) terhadap mahasiswi UI yang dibuat dengan menggunakan *software Jack 6.0*. Sub-bab yang ada dalam bab ini adalah simulasi menggunakan *software jack 6.0*, nilai PEI (*Posture Evaluation Index*) desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, nilai PEI (*Posture Evaluation Index*) desain usulan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, dan analisis hasil nilai PEI (*Posture Evaluation Index*).

4.1 Simulasi Menggunakan Software Jack 6.0

Sebelum melakukan perhitungan nilai PEI, maka dibangun terlebih dahulu model bersepeda dengan menggunakan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang dilakukan oleh mahasiswi UI dengan persentil 50. Desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI tersebut kemudian diubah pada bagian stang dan sadel untuk mendapatkan 9 jenis desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang terdiri dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, dan 8 desain usulan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Desain usulan ini akan mengubah ukuran pada stang dan sadel. Stang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini akan diubah dengan adanya penambahan 10 cm dan 20 cm, dan sadel akan diubah dengan penambahan 4 cm dan 8 cm. Selain itu, konfigurasi juga dibuat berdasarkan kombinasi variabel perubahan stang dan sadel sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Nilai penambahan ukuran ini berdasarkan pada observasi langsung dan wawancara dengan salah satu anggota tim pembuat sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Angka 10 dan 20 pada penambahan stang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI akan memberikan perbedaan yang signifikan dibandingkan jika diberikan nilai pertambahan yang lebih kecil, dan jika diberikan angka yang lebih besar akan memberikan perbedaan yang terlalu besar yang akan mengganggu tingkat kenyamanan pengendara. Hal ini juga menjadi pertimbangan pada saat pemilihan nilai pertambahan ketinggian

pada sadel sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar 4.1 di bawah ini menunjukkan bagian dari desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang diubah untuk mendapatkan konfigurasi desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang akan diujicobakan dengan menggunakan *software jack 6.0*.



Gambar 4. 1 Variabel Ubahan Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Tabel 4. 1. Keterangan Konfigurasi Desain Sepeda Lipat

Stang	Desain Aktual	+ 10 cm dari desain aktual	+ 20 cm dari desain aktual
Sadel			
Desain Aktual	Konfigurasi 1	Konfigurasi 2	Konfigurasi 3
+ 4 cm dari desain aktual	Konfigurasi 4	Konfigurasi 6	Konfigurasi 7
+ 8 cm dari desain aktual	Konfigurasi 5	Konfigurasi 8	Konfigurasi 9

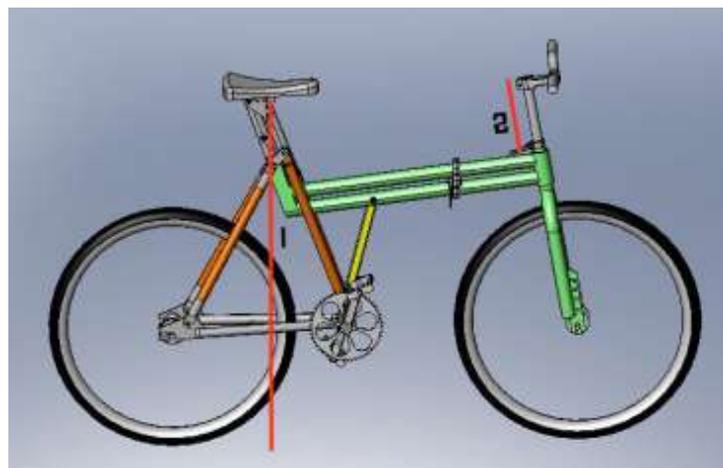
Kesembilan konfigurasi ini akan diujicobakan di dalam *virtual environment* dengan menggunakan *software jack 6.0*, juga akan diujicobakan pada lintasan mendatar dan lintasan menanjak pada jalur sepeda UI. Berdasarkan hasil observasi, pengendara sepeda yang melalui jalur sepeda UI menggunakan gigi roda 1 (yang paling ringan) pada saat menanjak, dan menggunakan gigi roda 4

pada saat melalui lintasan yang mendatar. Lintasan menanjak yang dipakai adalah lintasan yang memiliki persen kemiringan yang besar pada jalur sepeda UI, sehingga yang digunakan pada model *software jack 6.0* untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita adalah tanjakan Gerbang UI 2. Desain sepeda lipat yang didapatkan harus dapat memenuhi kebutuhan pada saat melalui lintasan sepeda UI. Oleh karena itu, model ini disimulasikan pada satu tanjakan yang memiliki persen kemiringan terbesar karena diasumsikan akan memenuhi kebutuhan untuk seluruh kondisi lintasan di jalur sepeda UI. Lintasan mendatar juga disimulasikan dengan perlakuan yang sama untuk mendapatkan perbandingan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Lintasan mendatar tidak dapat diabaikan karena sebagian besar jalur sepeda UI merupakan lintasan yang mendatar. Sehingga akan didapatkan 18 model simulasi dengan menggunakan *software jack 6.0* untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita.

4.2 Nilai PEI Desain Aktual Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

4.2.1 Model Aktual Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI memiliki ukuran stang dan sadel seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 di bawah ini.



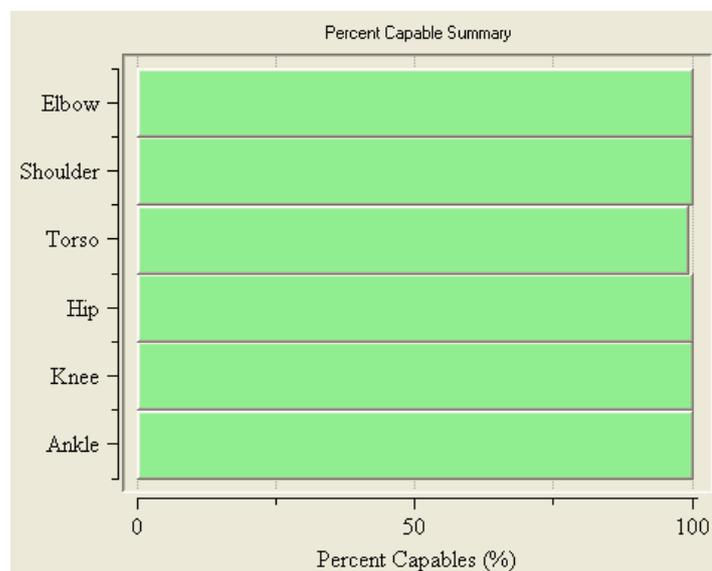
Gambar 4. 2 Konfigurasi 1

Keterangan gambar 4.2, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	830	Sadel diukur dari tanah
2	120	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.2.1.1 Lintasan Menanjak

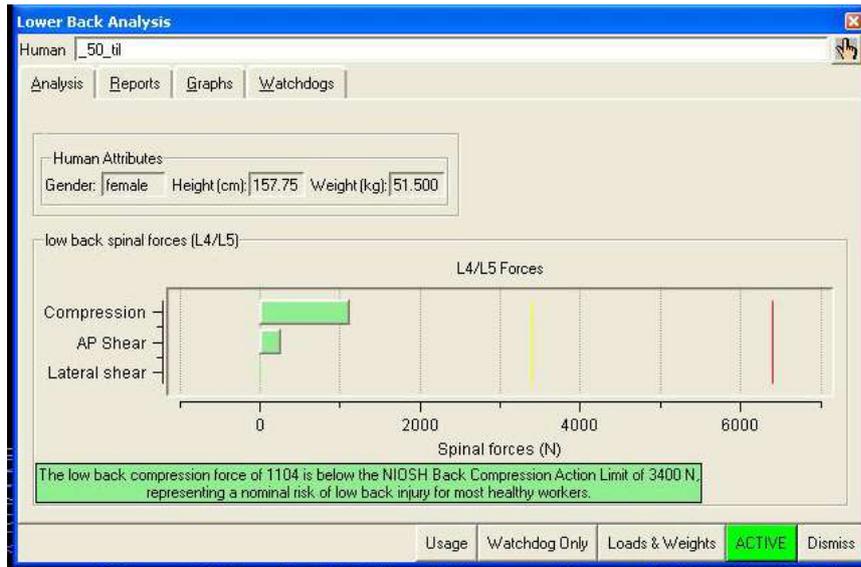
Pertama, desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI akan diuji persen kemampuan pengendaranya terhadap desain tersebut dengan menggunakan analisis SSP, dan didapatkan hasilnya, yaitu:



Gambar 4.3 Grafik SSP Konfigurasi 1 Pada Lintasan Menanjak

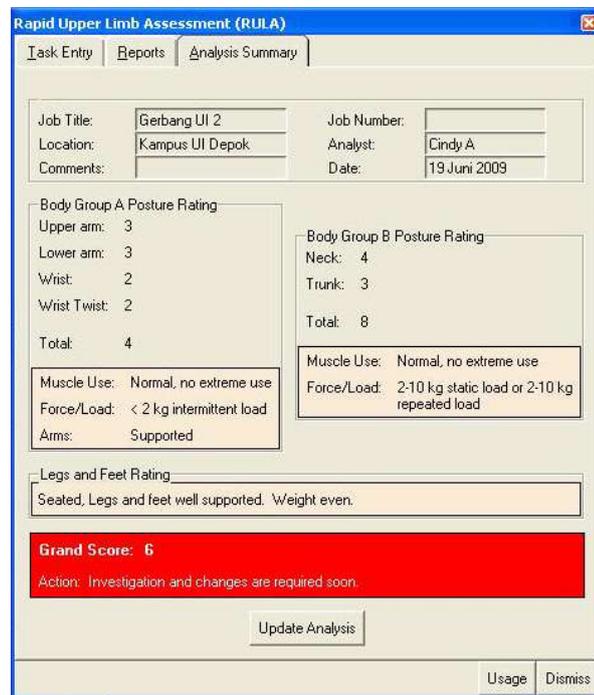
Dari grafik SSP pada gambar 4.3 terlihat bahwa analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS dapat dilakukan karena persen kapabilitas *virtual human* pada model ini memiliki nilai lebih besar dari 90% yang menandakan bahwa kegiatan simulasi pada *software jack 6.0* ini dapat dilakukan oleh pengendara wanita.

Nilai LBA yang didapatkan pada model ini adalah sebesar 1104 newton seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 di bawah ini.



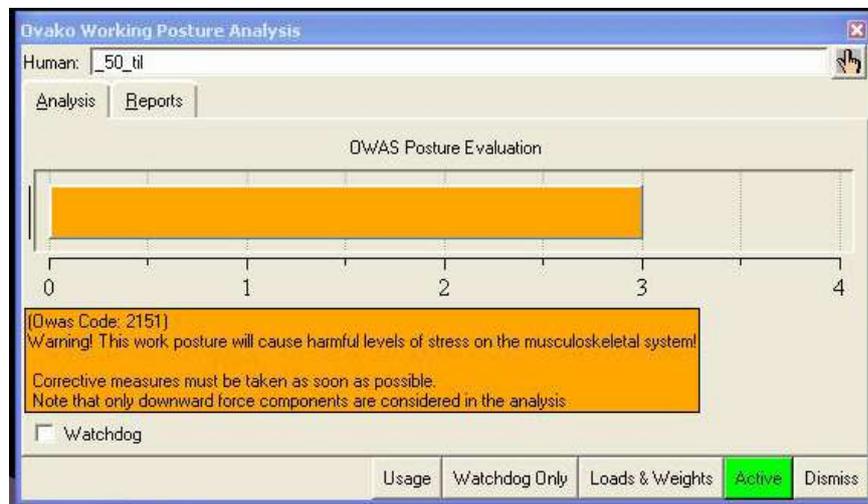
Gambar 4. 4 Nilai LBA Konfigurasi 1

Nilai selanjutnya yang perlu diketahui adalah nilai RULA, dan pada desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini didapatkan nilai RULA sebesar 6.



Gambar 4. 5 Nilai RULA Konfigurasi 1

Terakhir, nilai OWAS yang didapatkan pada model ini adalah sebesar 3, dan ini ditunjukkan seperti gambar 4.6 di bawah ini.



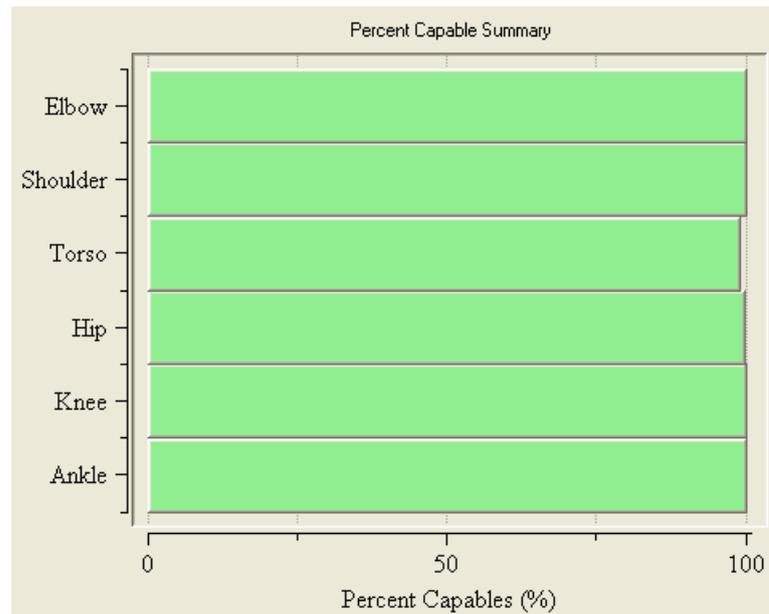
Gambar 4. 6 Nilai OWAS Konfigurasi 1

Nilai PEI untuk desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita adalah seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 1 untuk lintasan menanjak} &= 1104 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,3247 + 0,75 + 1,217 = 2,292 \end{aligned}$$

4.2.1.2 Lintasan Mendatar

Simulasi yang dilakukan pada lintasan mendatar diberikan perlakuan yang tidak berbeda dengan simulasi yang dilakukan pada lintasan menanjak. Dari model simulasi *virtual environment* yang menggunakan desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini, diuji persen kapabilitas postur pada rangkaian animasi model tersebut dengan menggunakan SSP, dan didapatkan grafik SSP yang ditunjukkan seperti gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4. 7 SSP Konfigurasi 1 Pada Lintasan Mendatar

Seperti yang terlihat pada model lintasan menanjak, model ini juga didapatkan nilai LBA sebesar 1141 newton, nilai RULA sebesar 6, dan nilai OWAS sebesar 3. Grafik untuk nilai LBA, RULA, dan OWAS diperlihatkan pada bagian lampiran. Setelah itu, nilai analisis tersebut dimasukkan sebagai input untuk perhitungan nilai PEI untuk desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita. Nilai PEI untuk model ini ditunjukkan di dalam perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 1 untuk lintasan mendatar} &= 1141 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,336 + 0,75 + 1,217 = 2,303 \end{aligned}$$

4.3 Nilai PEI Desain Usulan Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

4.3.1 Nilai PEI Konfigurasi 2

Konfigurasi kedua merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan stang sepeda sebesar 10 cm dari desain aktual sepeda Lipat Departemen Teknik

Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 2 ini ditunjukkan seperti gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4. 8 Konfigurasi 2

Keterangan gambar 4.8, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	830	Sadel diukur dari tanah
2	220	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.1.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 2 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 2. Nilai Analisis Konfigurasi 2 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
2	1098 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 2 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 2 untuk lintasan menanjak} &= 1098 \text{ N}/3400 \text{ N} + \frac{3}{4} + \frac{6}{7} * 1,42 \\ &= 0,323 + 0,75 + 1,217 = 2,29 \end{aligned}$$

4.3.1.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 2 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3. Nilai Analisis Konfigurasi 2 Pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
2	1110 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 2 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 2 untuk lintasan mendatar} &= 1110 \text{ N}/3400 \text{ N} + \frac{3}{4} + \frac{6}{7} * 1,42 \\ &= 0,326 + 0,75 + 1,217 = 2,293 \end{aligned}$$

4.3.2 Nilai PEI Konfigurasi 3

Konfigurasi ketiga merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan stang sepeda sebesar 20 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 3 ini ditunjukkan seperti gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4. 9 Konfigurasi 3

Keterangan gambar 4.9, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	830	Sadel diukur dari tanah
2	320	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.2.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 3 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4. 4. Nilai Analisis Konfigurasi 3 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
3	857 N	3	5

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 3 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 3 untuk lintasan menanjak} &= 857 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 5/7 * 1,42 \\ &= 0,252 + 0,75 + 1,014 = 2,016 \end{aligned}$$

4.3.2.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 3 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4. 5. Nilai Analisis Konfigurasi 3 Pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
3	890 N	3	5

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 3 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 3 untuk lintasan mendatar} &= 890 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 5/7 * 1,42 \\ &= 0,262 + 0,75 + 1,014 = 2,026 \end{aligned}$$

4.3.3 Nilai PEI Konfigurasi 4

Konfigurasi keempat merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan sadel sepeda sebesar 4 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 4 ini ditunjukkan seperti gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4. 10 Konfigurasi 4

Keterangan gambar 4.10, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	870	Sadel diukur dari tanah
2	120	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.3.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 4 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4. 6. Nilai Analisis Konfigurasi 4 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
4	1309 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 4 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 4 untuk lintasan menanjak} &= 1309 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,385 + 0,75 + 1,217 = 2,352 \end{aligned}$$

4.3.3.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 4 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4. 7. Nilai Analisis Konfigurasi 4 Pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
4	1316 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 4 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 4 untuk lintasan mendatar} &= 1316 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,387 + 0,75 + 1,217 = 2,354 \end{aligned}$$

4.3.4 Nilai PEI Konfigurasi 5

Konfigurasi kelima merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan sadel sepeda sebesar 8 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 5 ini ditunjukkan seperti gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4. 11 Konfigurasi 5

Keterangan gambar 4.11, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	910	Sadel diukur dari tanah
2	120	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.4.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 5 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4. 8. Nilai Analisis Konfigurasi 5 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
5	1335 N	3	7

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 5 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 5 untuk lintasan menanjak} &= 1335 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 7/7 * 1,42 \\ &= 0,393 + 0,75 + 1,42 = 2,563 \end{aligned}$$

4.3.4.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 5 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4. 9. Nilai Analisis Konfigurasi 5 Pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
5	1325 N	3	7

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 5 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 5 untuk lintasan mendatar} &= 1325 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 7/7 * 1,42 \\ &= 0,387 + 0,75 + 1,42 = 2,56 \end{aligned}$$

4.3.5 Nilai PEI Konfigurasi 6

Konfigurasi keenam merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan sadel sepeda sebesar 4 cm, dan stang sepeda sebesar 10 cm dari desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 6 ini ditunjukkan seperti gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4. 12 Konfigurasi 6

Keterangan gambar 4.12, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	870	Sadel diukur dari tanah
2	220	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.5.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 6 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4. 10. Nilai Analisis Konfigurasi 6 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
6	1111 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 6 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 6 untuk lintasan menanjak} &= 1111 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,327 + 0,75 + 1,217 = 2,294 \end{aligned}$$

4.3.5.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 6 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 4. 11. Nilai Analisis Konfigurasi 6 Pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
6	1104 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 6 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 6 untuk lintasan mendatar} &= 1104 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,325 + 0,75 + 1,217 = 2,292 \end{aligned}$$

4.3.6 Nilai PEI Konfigurasi 7

Konfigurasi ketujuh merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan sadel sepeda sebesar 8 cm, dan stang sepeda sebesar 10 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 7 ini ditunjukkan seperti gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4. 13 Konfigurasi 7

Keterangan gambar 4.13, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	910	Sadel diukur dari tanah
2	220	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.6.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 7 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.12 di bawah ini.

Tabel 4. 12. Nilai Analisis Konfigurasi 7 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
7	1182 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 7 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 7 untuk lintasan menanjak} &= 1182 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,348 + 0,75 + 1,217 = 2,315 \end{aligned}$$

4.3.6.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 7 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4. 13. Nilai Analisis Konfigurasi 7 Pada Lintasan Mendatar

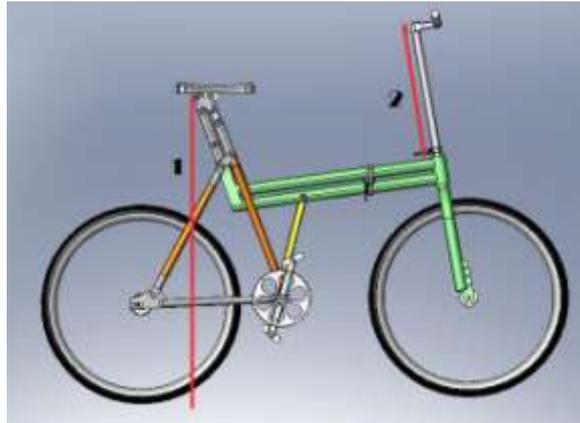
No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
7	1187 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 7 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 7 untuk lintasan mendatar} &= 1187 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,349 + 0,75 + 1,217 = 2,316 \end{aligned}$$

4.3.7 Nilai PEI Konfigurasi 8

Konfigurasi ketujuh merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan sadel sepeda sebesar 4 cm, dan stang sepeda sebesar 20 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 8 ini ditunjukkan seperti gambar 4.14 di bawah ini.



Gambar 4. 14 Konfigurasi 8

Keterangan gambar 4.14, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	870	Sadel diukur dari tanah
2	320	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.7.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 8 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.14 di bawah ini.

Tabel 4. 14. Nilai Analisis Konfigurasi 8 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
8	919 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 8 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 8 untuk lintasan menanjak} &= 919 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,27 + 0,75 + 1,217 = 2,237 \end{aligned}$$

4.3.7.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 8 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.15 di bawah ini.

Tabel 4. 15. Nilai Analisis Konfigurasi 8 Pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
8	908 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 8 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 8 untuk lintasan mendatar} &= 908 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,349 + 0,75 + 1,217 = 2,234 \end{aligned}$$

4.3.8 Nilai PEI Konfigurasi 9

Konfigurasi ketujuh merupakan kondisi dimana desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI mengalami perubahan dengan adanya penambahan sadel sepeda sebesar 8 cm, dan stang sepeda sebesar 20 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Gambar desain konfigurasi 9 ini ditunjukkan seperti gambar 4.15 di bawah ini.



Gambar 4. 15 Konfigurasi 9

Keterangan gambar 4.15, yaitu:

No.	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	910	Sadel diukur dari tanah
2	320	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.8.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model konfigurasi 9 memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.16 di bawah ini.

Tabel 4. 16. Nilai Analisis Konfigurasi 9 Pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
9	942 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 9 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 9 untuk lintasan menanjak} &= 942 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,277 + 0,75 + 1,217 = 2,244 \end{aligned}$$

4.3.8.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model konfigurasi 9 juga memiliki persen kapabilitas yang dikeluarkan oleh analisis SSP dengan nilai lebih dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.17 di bawah ini.

Tabel 4. 17. Nilai Analisis Konfigurasi 9 Pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	Nilai		
	LBA	OWAS	RULA
9	938 N	3	6

Dari beberapa nilai analisis yang dikeluarkan oleh *software jack 6.0*, dapat dibuat perhitungan nilai PEI untuk konfigurasi 9 ini, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI konfigurasi 9 untuk lintasan mendatar} &= 938 \text{ N}/3400 \text{ N} + 3/4 + 6/7 * 1,42 \\ &= 0,276 + 0,75 + 1,217 = 2,243 \end{aligned}$$

4.4 Analisis Hasil Nilai PEI (*Posture Evaluation Index*)

4.4.1 Analisis Nilai Static Strength Prediction (SSP)

Model aktual maupun model usulan desain sepeda yang telah mengalami perubahan yang telah diujicobakan menggunakan *software jack 6.0* memiliki persen kapabilitas dengan nilai di atas 90%. Ini berarti bahwa seluruh desain tersebut dapat digunakan oleh mahasiswi UI. Nilai SSP ini juga menunjukkan bahwa analisis dengan menggunakan LBA, RULA, dan OWAS dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai PEI tersebut. Untuk melihat nilai SSP secara lebih rinci, dapat dilihat di bagian lampiran 23 dan lampiran 24.

4.4.2 Analisis Nilai *Lower Back Analysis* (LBA)

Dari seluruh model konfigurasi desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan menggunakan *software jack 6.0*, didapatkan nilai LBA untuk pengendara wanita yang adalah mahasiswi UI dengan persentil 50 pada tabel 4.27 dan 4.18 di bawah ini.

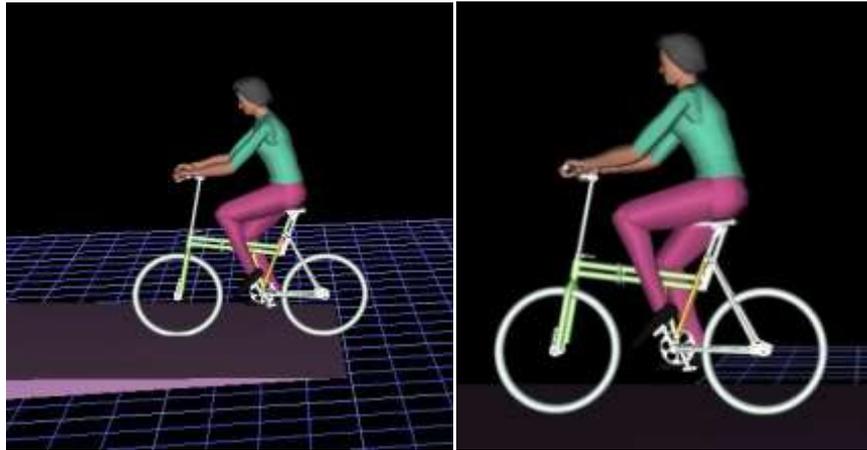
Tabel 4. 18. Nilai LBA Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita

Menanjak	No. Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai LBA (newton)	1104	1098	857	1309	1335	1111	1182	919	942
Mendatar	No. Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai LBA (newton)	1141	1110	890	1316	1325	1104	1187	908	938

Keterangan:

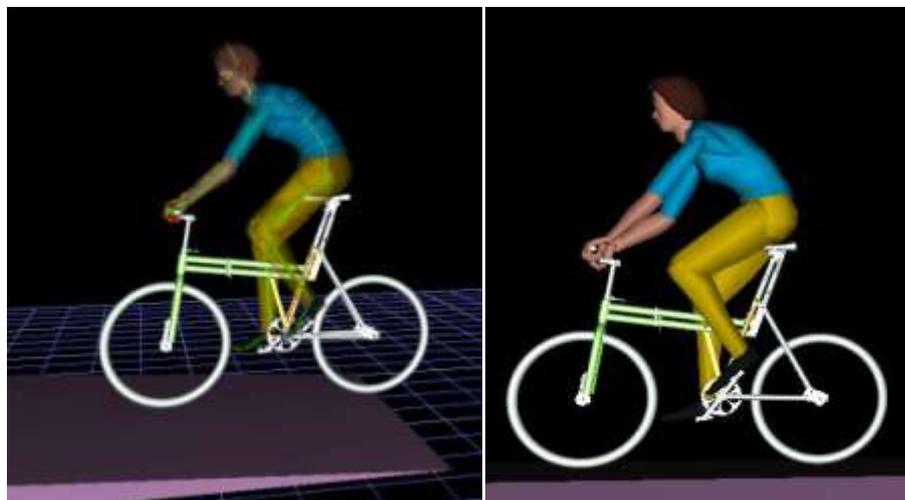
 Nilai LBA terendah

Berdasarkan nilai LBA yang didapatkan, maka desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk mahasiswi UI yang terbaik adalah pada desain sepeda lipat konfigurasi ketiga, dan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk mahasiswi UI yang terburuk adalah pada desain sepeda lipat konfigurasi kelima. Konfigurasi ketiga adalah desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada saat adanya penambahan panjang stang sebesar 20 cm tanpa adanya penambahan tinggi sadel. LBA menilai *virtual human* yang disimulasikan dengan menggunakan *software jack 6.0* melalui postur tulang belakang *virtual human* tersebut ketika menggunakan desain suatu benda. Untuk postur persentil 50 mahasiswi UI dalam menggunakan desain konfigurasi ketiga sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, ditunjukkan pada gambar 4. 16 di bawah ini.



Gambar 4. 16 Tampilan Postur *Virtual Human* Untuk Konfigurasi ketiga

Di lain pihak, konfigurasi kelima adalah desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada saat adanya penambahan tinggi sadel sebesar 8 cm tanpa adanya penambahan tinggi stang, dan postur persentil 50 mahasiswi UI dalam menggunakan desain konfigurasi kelima sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, ditunjukkan pada gambar 4.17 di bawah ini.



Gambar 4. 17 Tampilan Postur *Virtual Human* Untuk Konfigurasi Kelima

Dari kedua gambar postur *virtual human* untuk konfigurasi ketiga dan kelima, diperlihatkan bahwa postur konfigurasi ketiga memiliki postur terbaik karena

postur tersebut memberikan ketegangan terkecil pada tulang belakang, dan posisi bungkuk yang dialami oleh *virtual human* pada konfigurasi ketiga tidak seekstrim dibandingkan postur *virtual human* pada konfigurasi kelima.

Pada saat mesimulasikan seluruh model konfigurasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada lintasan menanjak, didapatkan kesimpulan bahwa nilai LBA akan semakin berkurang sesuai dengan pertambahan kemiringan lintasan yang dilalui oleh *virtual human* tersebut. Untuk lintasan mendatar, nilai LBA tidak mengalami perubahan. Hal ini yang mendasari bahwa nilai LBA pada lintasan menanjak secara umum akan lebih kecil dibandingkan nilai LBA pada lintasan mendatar, dan juga hal ini dilihat dari kemiringan tulang belakang pada postur *virtual human*. Dengan adanya beban di punggung yang diasumsikan sebagai beban bawaan (tas) yang dibawa oleh *virtual human* tersebut, maka nilai LBA terhadap postur bersepeda dengan menggunakan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini akan semakin besar.

4.4.3 Analisis Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, nilai RULA hanya akan menilai bagian tubuh *virtual human* yaitu lengan, pergelangan tangan, leher, dan batang tubuh atas secara keseluruhan. Untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan menggunakan *software jack 6.0*, maka didapatkan nilai RULA seperti tabel 4.29 di bawah ini. Nilai RULA untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar tidak mengalami perubahan.

Tabel 4. 19. Nilai RULA Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita dengan Metode PEI

No. Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Indeks RULA	6	6	5	6	7	6	6	6	6

Keterangan:

 Nilai RULA terendah

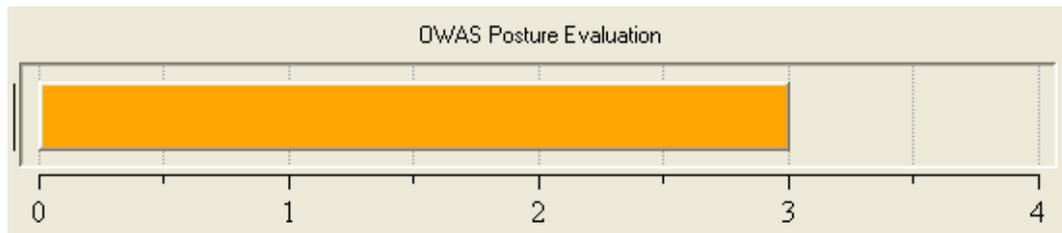
Terlihat pada hasil RULA, desain terbaik sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI adalah desain pada konfigurasi 3 dengan indeks RULA sebesar 5, dan desain terburuk sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI adalah desain konfigurasi 5 dengan indeks RULA sebesar 7. Untuk desain konfigurasi 5, nilai indeks RULA mencapai 7 yang merupakan nilai RULA terbesar sehingga postur *virtual human* harus segera diubah. Merubah postur *virtual human* ini dilakukan dengan cara merubah desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk mendapatkan postur yang lebih baik. Postur *virtual human* persentil 50 mahasiswi UI untuk konfigurasi tiga dapat dilihat pada gambar 4.16, dan postur postur *virtual human* persentil 50 mahasiswi UI untuk konfigurasi lima dapat dilihat pada gambar 4.17.

Postur *virtual human* persentil 50 mahasiswi UI untuk konfigurasi lima memperlihatkan kemiringan batang tubuh ke depan yang lebih kecil dibandingkan dengan postur *virtual human* persentil 50 mahasiswi UI untuk konfigurasi tiga. Hal ini akan menyebabkan leher akan cepat lelah karena posisi kepala harus terus melihat ke depan sedangkan posisi batang tubuh harus condong ke depan untuk menyesuaikan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada konfigurasi lima. Desain untuk konfigurasi ini juga membuat jangkauan lengan dan tangan menjadi lebih jauh. Hal-hal ini yang menjadi alasan kenapa desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI pada konfigurasi 5 sangat buruk.

Berdasarkan nilai RULA, desain terbaik untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan metode PEI (*Posture Index Evaluation*) adalah desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk konfigurasi ketiga.

4.4.4 Analisis Ovako Working Posture Analysis (OWAS)

Untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita dengan metode PEI (*Posture Index Evaluation*) ini, keseluruhan model desain sepeda lipat memiliki nilai OWAS yang sama yaitu 3.



Gambar 4. 18 Nilai OWAS Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita

Alasan yang mendasari postur bersepeda dengan menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI oleh persentil 50 mahasiswi UI pada lintasan sepeda UI, adalah sebagai berikut:

- a. Nilai OWAS ini lebih cocok digunakan untuk mengevaluasi postur pada gerakan yang repetitif dan bukan gerakan konstan. Postur bersepeda memiliki postur yang sama dari awal sampai akhir gerakan, sehingga nilai OWAS untuk bersepeda ini cukup besar.
- b. Karena postur bersepeda itu hanya satu, dan tidak ada variasi sehingga postur untuk seluruh konfigurasi penelitian ini akan bernilai sama. Sehingga kode OWAS yang dimiliki untuk seluruh model konfigurasi penelitian ini akan sama yaitu 2151. Angka 2 menunjukkan bentuk tulang belakang yang bungkuk, angka 1 menunjukkan bentuk lengan yang berada di bawah bahu, angka 5 menunjukkan bentuk kaki dengan satu lutut menekuk, dan angka terakhir 1 menunjukkan beban yang diterima oleh tubuh yaitu kurang dari 10 kg. sehingga, secara umum postur bersepeda untuk penelitian ini tidak berbeda jauh antara tiap konfigurasi yang disimulasikan.

Pada *software jack 6.0*, nilai OWAS sebesar 3 memiliki arti bahwa postur kerja ini berada pada level berbahaya untuk ketegangan pada sistem otot. Karena OWAS menilai postur kerja, maka postur ini berbahaya jika dilakukan dalam waktu yang lama.

4.4.5 Analisis Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita

Penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita setelah disimulasikan dengan menggunakan *software jack 6.0* memiliki nilai PEI yang ditunjukkan pada tabel 4.20 di bawah ini.

Tabel 4. 20 Nilai PEI Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita

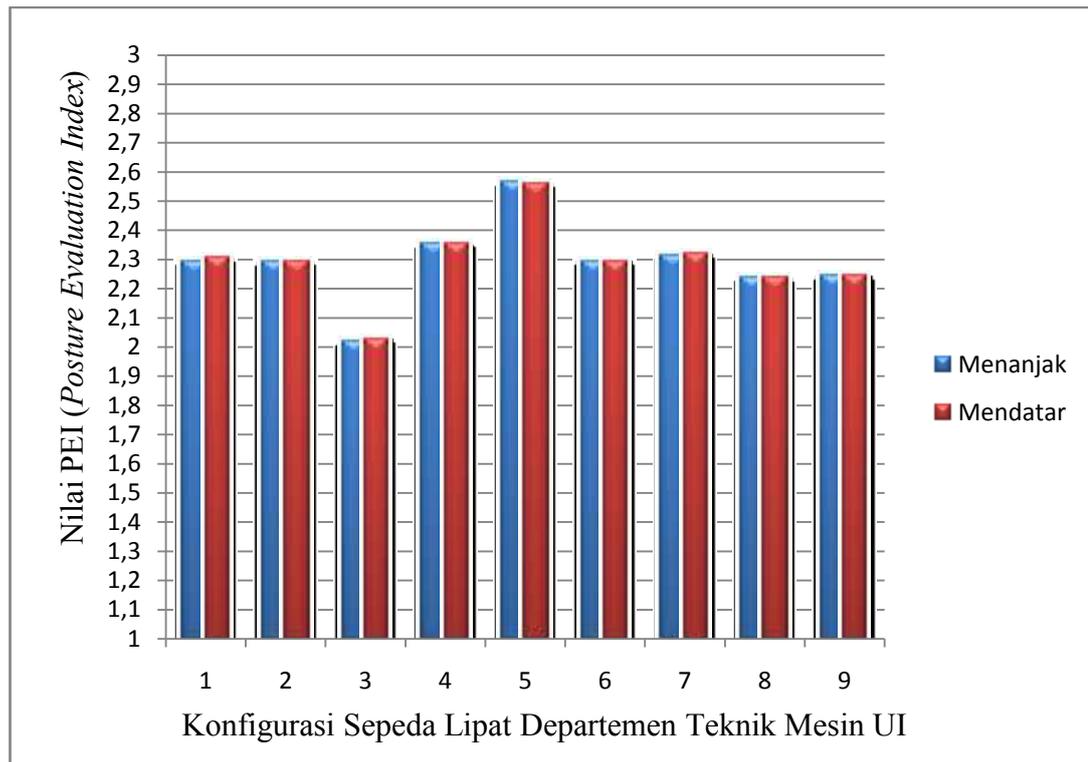
Menanjak	Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai PEI	2,292	2,29	2,016	2,352	2,563	2,294	2,315	2,237	2,244
Mendatar	Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai PEI	2,303	2,293	2,026	2,354	2,56	2,292	2,316	2,234	2,243

Keterangan:

 Nilai PEI terendah

 Nilai PEI terbesar

Tabel 4.20 memperlihatkan bahwa desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk persentil 50 mahasiswi UI yang terbaik adalah pada konfigurasi ketiga, dan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk persentil 50 mahasiswi UI yang terburuk adalah pada konfigurasi kelima. Nilai PEI untuk lintasan mendatar memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai PEI untuk lintasan menanjak dikarenakan oleh gigi sepeda yang dipakai berbeda, yaitu gigi pertama untuk lintasan menanjak, dan gigi keempat untuk lintasan mendatar. Hal ini akan menyebabkan gaya pedal yang dihasilkan akan berbeda, dimana gaya pedal sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dipengaruhi oleh diameter gir roda pada sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, dan diameter gir roda kesatu lebih besar dibandingkan diameter gir roda keempat.



Gambar 4. 19 Grafik Nilai PEI Penelitian Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Terhadap Pengendara Wanita

Dari hasil perhitungan nilai PEI, diperlihatkan bahwa sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang aktual memiliki kondisi stang yang terlalu rendah jika dibandingkan dengan ketinggian sadel yang ada bagi pengendara wanita. Nilai PEI untuk seluruh konfigurasi penelitian ini menunjukkan bahwa nilai PEI akan semakin berkurang apabila ketinggian stang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dibuat menjadi lebih tinggi. Hal ini terlihat pada konfigurasi aktual 1 yang diubah menjadi konfigurasi 2 dan 3, terlihat juga ketika konfigurasi 6 yang memiliki ketinggian sadel sebesar 4 cm dan stang sebesar 10 cm dari desain aktual diubah ketinggian stang sepeda ini menjadi konfigurasi 8 dengan menambah ketinggian stang sebesar 20 cm dari desain aktual, dan juga pada saat konfigurasi 7 yang memiliki pertambahan ketinggian sadel sebesar 8 cm dan stang sebesar 10 cm dari desain aktual diubah menjadi konfigurasi 9 dengan menambah ketinggian stang sebesar 20 cm dari desain aktual. Ketika tinggi sadel ditambah,

nilai PEI menjadi semakin bertambah. Hal ini terlihat pada konfigurasi aktual (1) yang diubah menjadi konfigurasi 4 dan 5, terlihat juga ketika konfigurasi 6 yang memiliki ketinggian sadel sebesar 4 cm dan stang sebesar 10 cm dari desain aktual diubah ketinggian sadel sepeda ini menjadi konfigurasi 7 dengan menambah ketinggian sadel sebesar 8 cm dari desain aktual, dan juga pada saat konfigurasi 8 yang memiliki penambahan ketinggian sadel sebesar 4 cm dan stang sebesar 20 cm dari desain aktual diubah menjadi konfigurasi 9 dengan menambah ketinggian sadel sebesar 8 cm dari desain aktual. Maksimum penambahan stang sebesar 20 cm didapatkan dari observasi dan terbukti memiliki postur terbaik bagi pengendaranya. Jika nilai maksimum penambahan stang ditambahkan kembali, maka postur pengendara akan tidak baik juga karena akan merubah postur untuk bagian lengan dan menambah jangkauan tangan (posisi lengan akan berada di atas bahu dan posisi ini akan menambah nilai LBA, OWAS dan RULA).

Postur *human virtual* pada tiap konfigurasi untuk penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita ditunjukkan pada bagian lampiran 25, dan terlihat bahwa konfigurasi 3 adalah desain terbaik sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk mahasiswi UI.

4.4.6 Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Antara Pengendara Wanita dan Pengendara Pria

Seperti halnya penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara wanita yang memakai subyek pengendara adalah persentil 50 mahasiswi UI, maka penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap pengendara pria mengambil subyek penelitian adalah mahasiswa UI. Pada tabel 4.21 dan tabel 4.22 di bawah ini ditunjukkan perbandingan nilai PEI pengendara wanita dan pria pada penelitian sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI.

Tabel 4. 21. Nilai PEI Pengendara Wanita

Menanjak	No. Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai PEI	2,292	2,29	2,016	2,352	2,563	2,294	2,315	2,237	2,244
Mendatar	No. Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai PEI	2,303	2,293	2,026	2,354	2,56	2,292	2,316	2,234	2,243

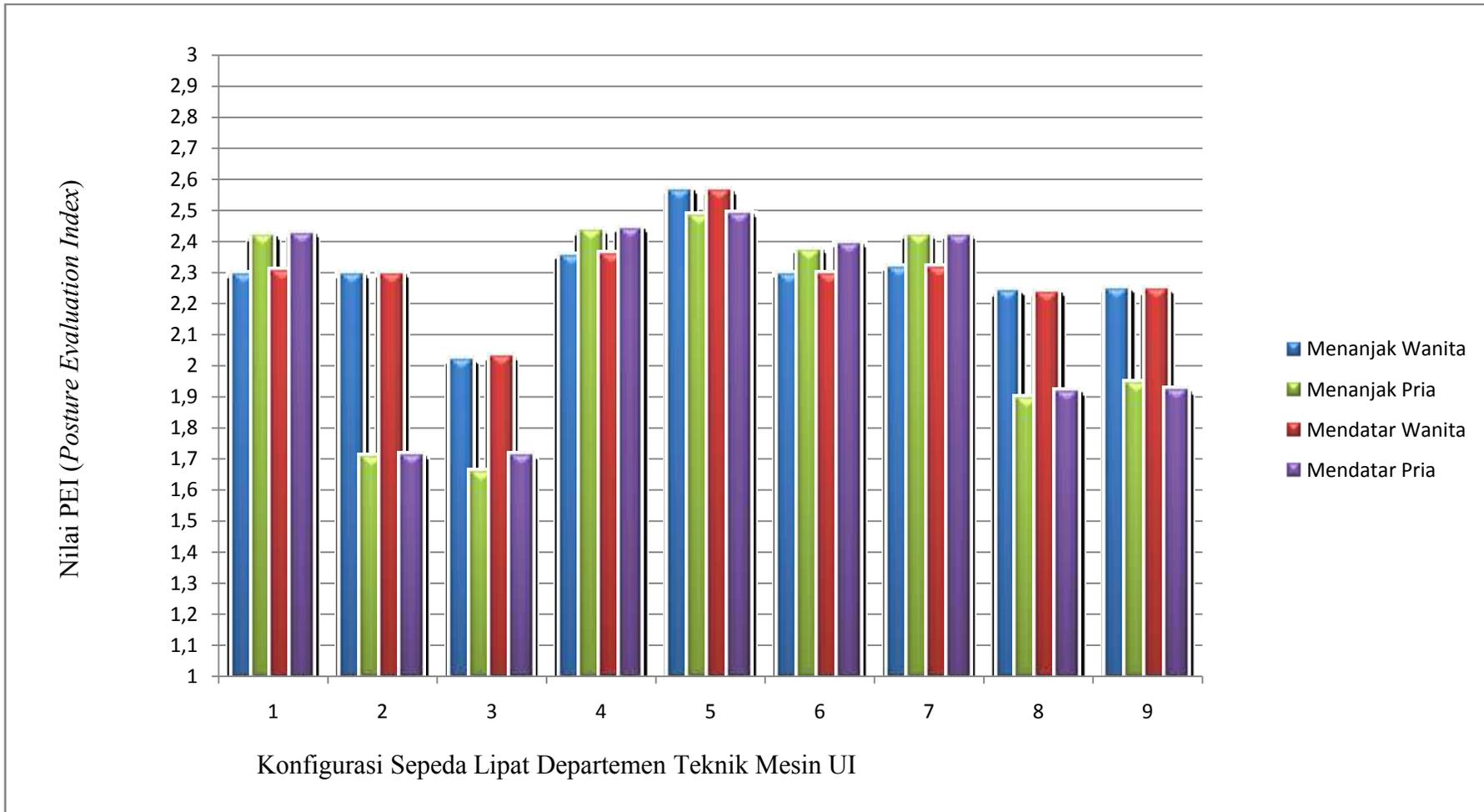
Tabel 4. 22. Nilai PEI Pengendara Pria

Menanjak	No. Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai PEI	2,414	1,703	1,655	2,433	2,482	2,37	2,417	1,892	1,941
Mendatar	No. Konfigurasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nilai PEI	2,424	1,709	1,707	2,439	2,488	2,391	2,417	1,912	1,917

Keterangan:

 Nilai PEI terendah

 Nilai PEI terbesar



Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pengendara Pria dan Wanita

Antropometri yang digunakan untuk persentil 50 mahasiswa UI yang menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terlihat pada bagian lampiran 1.

Dari grafik perbandingan nilai PEI pengendara wanita dan pengendara pria sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, diperlihatkan kondisi yang sama antara sadel dan stang sepeda terhadap pengendara wanita maupun pria. Kondisi ini menunjukkan bahwa sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang aktual memiliki kondisi stang yang terlalu rendah jika dibandingkan dengan ketinggian sadel yang ada untuk pengendara pria.

Nilai PEI yang didapatkan untuk pengendara pria lebih besar dibandingkan dengan nilai PEI untuk pengendara wanita pada penelitian ini. Terjadinya perbedaan ini disebabkan oleh beberapa alasan, yaitu:

1. Postur tubuh pria berbeda dengan postur wanita. Tinggi badan persentil 50 mahasiswa UI lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi badan persentil 50 mahasiswi UI. Hal ini menyebabkan jangkauan untuk pengendara pria lebih besar daripada jangkauan untuk pengendara wanita. Oleh karena itu pula, desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI akan lebih cocok untuk pengendara wanita.
2. Porsi kapabilitas pria lebih besar daripada porsi kapabilitas wanita. Hal ini akan menyebabkan pria lebih mudah mengerjakan tugas yang sama dengan tugas yang diberikan kepada wanita.

Oleh karena itu, mahasiswa UI akan lebih mudah menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dibandingkan dengan mahasiswi UI.

Berdasarkan nilai PEI yang didapatkan, terlihat persamaan untuk konfigurasi desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terbaik dan terburuk bagi mahasiswa maupun mahasiswi UI. Sehingga, desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terbaik untuk mahasiswa atau mahasiswi UI adalah desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI konfigurasi 3 yaitu dengan adanya

penambahan tinggi stang sebesar 20 cm dari desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang aktual.

4.4.7 Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Dengan Sepeda UI Terhadap Pengendara Wanita

Dengan perlakuan yang sama pada simulasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan menggunakan *software jack 6.0*, dibuatlah simulasi sepeda UI terhadap pengendara wanita. Tabel 4.23 di bawah ini ditunjukkan perbandingan nilai PEI sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan sepeda UI terhadap mahasiswi UI pada jalur sepeda UI.

Tabel 4. 23. Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI Dengan Sepeda UI Terhadap Pengendara Wanita

Konfigurasi	Nilai PEI Pengendara Wanita				
	Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI		Sepeda UI		
	Menanjak	Mendatar	Menanjak	Mendatar	Keterangan Konfigurasi
1	2,292	2,303	1,993	2,003	Aktual
2	2,29	2,293	2,253	2,264	Sadel +5 cm dari desain aktual
3	2,016	2,026	2,457	2,466	Sadel +10 cm dari desain aktual
4	2,352	2,354	1,761	1,774	Stang +5 cm dari desain aktual
5	2,563	2,56	1,772	1,783	Stang +5 cm dan sadel +5 cm dari desain aktual
6	2,294	2,292	2,227	2,237	Stang +5 cm dan sadel +10 cm dari desain aktual
7	2,315	2,316	1,738	1,751	Stang +10 cm dari desain aktual
8	2,237	2,234	2,007	2,025	Stang +10 cm dan sadel +5 cm dari desain aktual
9	2,244	2,243	2,202	2,22	Stang +10 cm dan sadel +10 cm dari desain aktual

Keterangan:

 Nilai PEI terendah

 Nilai PEI terbesar



Gambar 4. 21 Sepeda UI

Dari tabel 4.23, didapatkan keterangan bahwa secara keseluruhan nilai PEI sepeda UI lebih kecil daripada nilai PEI sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap mahasiswa UI. Hal ini berarti bahwa desain sepeda UI lebih baik daripada sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI jika digunakan oleh mahasiswa UI dari sisi faktor manusia terhadap desain suatu benda.

Nilai PEI sepeda UI terhadap mahasiswa UI lebih kecil daripada nilai PEI sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI terhadap mahasiswa UI, disebabkan oleh beberapa alasan seperti:

1. Jarak sadel ke stang pada sepeda UI sebesar 50 cm bernilai lebih kecil daripada jarak sadel ke stang pada sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI sebesar 60 cm. Hal ini menyebabkan jangkauan tangan mahasiswa UI semakin besar untuk menggapai stang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI, dan hal ini yang menyebabkan nilai RULA semakin besar.

2. Diameter gir depan sepeda dan diameter gir belakang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang lebih besar membuat gaya pedal sepeda semakin besar, dan ini akan mempengaruhi nilai PEI.
3. Panjang tuas pedal sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang lebih kecil juga membuat gaya pedal sepeda semakin besar, dan ini juga akan mempengaruhi nilai PEI.
4. Berat sepeda juga akan mempengaruhi gaya normal yang akan mempengaruhi gaya pedal sepeda, dan akhirnya akan mempengaruhi nilai PEI.
5. Posisi sadel dan stang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI aktual yang sejajar tidak baik untuk postur bersepeda. Sehingga stang sepeda harus lebih tinggi dibandingkan dengan sadel sepeda. Tidak seperti pada sepeda UI, desain aktual sepeda UI memiliki ketinggian antara sadel dan stang sepeda yang tidak sejajar.
6. Jarak antara sadel ke pedal pada sepeda UI lebih kecil dari pada jarak antara sadel ke pedal pada sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI. Hal ini akan mempengaruhi jangkauan kaki dan akan mempengaruhi postur yang akan memperbesar nilai PEI.

Sehingga, dilihat dari nilai PEI yang didapatkan, sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI belum dapat menggantikan sepeda UI pada jalur sepeda UI untuk mahasiswi UI. Nilai PEI terbaik desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI masih lebih besar dibandingkan nilai PEI untuk desain aktual sepeda UI.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab kelima ini akan berisi kesimpulan dan saran. Sub-bab kesimpulan akan menjelaskan tentang ringkasan hasil dari analisis penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) terhadap pengendara wanita dengan metode nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), dan sub-bab saran akan menjelaskan tentang pendapat atau masukan untuk penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) terhadap pengendara wanita dengan metode nilai PEI (*Posture Evaluation Index*).

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) terhadap pengendara wanita dengan metode nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI yang terbaik bagi mahasiswi UI adalah desain sepeda lipat ketika diberikan perlakuan dengan penambahan ketinggian stang sebesar 20 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI karena memiliki nilai PEI terendah sebesar 2,016 pada lintasan menanjak dan 2,026 pada lintasan mendatar.
2. Perbandingan nilai PEI sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI antara pengendara wanita dan pria menunjukkan nilai PEI terendah terdapat pada konfigurasi 3 yaitu desain sepeda lipat ketika diberikan perlakuan dengan penambahan ketinggian stang sebesar 20 cm dari desain aktual sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI.
3. Desain sepeda lipat terbaik Departemen Teknik Mesin UI pada penelitian ini belum dapat menggantikan sepeda UI bagi mahasiswi UI yang menggunakan jalur sepeda UI karena nilai PEI desain sepeda lipat terbaik Departemen Teknik Mesin UI pada penelitian ini masih memiliki nilai yang lebih kecil daripada desain aktual sepeda UI yang telah ada di jalur sepeda UI.
4. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi postur manusia *virtual* persentil 50 mahasiswi UI dalam menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin

UI dan juga mempengaruhi nilai PEI, yaitu jarak sadel ke stang, diameter gir depan dan belakang sepeda, panjang tuas pedal, berat sepeda, kesejajaran posisi sadel dan stang sepeda, dan jarak antara sadel ke pedal sepeda.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI) terhadap pengendara wanita dengan metode nilai PEI (*Posture Evaluation Index*) ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah ketinggian stang dan menurunkan sadel sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI sampai manusia *virtual* persentil 50 mahasiswi UI mendapatkan nilai PEI terkecil. Sehingga postur pengendara sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI ini akan menjadi lebih baik.
2. Memperkecil jarak antara sadel dan stang sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI untuk memperkecil jarak jangkauan tangan mahasiswi UI dalam menjangkau stang sepeda UI, dan hal ini akan memperbaiki postur manusia *virtual* yang akan memperkecil nilai RULA.
3. Diameter gir depan dan belakang sepeda serta panjang tuas pedal sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI diperbesar untuk memperkecil gaya pedal sepeda. Berat sepeda juga mempengaruhi gaya pedal sepeda, sehingga semakin kecil berat sepeda maka semakin ringan mahasiswi UI dalam menggunakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI.

DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to ergonomics*. London: Taylor & Francis Group.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., & Marzano, A. (2006, June). *Ergonomics optimization of work cell of manufacturing systems in virtual environment*. Paper presented at 5th International Conference on Advanced Engineering Design, Prague.
- Di Gironimo, G., Monacellia, G., & Patalano, S. (2004, May). *A design methodology for maintainability of automotive components in virtual environment*. Paper presented at International Design Conference, Dubrovnik.
- Esyandi, Dodi. (2008, August 4). Sepeda akan jadi kendaraan wajib di UI. *Bisnis Indonesia*.
- Guitink, P., Holste, S., & Lebo, J. (1994). *Non-motorized transport: confronting poverty through affordable mobility*.
<http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/publicat/td-ut4.htm>
- Helander, Martin. (2006). *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). London: Taylor & Francis e-Library.
- Jalur sepeda di UI, “Green Campus” melawan pemanasan global. (2008). *Seputar Indonesia*.
http://www.ui.edu/download/kliping/120308/jalur_sepeda_di_ui_green_campus_melawan_pemanasan_global.pdf
- Joyodiharjo, B.J. (2007). *Desain sepeda alternatif untuk komunitas pekerja kantor yang bersepeda*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Kalawsky, R (1993). *The science of virtual reality and virtual environments*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Kocabiyik, Elif. (2004). *Engineering concepts in industrial product design with a case study of bicycle design*. January, 2004. İzmir Institute of Technology, Department of Industrial Design.
- Kring-kring, ada jalur sepeda di UI. (2008). *Media Indonesia*.
<http://www.mediaindonesia.com/>

- Kumar, Rupesh. (2006). *Ergonomic evaluation and design of tools in cleaning occupation*. June, 2006. Luleå University of Technology, Department of Human Work Sciences.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual environmentsin machinery safety analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Marras, William S., & Karwowski, Waldemar. (2006). *Fundamental and assessment tools for occupational ergonomics*. London: Taylor & Francis Group
- Perangi pemanasan global dengan bersepeda. (2008). *Monitor Depok*.
http://www.ui.edu/download/kliping/111108/Perangi_Pemanasan_dengan_Bersepeda.pdf
- 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.
- UGS Tecnomatix (2005). *Jack human modeling and simulation*.
<http://www.ugs.com/>
- Wilson, J.R. (1997). Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. *Applied Ergonomics*, hal.1057-1077.

Lampiran 1: Hasil Data Antropometri

No.	Nama	Dimensi												
		Berat Badan	Tinggi Badan	<i>Arm Length</i>	<i>Elbow fingertip</i>	<i>shoulder elbow</i>	<i>hand breadth</i>	<i>hand length</i>	<i>buttock-knee</i>	<i>hip breadth</i>	<i>foot breadth</i>	<i>foot length</i>	<i>Ankle Hgt</i>	<i>sit knee</i>
1	Cindy	49,5	157	73	41,5	35	9	18	53	36	10	22	6	49
2	Liza	61	163	74	45	36	9,5	18	59,5	36	10	24	7	52
3	Hana (08)	46	157,5	76	43	35	9	17	58	36	9	22	7	50
4	Kurnia	44,5	159	69,5	43	31	9	17,5	53,5	36	10	24	6	50,4
5	Nangke	54,5	164	73	43,5	34,5	10	17	58	36	9,5	25	6,5	52
6	Muthe	52	159	70	42	34	9,5	17,5	54	38	10	23	6	50,4
7	Achie	48	155,5	71	41,5	35	9	17	55	36	9,5	23	7,5	49,5
8	Pipop	44	150	65	39	31	9,5	16,5	51,5	31,5	9	21,6	5	43
9	Nurulita	52	158,5	71	44	33	9,5	16,5	52	32,5	9	23	7	48
10	Renta	55	158,5	70	43,5	32	9	17	53	36,5	9	23	7	47
11	Sarah Damai	55	158	69,5	42	32	9,5	17,5	53	34	9,5	23	7	48
12	IG Ayu kusuma	43	166	75	44,5	33	9,5	18	54	31	10	25	6,5	51
13	Novi	49	157	69,5	40	32	8,5	16,5	52	35	9	23	8	48,5
14	Hana Khairunnisa	42	153	69,5	41,5	31,5	9	17	52,5	31,7	9	23	6,5	48
15	Sarah	42	150	69	41,5	31	9,5	17	51	32	9,5	23	6,5	45
16	Maya	55	156,7	73,5	44	32	8,5	17	53	35,7	10	23,5	7,5	49
17	Chyntia	61	154	72,5	44	31	9	18	54,5	35,5	10,5	26	7	50
18	Lucy	56	165	71,5	44,5	32	9,5	18	56	33	8,5	24	7	53
19	Rizky PI	52	164	74	43	33	9	16,8	60	31	9,5	23,5	6	47

Lampiran 1: Hasil Data Antropometri (Lanjutan)

No.	Nama	Dimensi												
		Berat Badan	Tinggi Badan	<i>Arm Length</i>	<i>Elbow fingertip</i>	<i>shoulder elbow</i>	<i>hand breadth</i>	<i>hand length</i>	<i>buttock-knee</i>	<i>hip breadth</i>	<i>foot breadth</i>	<i>foot length</i>	<i>Ankle Hgt</i>	<i>sit knee</i>
20	Dwinta	52	163,5	68	43	31	9	18,8	60,5	37	8,5	23,5	5,5	48
21	Najwa	49,5	155	68	41	32	9	16	54	35	8,5	23	6	44
22	Emma	37	142	64	38	30	8,5	15,5	49,5	30	8,5	21	6	45
23	Amalia OP	48	161	71	43	31	8,5	17,5	58	32,5	8,5	23	6	48,5
24	Elice	45	151	67	41	30	9	15,5	53	30,5	8	20,5	7	45
25	Carissa	70	158,5	74	46	32	10	18,2	56	35	8,8	24	6	45
26	Asha	42	153	67	40	31	8,5	16	52,5	31	8,3	22,8	5	46
27	Nuning	80	164,5	71	46	34	9,5	18	60	40	9	24,5	7	48
28	Sekar Melati	56	157	72,5	43,5	33	10	18,5	56	36	9,5	23,5	6,5	46
29	Christie	51	162,5	73	43	32,5	9	17	56	35	10,5	24,5	7,5	50
30	Dinar	55	156	70	43	32	10	16,5	54	35	9	22	7	49,5

Keterangan: Ukuran dalam cm, kecuali ukuran berat badan dalam kg.

Lampiran 2: Data Persen Kemiringan Beberapa Tanjakan Pada Lintasan Sepeda UI

No	Tempat Alat	Titik Bidik	Pembacaan (cm)			Sudut								Jarak (m)		ΔH (cm)	H (cm)	Tinggi Alat (m)	Persen Kemiringan
			BA	BT	BB	Horizontal				Vertikal				Miring	Datar				
						°	'	"	α	°	'	"	β						
1	1A	1B	183	153	123	0	0	0	0,00	91	28	25	91,47	60	59,980	-183	-183	1,245	3,05
2	2A	2B	173	143,5	109	0	0	0	0,00	94	28	40	94,48	64	63,805	-500	-500	1,435	7,83
3	3A	2C	161	125	89	0	0	0	0,00	88	23	15	88,39	72	71,971	203	203	1,25	2,82
4	4A	4B	133	119	105	0	0	0	0,00	84	59	55	85,00	28	27,893	249	249	1,24	8,93
5	5B	5A	153	128	103	0	0	0	0,00	91	10	15	91,17	50	49,990	-102	-102	1,28	2,04
		5C	174	128	82	180	0	0	180,00	88	49	10	88,82	92	91,980	190	190	1,28	2,06
6	6A	6B	154	122	90	0	0	0	0,00	85	55	25	85,92	64	63,838	455	455	1,22	7,13
7	7B	7A	149	134,5	120	0	0	0	0,00	83	26	15	83,44	29	28,810	331	331	1,345	11,50
		7C	148,5	134,5	120	180	0	0	180,00	93	28	5	93,47	28,5	28,448	-172	-172	1,345	6,06
8	8B	8A	150	131	112	0	0	0	0,00	84	46	30	84,78	38	37,842	346	346	1,31	9,14
		8C	139,5	131	122,5	180	0	0	180,00	95	18	50	95,31	17	16,927	-157	-157	1,31	9,30
9	9B	9A	152,5	138	123,5	0	0	0	0,00	87	49	35	87,83	29	28,979	110	110	1,38	3,80
		9C	152	138	125	180	0	0	180,00	92	17	40	92,29	27	26,978	-108	-108	1,38	4,01

(Sumber: Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia)

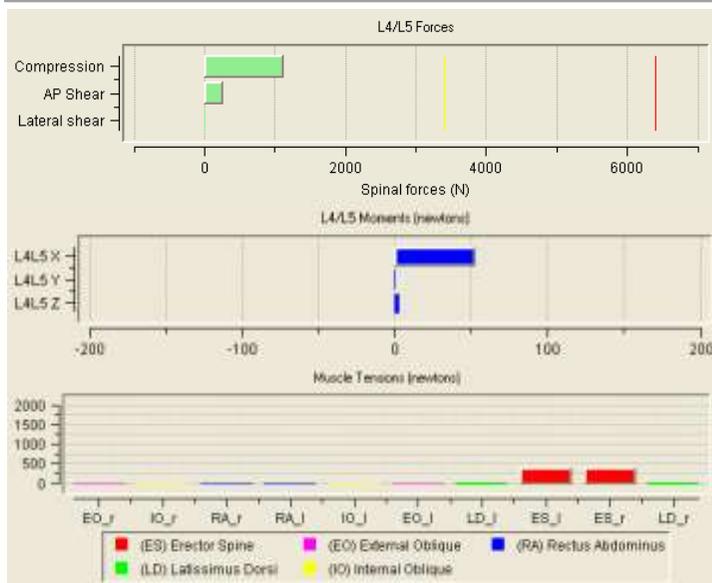
Keterangan:

- | | | | | |
|---------------|-------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| 1. Pusgiwa | 3. Balairung (Parkiran) | 5. Fakultas Ekonomi | 7. Gerbang UI 2 | 9. Mang Engking |
| 2. Menara Air | 4. Balairung (Danau) | 6. Gerbang UI 1 | 8. Halte UI | |

Lampiran 3: Nilai *Low Back Analysis* Konfigurasi 1 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

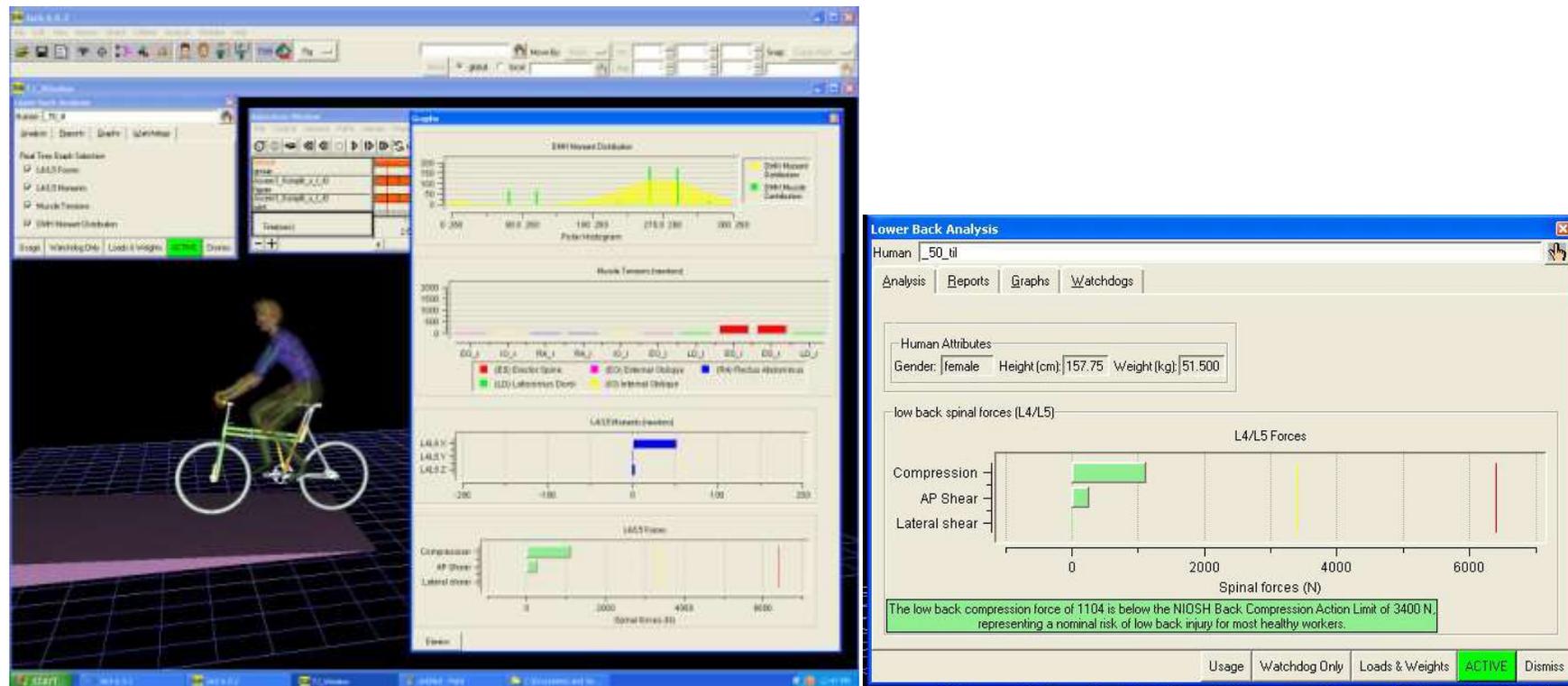
Gerbang UI 2
Cindy A
Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



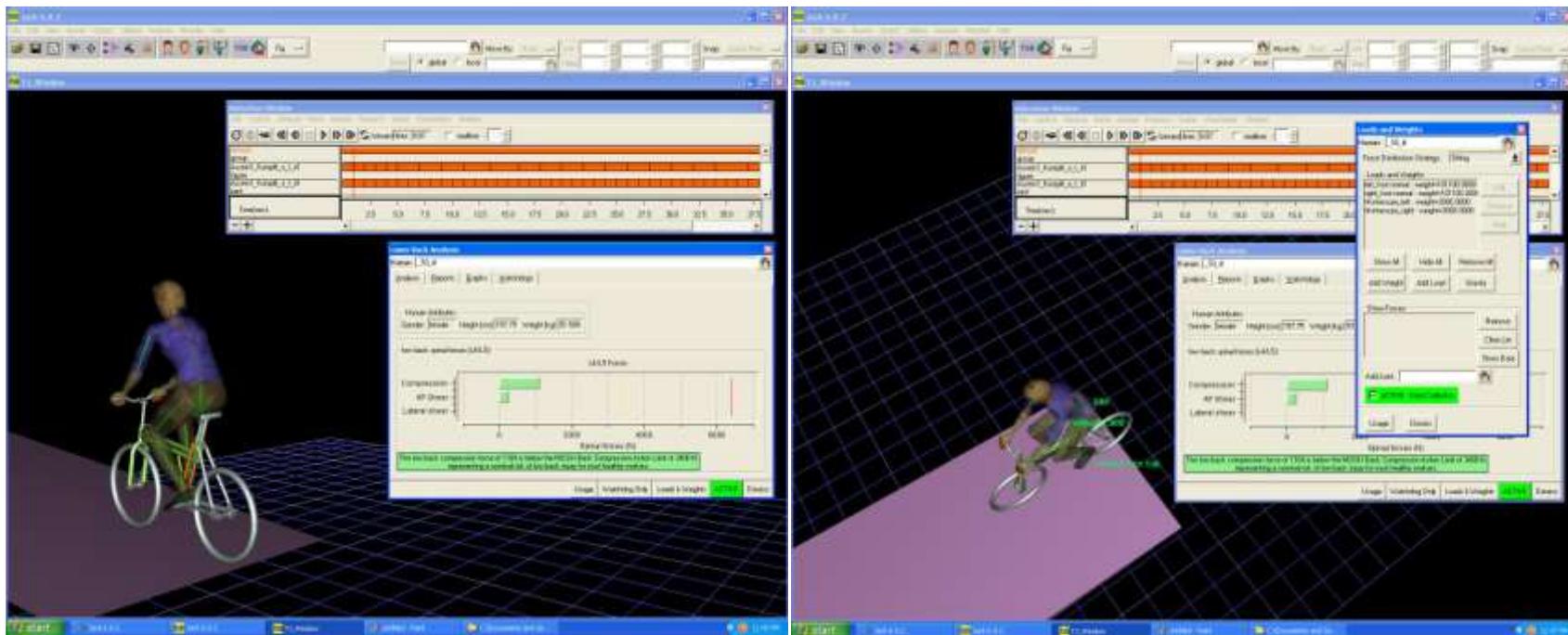
Analysis Recommendations

The low back compression force of 1104.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

Lampiran 4: Contoh Tampilan *Lower Back Analysis* Pada Software Jack 6.0



Lampiran 4: Contoh Tampilan *Lower Back Analysis* Pada *Software Jack 6.0* (lanjutan)



Lampiran 5: Pemberian Nilai Pada *Loads and Weights*



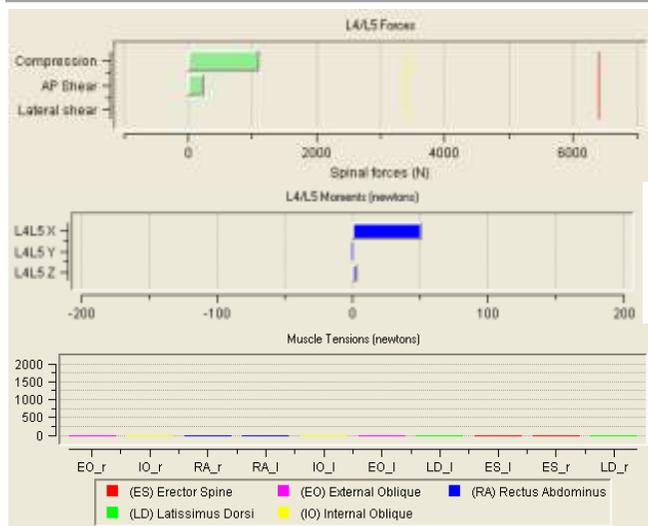
Lampiran 6: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 2 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1098.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

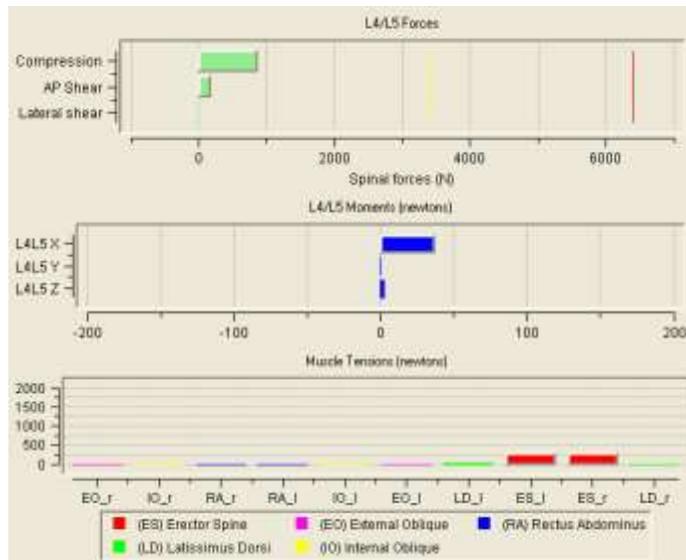
Lampiran 7: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 3 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2: Stang +20cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 857.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

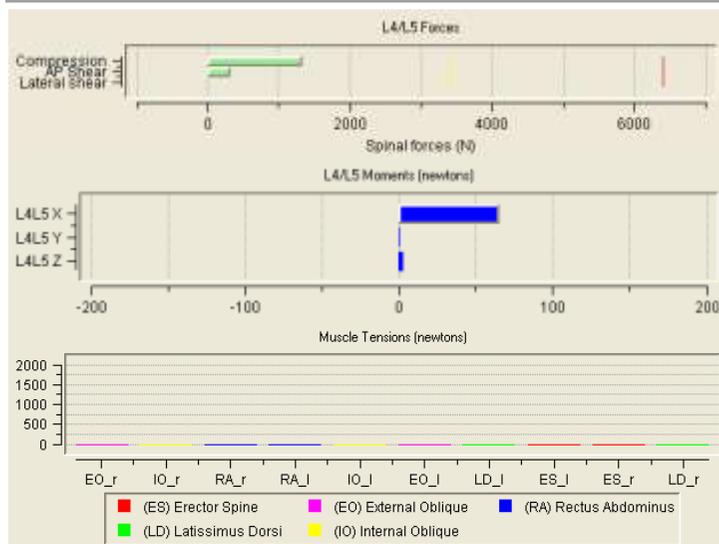
Lampiran 8: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 4 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2: Sadel +4 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1309.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

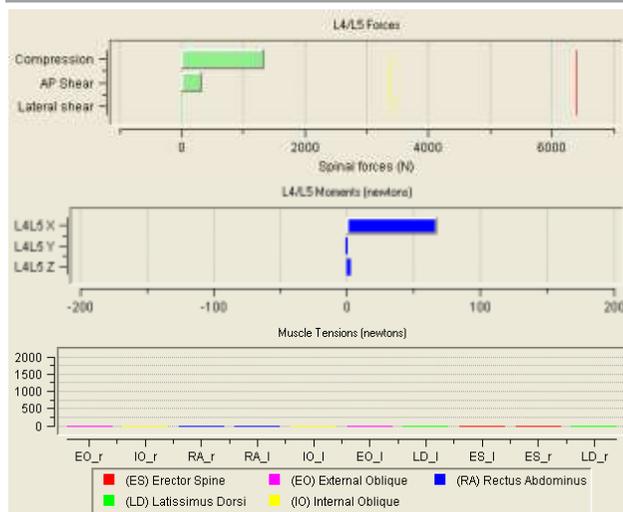
Lampiran 9: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 5 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2: Sadel +8 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1335.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

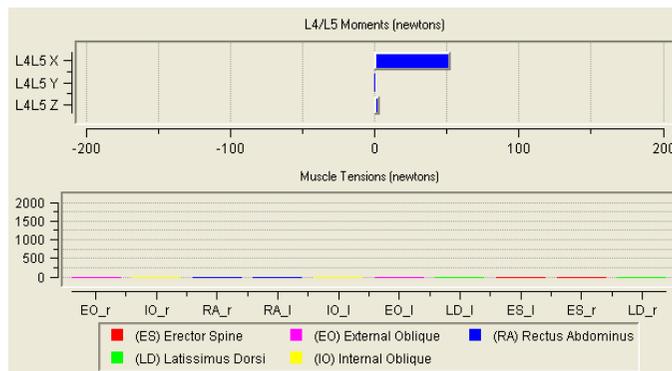
Lampiran 10: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 6 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2: Sadel +4 cm n Stang +10 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1111.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

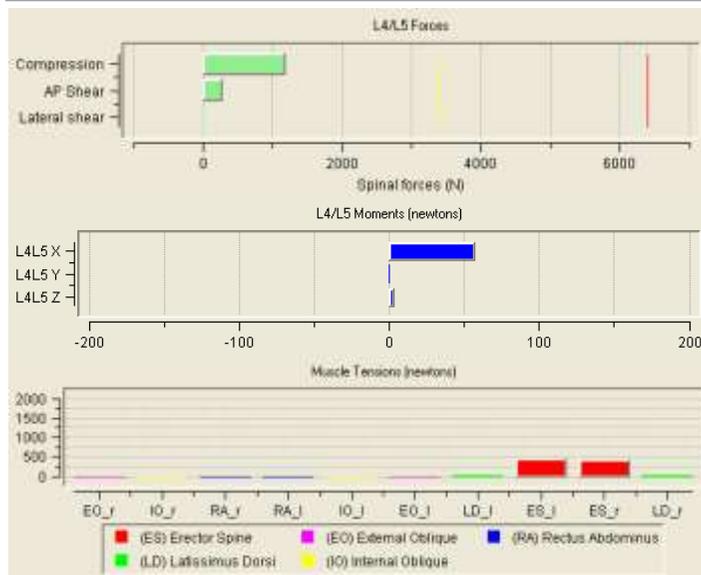
Lampiran 11: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 7 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2: Sadel +8 cm n Stang +10 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1182.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

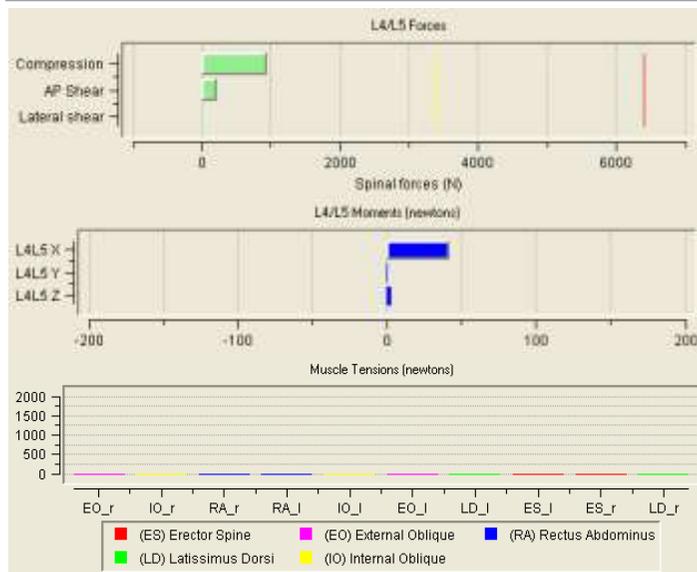
Lampiran 12: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 8 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2: Sadel +4 cm n Stang +20 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 919.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

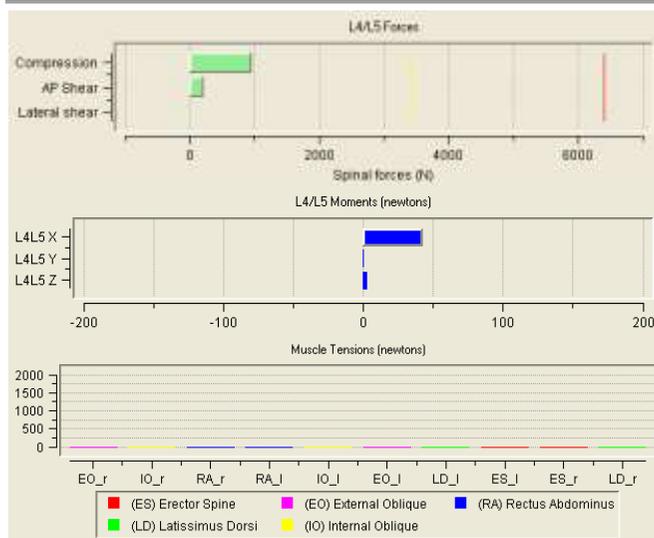
Lampiran 13: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 9 Pada Lintasan Menanjak

Jack Low Back Analysis Report

Gerbang UI 2: Sadel +8 cm n Stang +20 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 942.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

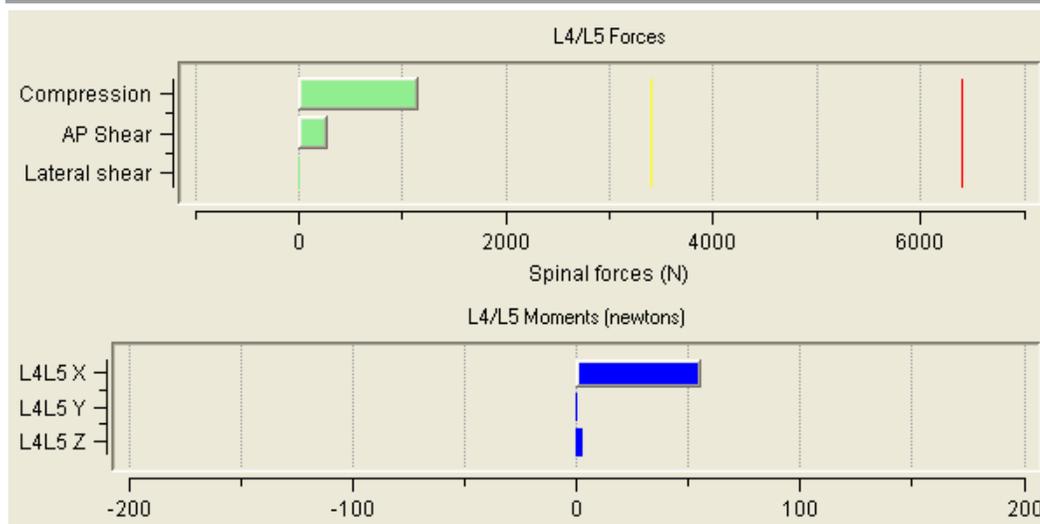
Lampiran 14: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 1 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Model Sepeda Asli

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1141.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

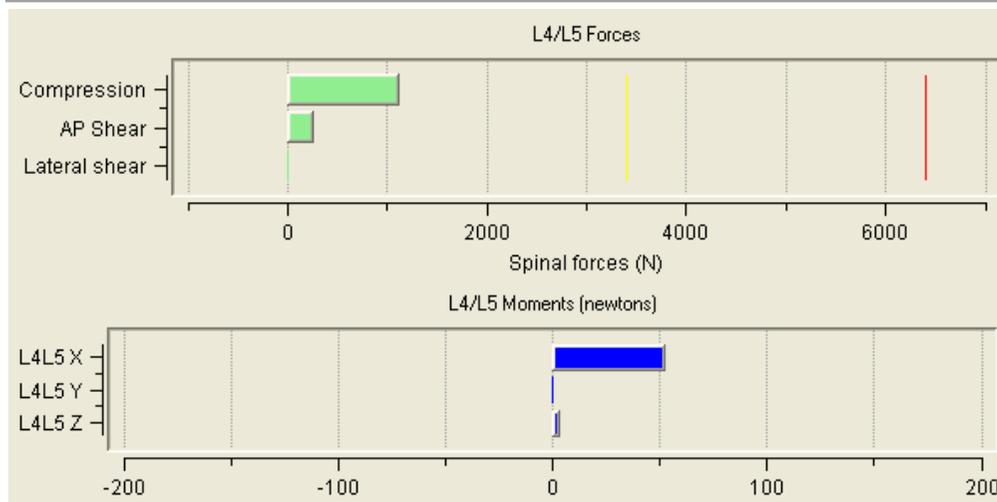
Lampiran 15: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 2 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Stang +10 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1110.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

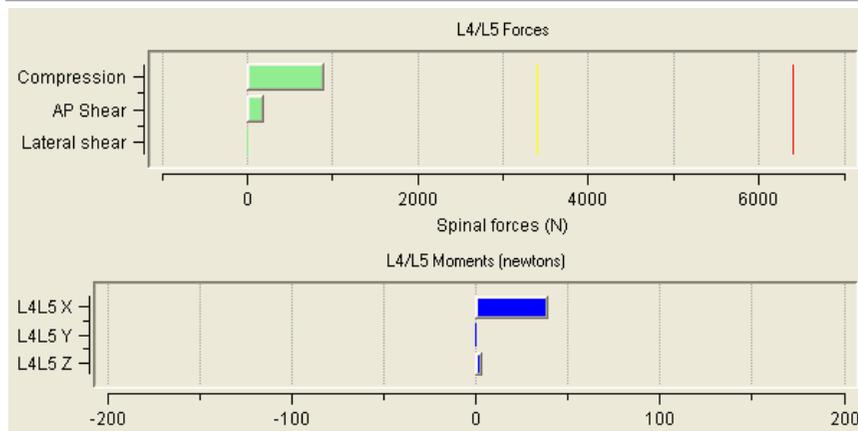
Lampiran 16: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 3 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Stang +20 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 890.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

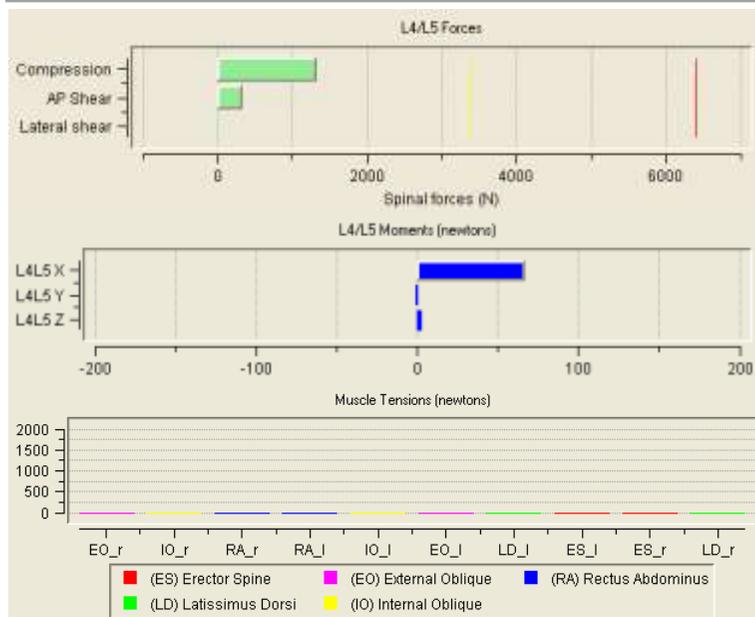
Lampiran 17: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 4 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Sadel +4 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1316.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

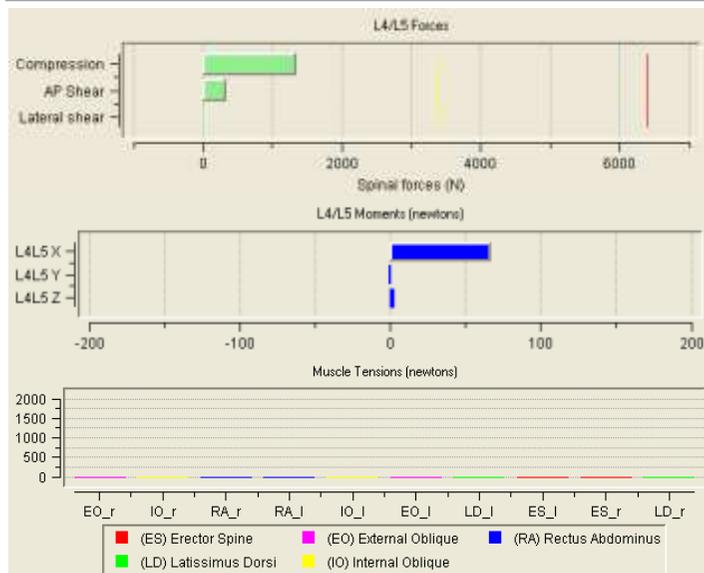
Lampiran 18: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 5 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Sadel +8 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



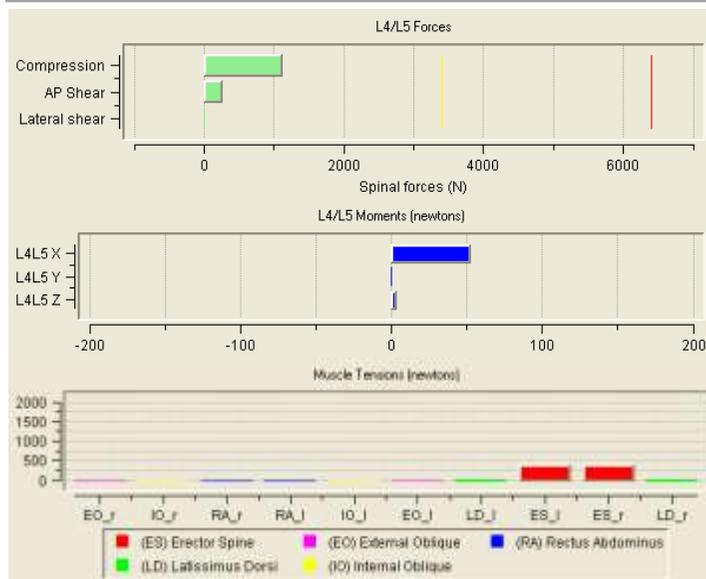
Analysis Recommendations

The low back compression force of 1325.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

Lampiran 19: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 6 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Sadel +4 cm n Stang +10 cm
Cindy A
Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1104.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

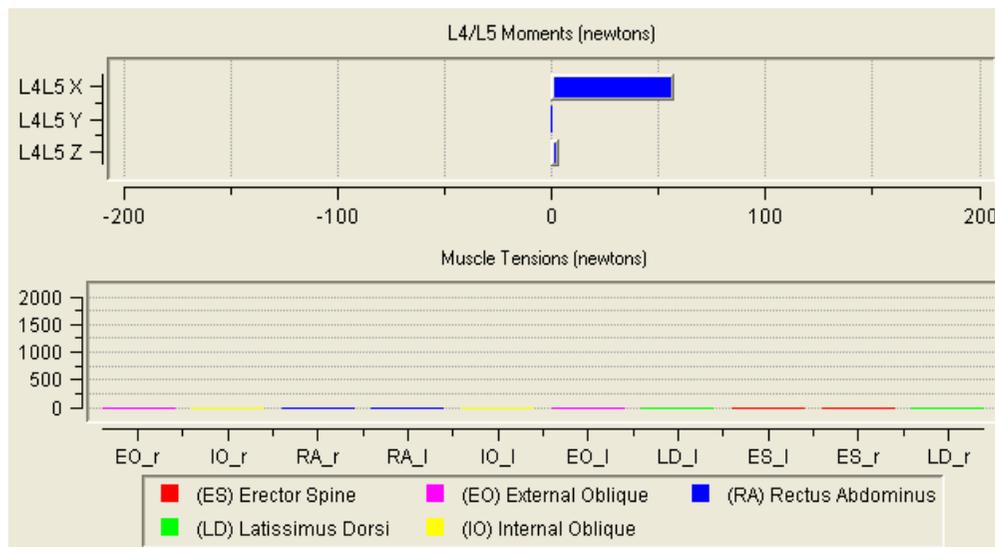
Lampiran 20: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 7 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Sadel +8 cm n Stang +10 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 1187.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

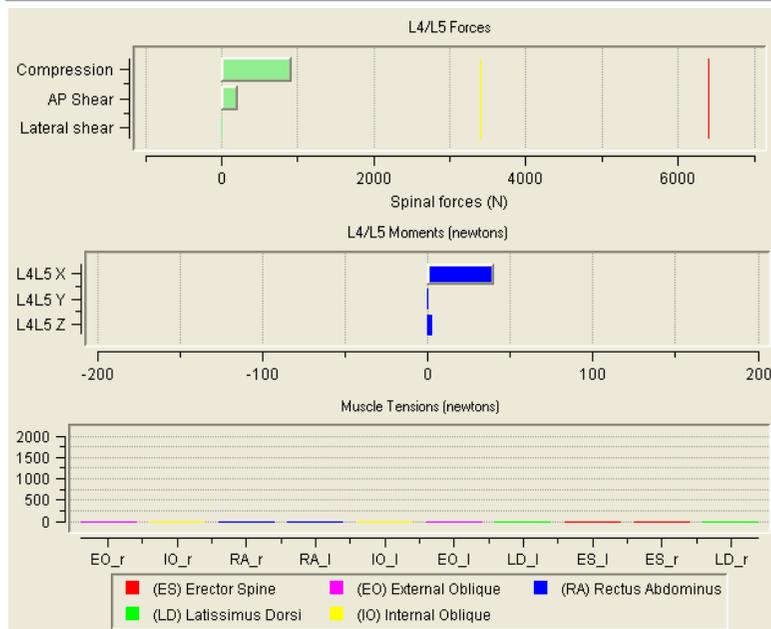
Lampiran 21: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 8 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Sadel +4 cm n Stang +20 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 908.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

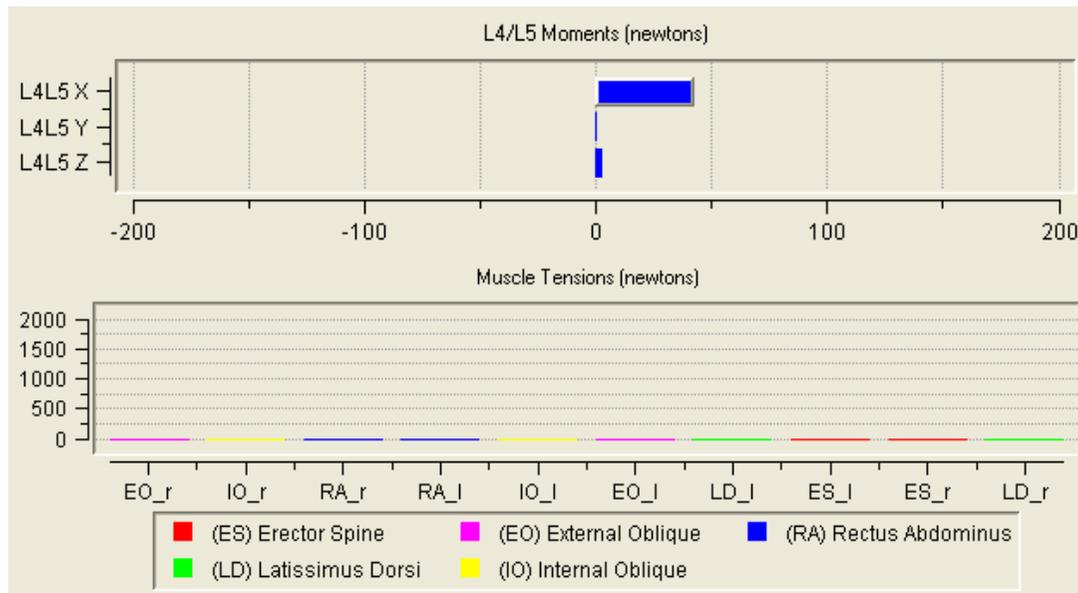
Lampiran 22: Nilai *Lower Back Analysis* Konfigurasi 9 Pada Lintasan Mendatar

Jack Low Back Analysis Report

Sadel +8 cm n Stang +20 cm

Cindy A

Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



Analysis Recommendations

The low back compression force of 938.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

Lampiran 23: *Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP) Pada Lintasan Menanjak*

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	31	8	100	-1	FLEXN	35	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	39	10	100	-4	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-48	EXTEN	266	92	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	241	59	100					
	Rotation	-0	--	61	18	100					
Hip		0	--	119	40	100	0	--	111	37	100
Knee		0	--	102	35	100	0	--	112	39	100
Ankle		0	--	100	27	100	0	--	92	25	100

Konfigurasi 1

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	31	8	100	-1	FLEXN	35	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	39	10	100	-4	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	42	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-51	EXTEN	245	85	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	230	56	100					
	Rotation	-0	--	60	18	100					
Hip		0	--	87	29	100	0	--	134	45	100
Knee		0	--	98	34	100	0	--	114	40	100
Ankle		0	--	72	20	100	0	--	93	26	100

Konfigurasi 2

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	33	9	100	-1	FLEXN	36	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	38	10	100	-4	ABDUCT	40	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	27	7	100
Trunk	Flex/Ext	-37	EXTEN	228	79	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	170	42	100					
	Rotation	-0	--	56	17	100					
Hip		0	--	112	38	100	-0	--	110	41	100
Knee		0	--	103	36	100	0	--	113	39	100
Ankle		0	--	66	18	100	0	--	101	28	100

Konfigurasi 3

Lampiran 23: *Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP) Pada Lintasan Menanjak (Lanjutan)*

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	--	28	7	100	-1	--	31	8	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	40	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	41	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	25	7	100
Trunk	Flex/Ext	-65	EXTEN	265	92	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	309	76	100					
	Rotation	-0	--	65	20	100					
	Hip	0	--	94	32	100	-0	--	118	44	100
	Knee	0	--	102	35	100	0	--	113	39	100
	Ankle	0	--	76	21	100	0	--	86	24	100

Konfigurasi 4

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	--	30	8	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	37	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	41	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	23	6	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-67	EXTEN	264	91	98					
	Lateral Bending	2	LEFT	337	82	100					
	Rotation	-1	--	67	20	100					
	Hip	-0	--	123	47	100	0	--	121	41	100
	Knee	0	--	106	37	100	0	--	111	38	100
	Ankle	0	--	83	23	100	0	--	82	23	100

Konfigurasi 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	--	30	8	100	-1	FLEXN	35	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	39	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	14	100	-0	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-52	EXTEN	257	89	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	230	56	100					
	Rotation	-0	--	60	18	100					
	Hip	0	--	126	42	100	0	--	125	42	100
	Knee	0	--	105	36	100	0	--	114	40	100
	Ankle	0	--	86	24	100	0	--	89	24	100

Konfigurasi 6

Lampiran 23: *Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP) Pada Lintasan Menanjak (Lanjutan)*

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	--	28	7	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	40	11	100	-3	ABDUCT	42	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	42	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-57	EXTEN	240	83	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	253	62	100					
	Rotation	-0	--	62	19	100					
	Hip	-0	--	121	46	100	-0	--	112	42	100
	Knee	0	--	106	37	100	0	--	108	38	100
	Ankle	0	--	75	21	100	0	--	81	22	100

Konfigurasi 7

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	33	9	100	-1	FLEXN	36	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	38	10	100	-4	ABDUCT	40	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	26	7	100	-0	--	27	7	100
Trunk	Flex/Ext	-40	EXTEN	235	81	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	182	45	100					
	Rotation	-0	--	57	17	100					
	Hip	-0	--	115	44	100	0	--	140	47	100
	Knee	0	--	101	35	100	0	--	114	39	100
	Ankle	0	--	85	23	100	0	--	87	24	100

Konfigurasi 8

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	--	29	8	100	-1	FLEXN	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	40	11	100	-4	ABDUCT	42	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-42	EXTEN	225	78	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	182	45	100					
	Rotation	-0	--	57	17	100					
	Hip	0	--	127	43	100	-0	--	109	41	100
	Knee	0	--	104	36	100	0	--	110	38	100
	Ankle	0	--	77	21	100	0	--	81	22	100

Konfigurasi 9

Lampiran 24: *Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP) Pada Lintasan Mendatar*

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	--	31	8	100	-1	--	35	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	39	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-55	EXTEN	258	89	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	241	59	100					
	Rotation	-0	--	61	18	100					
Hip		0	--	126	42	100	-0	--	124	47	100
Knee		0	--	107	37	100	0	--	109	38	100
Ankle		0	--	98	27	100	0	--	92	25	100

Konfigurasi 1

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	31	8	100	-1	FLEXN	35	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	39	10	100	-4	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	42	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-52	EXTEN	257	89	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	230	56	100					
	Rotation	-0	--	60	18	100					
Hip		-0	--	124	47	100	0	--	126	42	100
Knee		0	--	108	37	100	0	--	107	37	100
Ankle		0	--	62	17	100	0	--	104	28	100

Konfigurasi 2

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	33	9	100	-1	FLEXN	36	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	38	10	100	-4	ABDUCT	40	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	27	7	100
Trunk	Flex/Ext	-39	EXTEN	230	79	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	170	42	100					
	Rotation	-0	--	56	17	100					
Hip		-0	--	122	46	100	-0	--	110	42	100
Knee		0	--	102	35	100	0	--	114	39	100
Ankle		0	--	68	19	100	0	--	99	27	100

Konfigurasi 3

Lampiran 24: *Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP) Pada Lintasan Mendatar (Lanjutan)*

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	--	28	7	100	-1	--	31	8	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	40	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	41	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	25	7	100
Trunk	Flex/Ext	-66	EXTEN	254	88	98					
	Lateral Bending	2	LEFT	309	76	100					
	Rotation	-1	--	65	20	100					
Hip		0	--	79	26	100	-0	--	115	43	100
Knee		0	--	102	35	100	0	--	113	39	100
Ankle		0	--	72	20	100	0	--	86	24	100

Konfigurasi 4

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	--	30	8	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	37	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	41	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	23	6	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-66	EXTEN	260	90	98					
	Lateral Bending	2	LEFT	337	82	100					
	Rotation	-1	--	67	20	100					
Hip		0	--	100	34	100	-0	--	116	44	100
Knee		0	--	106	37	100	0	--	109	38	100
Ankle		0	--	83	23	100	0	--	79	22	100

Konfigurasi 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	--	30	8	100	-1	FLEXN	35	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	39	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	14	100	-0	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-52	EXTEN	245	85	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	230	56	100					
	Rotation	-0	--	60	18	100					
Hip		-0	--	120	45	100	-0	--	113	43	100
Knee		0	--	101	35	100	0	--	113	39	100
Ankle		0	--	82	22	100	0	--	83	23	100

Konfigurasi 6

Lampiran 24: *Capability Summary Chart Static Strength Prediction (SSP) Pada Lintasan Mendatar (Lanjutan)*

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	--	28	7	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	40	11	100	-3	ABDUCT	42	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	42	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-57	EXTEN	234	81	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	253	62	100					
	Rotation	-0	--	62	19	100					
Hip		0	--	101	34	100	-0	--	111	42	100
Knee		0	--	106	37	100	0	--	108	37	100
Ankle		0	--	71	19	100	0	--	79	22	100

Konfigurasi 7

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	33	9	100	-1	FLEXN	36	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	38	10	100	-4	ABDUCT	40	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	26	7	100	-0	--	27	7	100
Trunk	Flex/Ext	-40	EXTEN	224	77	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	182	45	100					
	Rotation	-0	--	57	17	100					
Hip		-0	--	119	45	100	-0	--	109	41	100
Knee		0	--	104	36	100	0	--	114	40	100
Ankle		0	--	73	20	100	0	--	96	26	100

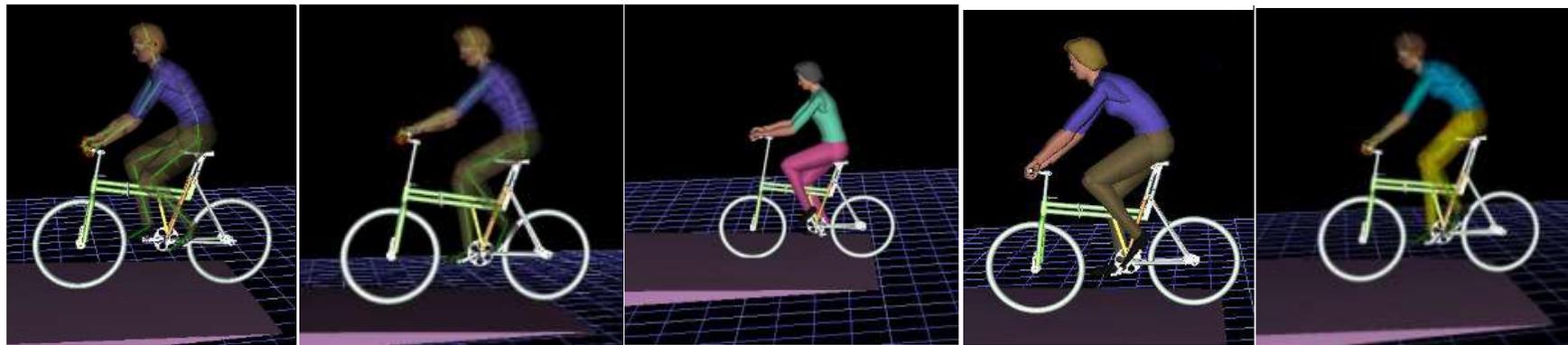
Konfigurasi 8

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	--	29	8	100	-1	FLEXN	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	40	11	100	-4	ABDUCT	42	11	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-1	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-42	EXTEN	216	75	99					
	Lateral Bending	2	LEFT	182	45	100					
	Rotation	-0	--	57	17	100					
Hip		0	--	119	40	100	0	--	148	50	100
Knee		0	--	103	36	100	0	--	107	37	100
Ankle		0	--	76	21	100	0	--	77	21	100

Konfigurasi 9

Lampiran 25: Tampilan Postur Seluruh Konfigurasi



Konfigurasi 1

Konfigurasi 2

Konfigurasi 3

Konfigurasi 4

Konfigurasi 5



Konfigurasi 6

Konfigurasi 7

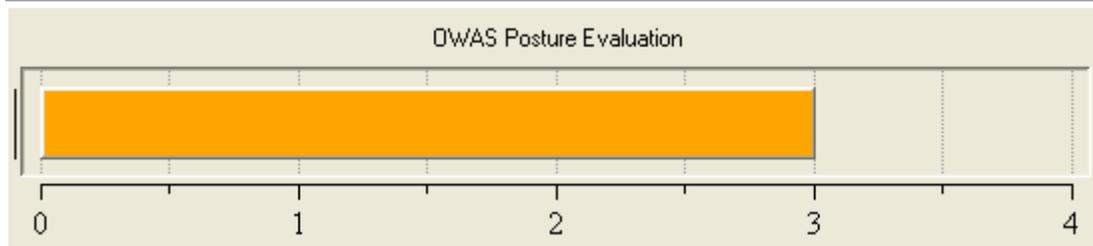
Konfigurasi 8

Konfigurasi 9

Jack Ovako Working Posture Analysis Report

Model Sepeda Asli

Cindy A
Job #, Kampus UI Depok, 19 Juni 2009



(Owas Code: 2141)

Warning! This work posture will cause harmful levels of stress on the musculoskeletal system!

Corrective measures must be taken as soon as possible. Note that only downward force components are considered in the analysis