

**ANALISIS ERGONOMI SEPEDA LIPAT TERHADAP
PENGENDARA PRIA DENGAN *POSTURE EVALUATION*
INDEX DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT MODELING***

SKRIPSI

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

**RICKY PRABOWO
04 05 07 05 0X**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JULI 2009**

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ricky Prabowo

NPM : 040507050X

Tanda Tangan :

Tanggal : Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ricky Prabowo
NPM : 040507050X
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Sepeda Lipat Terhadap Pengendara Pria Dengan *Posture Evaluation Index* Dalam *Virtual Environment Modeling*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir.Erlinda Muslim, MEE ()
Penguji : Armand Omar Moeis,ST.,MSc ()
Penguji : Ir. Yadrifil,MSc ()
Penguji : Dr. Ir. Teuku Yuri MZ.,M.Eng.SC. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan *karunia*-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta, Bapak (Alm.), Ibu, Mas Anto, dan Mba Diah. Terima kasih atas segala bantuan penuh kasih sayang, perhatian, dukungan moril dan finansial yang diberikan hingga penulis dapat berada dalam tahap penyelesaian skripsi ini.
2. Ibu Erlinda Muslim selaku dosen pembimbing utama yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran untuk memotivasi serta mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE. selaku dosen pembimbing penelitian yang telah memberikan berbagai saran masukan penting dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Agung Prehadi dan keluarga. yang telah dengan ikhlas memberikan masukan dan pemikiran dari awal hingga akhir penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Hendri selaku ketua tim proyek sepeda lipat Departemen Teknik Mesin FT-UI yang telah berkenan memberikan izin untuk diadakan penelitian lebih lanjut mengenai sepeda lipat tersebut.
6. Bapak Alan dari Departemen Teknik Sipil UI yang telah memberikan izin penggunaan thedolit dalam penelitian ini.
7. Bapak Jachrizal yang telah menyediakan waktu untuk memberi informasi dan masukan bagi penulis.
8. Bapak Wichai dan Bapak Anton yang telah membantu dalam mempelajari lebih lanjut mengenai cara-cara penggunaan *software* Jack dalam penelitian ini.

9. Iskandar Muda dan Dedi selaku anggota tim proyek sepeda lipat yang telah membantu dalam banyak hal untuk memahami lebih lanjut dan melakukan pengembangan desain terhadap sepeda lipat tersebut.
10. Salman dan Yosua dari Teknik Sipil UI yang telah membantu dalam pengukuran kemiringan jalur sepeda UI dengan menggunakan thedolit.
11. Zulkarnain, Muthia, Romadhani, Nandyka, Nyoman, Cindy, dan Lija yang telah berjuang bersama di tim ergonomi selama satu semester ini. Terima kasih atas enam bulan paling berkesan selama menempuh studi di Teknik Industri.
12. Sumarsono, Irvan, Rondi, Chandra, Christansen, dan Rama. Teman-teman terdekat yang memberikan semangat, dukungan, dan berbagi pengalaman dalam penyusunan skripsi ini.
13. Yopi dan Farkhan yang telah membantu dalam format penulisan skripsi ini.
14. Seluruh rekan di Teknik Industri angkatan 2005 lainnya yang telah menemani berjuang bersama selama empat tahun perjalanan menempuh studi di tempat ini.
15. Ricky Firdaus, Tego, Alfian dan seluruh rekan alumni ROHIS 78. Sahabat-sahabat terbaik tak tergantikan yang telah mengajarkan banyak hal dan Insya Allah selalu siap membantu dan menghibur di segala suasana.
16. 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
17. Semua pihak yang turut membantu penulis dalam penelitian dan penyusunan skripsi yang tidak mungkin disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam skripsi ini. Kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Depok, 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 : Ricky Prabowo
NPM : 040507050X
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 Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis Ergonomi Sepeda Lipat terhadap Pengendara Pria dengan *Posture Evaluation Index* dalam *Virtual Environment Modeling*”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilih Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Juli 2009
Yang menyatakan

(Ricky Prabowo)

ABSTRAK

Nama : Ricky Prabowo
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Sepeda Lipat terhadap Pengendara Pria dengan *Posture Evaluation Index* dalam *Virtual Environment Modeling*

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis dari sepeda lipat Departemen Teknik Mesin FT-UI dalam *virtual environment modeling*. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian adalah PEI yang mengintegrasikan hasil analisis dari tiga buah metode: *LBA*, *OWAS*, dan *RULA*. Tujuannya adalah menentukan desain sepeda lipat yang paling ergonomis berdasarkan PEI tersebut serta menganalisis kelayakan sepeda lipat menjadi pengganti sepeda UI. Pembuatan konfigurasi desain berdasarkan tinggi stang dan tinggi sadel sepeda lipat sehingga dihasilkan sembilan konfigurasi desain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain sepeda lipat yang paling baik dari aspek ergonomi adalah dengan kondisi stang yang dinaikkan menjadi 32 cm serta kondisi sadel yang tetap. PEI desain sepeda lipat yang terbaik adalah 1,65 yang berarti lebih rendah dibandingkan PEI sepeda UI sehingga sepeda lipat berpotensi untuk menggantikan sepeda UI.

Kata Kunci :
Ergonomi, *Virtual Environment Modeling*, Sepeda Lipat, PEI, Desain Sepeda.

ABSTRACT

Name : Ricky Prabowo
Study Program : Industrial Engineering
Title : Ergonomics Analysis of Folding Bicycle toward Male Rider with Posture Evaluation Index in Virtual Environment Modeling

This research tried to study ergonomic aspect from folding bicycle from Mechanical Engineering University of Indonesia in virtual environment modeling. PEI used as approach that integrated the results of three methods: LBA, OWAS, and RULA. The objective is to determine the most ergonomic design of folding bicycle based on PEI and analyze feasibility of folding bicycle to replace UI bicycle. Configuration of design made based on handle bar and saddle height so that produce nine configurations of design. The result show that most ergonomic design of folding bicycle from ergonomic aspect is handlebar that added until 32 cm and saddle condition is same. PEI from best design of folding bicycle is 1,65 that means lower than PEI of UI bicycle so that folding bicycle potential to replace UI bicycle.

Key words :

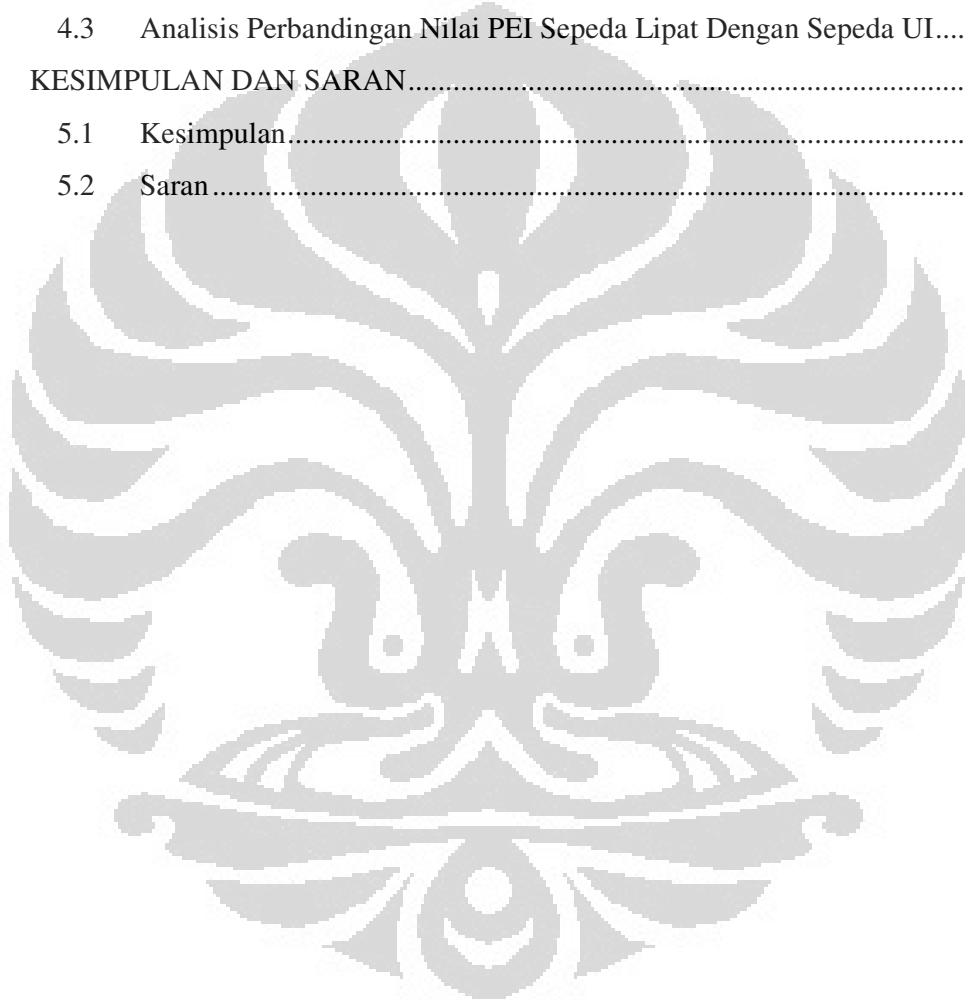
Ergonomics, Virtual Environment Modeling, Folding Bicycle, PEI, Bicycle Design.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.5 Metodologi Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB 2	9
TINJAUAN LITERATUR.....	9
2.1 Ergonomi	9
2.1.1 Definisi Ergonomi.....	9
2.1.2 Jenis Ergonomi	10
2.2 Antropometri	11
2.3 Musculoskeletal Disorder	14
2.4 <i>Virtual Environment</i>	17
2.5 Software Jack 6.0	20
2.6 Metode Penilaian Risiko Ergonomi Dengan Software Jack.....	22
2.6.1 <i>Low Back Analysis</i>	22
2.6.2 <i>Static Strength Prediction</i>	26
2.6.3 <i>NIOSH Lifting Analysis</i>	29
2.6.4 <i>Predetermined Time Analysis</i>	31
2.6.5 <i>Ovako Working Posture Analysis (OWAS)</i>	32
2.6.6 <i>Metabolic Energy Expenditure</i>	33

2.6.7 <i>Manual Handling Limits</i>	34
2.6.8 <i>Fatigue/Recovery Time Analysis</i>	35
2.6.9 RULA (<i>Rapid Upper Limb Assessment</i>).....	36
2.7 Posture Evaluation Index.....	39
2.8 Perkembangan Sepeda Lipat	42
2.9 Gaya Kayuh Sepeda	48
BAB 3 PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL	52
3.1. Profil Instansi Terkait.....	52
3.1.1 Profil Universitas Indonesia.....	52
3.1.2 Profil Departemen Teknik Mesin UI	53
3.2. Pengumpulan Data	54
3.2.....	54
3.2.1 Data Spesifikasi Sepeda Lipat DTM UI.....	54
3.2.2 Peta Jalur Sepeda UI	55
3.2.3 Kemiringan Lintasan Menanjak Jalur Sepeda UI	56
3.2.4 Data Antropometri Mahasiswa UI.....	61
3.2.5 Waktu Tempuh Melewati Lintasan Menanjak Jalur Sepeda UI	64
3.3. Perancangan Model	65
3.1.1 Membangun Lingkungan Virtual (<i>Virtual Environment</i>)	66
3.1.2 Membuat Model Manusia	67
3.1.3 Memposisikan Model Manusia.....	68
3.1.4 Memberi Tugas Kepada Model Manusia.....	69
3.1.5 Menganalisis Kinerja Model Manusia	77
3.4. Konfigurasi Desain Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI.....	80
3.5. Verifikasi dan Validasi Model	82
BAB 4	84
ANALISIS	84
4.1 Analisis Setiap Konfigurasi Desain.....	84
4.1.1 Analisis Konfigurasi Desain 1	84
4.1.2 Analisis Konfigurasi Desain 2	89
4.1.3 Analisis Konfigurasi Desain 3	94
4.1.4 Analisis Konfigurasi Desain 4	98

4.1.5	Analisis Konfigurasi Desain 5	102
4.1.6	Analisis Konfigurasi Desain 6	106
4.1.7	Analisis Konfigurasi Desain 7	110
4.1.8	Analisis Konfigurasi Desain 8	115
4.1.9	Analisis Konfigurasi Desain 9	119
4.2	Analisa Perbandingan Nilai PEI Untuk Seluruh Konfigurasi Desain Sepeda Lipat	123
4.3	Analisis Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Dengan Sepeda UI....	125
KESIMPULAN DAN SARAN.....		126
5.1	Kesimpulan.....	126
5.2	Saran.....	127



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Horizontal Multiplier.....	23
Tabel 2.2 Assymetric Multiplier	23
Tabel 2.3 Vertical Multiplier	24
Tabel 2.4 Distance Multiplier.....	24
Tabel 2.5 Frecuency Multiplier.....	25
Tabel 2.6 Bobot Nilai dalam RULA.....	37
Tabel 2.1 Koefisien Gesek Permukaan Karet dengan Aspal dan Semen.....	49
Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Kemiringan Lintasan Menanjak Jalur Sepeda UI.....	58
Tabel 3.2 Rekapitulasi Data Antropometri Mahasiswa UI.....	62
Tabel 3.3 Data Waktu Tempuh Melewati Lintasan Menanjak dengan Sepeda UI	64
Tabel 3.4 Data Waktu Tempuh Melewati Lintasan Menanjak dengan Sepeda Lipat	65
Tabel 3.5 Hasil Analisis dengan SSP	78
Tabel 3.6 Konfigurasi Desain Sepeda Lipat.....	81
Tabel 4.2 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 1.....	86
Tabel 4.3 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 1	86
Tabel 4.4 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 1	88
Tabel 4.5 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 2.....	90
Tabel 4.6 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 2.....	91
Tabel 4.7 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 2	91
Tabel 4.8 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 2	92
Tabel 4.9 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 3.....	94
Tabel 4.10 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 3.....	95
Tabel 4.11 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 3	95
Tabel 4.12 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 3	96
Tabel 4.13 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 4.....	98
Tabel 4.14 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 4.....	99

Tabel 4.15 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 4	99
Tabel 4.12 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 4.....	100
Tabel 4.17 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 5.....	102
Tabel 4.18 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 5.....	103
Tabel 4.19 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 5	103
Tabel 4.20 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 5	104
Tabel 4.21 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 6.....	106
Tabel 4.22 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 6.....	107
Tabel 4.23 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 6	107
Tabel 4.24 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 6.....	109
Tabel 4.25 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 7.....	111
Tabel 4.26 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 7.....	112
Tabel 4.27 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 7	112
Tabel 4.28 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 7.....	113
Tabel 4.29 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 8.....	115
Tabel 4.30 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 8.....	116
Tabel 4.31 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 8	116
Tabel 4.32 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 8.....	117
Tabel 4.33 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 9.....	119
Tabel 4.34 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 9.....	120
Tabel 4.35 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 9	120
Tabel 4.36 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 9	121
Tabel 4.37 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Seluruh Konfigurasi Desain Sepeda Lipat	124
Tabel 4.38 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Sepeda UI pada Lintasan Menanjak...	125
Tabel 4.39 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Sepadpada Lintasan Mendatar	125

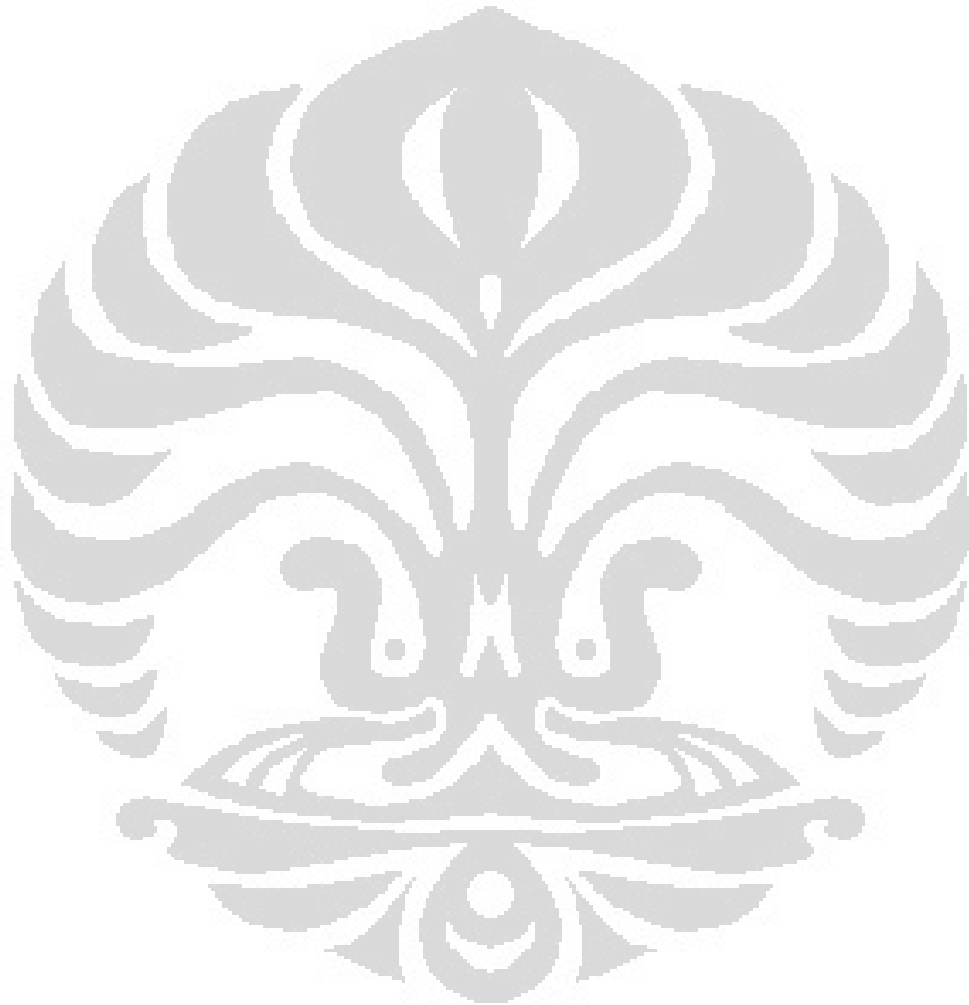
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengukuran Antropometri	13
Gambar 2.2 Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i>	18
Gambar 2.3 Tampilan Jack	21
Gambar 2.4 Tampilan Hasil LBA pada Jack	26
Gambar 2.5 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya	28
Gambar 2.6 Tampilan Hasil SSP pada Jack	29
Gambar 2.7 Tampilan Hasil NIOSH pada Jack	30
Gambar 2.8 Tampilan Hasil Predetermined Time pada Jack.....	31
Gambar 2.9 Tampilan Hasil OWAS pada Jack.....	32
Gambar 2.10 Tampilan Hasil MEP pada Jack.....	33
Gambar 2.11 Tampilan Hasil <i>Manual Handling Limit</i> pada Jack	34
Gambar 2.12 Tampilan Hasil Fatigue Recovery pada Jack.....	35
Gambar 2.13 Form Penilaian RULA Secara Manual	36
Gambar 2.14 Tampilan Hasil RULA pada Jack.....	38
Gambar 2.15 Tahapan dalam metode PEI	39
Gambar 2.16 Model Sepeda “Draisienne”	42
Gambar 2.17 Model Sepeda “Velocipede”	43
Gambar 2.18 Model Sepeda Aman.....	43
Gambar 2.19 Model Sepeda Lipat William Grout	44
Gambar 2.20 Model Sepeda Lipat Michael B. Ryan.....	44
Gambar 2.21 Model Sepeda Lipat Henry Gérard	45
Gambar 2.22 Model Sepeda Lipat William Crowe	45
Gambar 2.23 Model Sepeda Compax.....	46
Gambar 2.24 Model Sepeda Compax.....	47
Gambar 2.25 Model Sepeda Lipat Raleigh Twenty Stowaway	47
Gambar 2.26 Model Sepeda Lipat Dahon dan Dr. David Hon	48
Gambar 2.1 Sistem Gaya pada Roda dan Gir Sepeda	49
Gambar 3.1 Prototype Awal Sepeda UI.....	55
Gambar 3.2 Peta Lintasan Sepeda UI.....	56

Gambar 3.3 Pengukuran dengan Theodolite	57
Gambar 3.4 Hasil Pengukuran Lintasan Pusgiwa	58
Gambar 3.5 Hasil Pengukuran Lintasan Menara Air.....	58
Gambar 3.6 Hasil Pengukuran Lintasan Balairung (Parkiran).....	59
Gambar 3.7 Hasil Pengukuran Lintasan Balairung (Danau)	59
Gambar 3.8 Hasil Pengukuran Lintasan Fakultas Ekonomi.....	59
Gambar 3.9 Hasil Pengukuran Lintasan Gerbang UI 1	60
Gambar 3.10 Hasil Pengukuran Lintasan Gerbang UI 1.....	60
Gambar 3.11 Hasil Pengukuran Lintasan Halte UI	60
Gambar 3.12 Hasil Pengukuran Lintasan Mang Engking.....	60
Gambar 3.13 Dimensi Tubuh yang Digunakan dalam Pengukuran Antropometri Mahasiswa UI.....	61
Gambar 3.14 Hasil Uji Normalitas Untuk Variabel Tinggi Badan.....	63
Gambar 3.15 Hasil Uji Normalitas Untuk Variabel Berat Badan.....	63
Gambar 3.14 Desain Sepeda Lipat dengan Solidworks	65
Gambar 3.15 Desain Lintasan Menanjak dengan Auto CAD	66
Gambar 3.16 Tahapan Perancangan Model dengan Jack	66
Gambar 3.17 Tampilan Lingkungan Virtual dalam Jack.....	67
Gambar 3.18 Tampilan Input Data Antropometri dalam Jack	68
Gambar 3.19 Tampilan Saat Memosisikan Manusia	69
Gambar 3.20 Tampilan Untuk Membuat <i>Joint</i> dalam Jack.....	70
Gambar 3.21 Tampilan Untuk Menguji Pergerakan <i>Joint</i> dalam Jack	70
Gambar 3.23 Tampilan Menu Untuk Membuat Pergerakan <i>Joint</i>	72
Gambar 3.24 Tampilan Saat Mengatur Pergerakan Pedal	72
Gambar 3.26 Tampilan Gaya-Gaya yang ada dalam Jack.....	75
Gambar 3.27 Tampilan Menu Untuk Menggerakkan Sepeda ke Puncak	75
Gambar 3.28 Tampilan <i>Animation System</i> di dalam Jack.....	76
Gambar 3.29 Tampilan Saat Animasi Dijalankan Selama 17 Detik	76
Gambar 3.30 Tampilan Saat Animasi Dijalankan Hingga Selesai	77
Gambar 3.31 Tampilan Hasil Keluaran Saat Menganalisis dengan SSP.....	78
Gambar 3.32 Tampilan Saat Menganalisis dengan LBA.....	79
Gambar 3.33 Tampilan Hasil Keluaran Saat Menganalisis dengan OWAS	79

Gambar 3.34 Tampilan Hasil Keluaran Saat Menganalisis dengan RULA	80
Gambar 3.35 Posisi Stang dan Sadel Sepeda Lipat pada Kondisi Aktual	80
Gambar 3.36 Perbandingan Postur dengan Kondisi Aktual	82
Gambar 3.37 Kondisi LBA Saat diberikan Gaya Sebesar 4 Kg	82
Gambar 3.38 Kondisi LBA Saat Diberikan Gaya Sebesar 25 Kg	83
Tabel 4.2 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 1	86
Gambar 4.2 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 2.....	90
Gambar 4.3 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 3.....	94
Gambar 4.4 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 4.....	98
Gambar 4.5 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 5.....	102
Gambar 4.6 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 6.....	106
Gambar 4.7 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 7.....	111
Gambar 4.8 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 8.....	115
Gambar 4.9 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 9.....	119





BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang masalah yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian beserta rumusan dan hal-hal yang membatasinya. Selain itu, dalam bab ini juga akan dibahas mengenai tujuan serta metodologi yang digunakan dalam melakukan penelitian.

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Sepeda adalah salah satu alternatif yang banyak dipilih sebagai alat transportasi karena praktis dan harga yang murah. Sepeda merupakan salah satu alat transportasi yang sudah sangat lama dikenal. Sebagai alat transportasi, sepeda memiliki banyak keuntungan dibandingkan alat transportasi lainnya dan sepeda dapat dikendarai tanpa menggunakan bahan bakar¹.

Penggunaan sepeda sebagai alternatif sarana transportasi dapat membantu mengurangi polusi udara yang terjadi akibat proses pembakaran bahan bakar minyak (BBM). Lebih lanjut, penggunaan sepeda akan turut mengurangi konsentrasi gas CO₂ di atmosfer yang berpotensi meningkatkan konsentrasi gas-gas rumah kaca dan menyebabkan terjadinya pemanasan global (*global warming*)².

Pemanasan global (*global warming*) saat ini menjadi topik hangat di seluruh dunia. Hal ini disebabkan karena pemanasan global memberikan dampak yang sangat berbahaya bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Dampak tersebut di antaranya adalah kenaikan permukaan air laut yang akan sangat mempengaruhi ekosistem pantai, ketidakstabilan iklim yang menyebabkan peningkatan curah hujan, dan pergeseran ekosistem yang berdampak pada penyebaran berbagai penyakit melalui air (*waterborne diseases*) atau vektor (*vector-borne diseases*).

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. *Monitor Depok*. 2008, http://www.ui.edu/download/kliping/111108/Perangi_Pemanasan_dengan_Bersepeda.pdf

Universitas Indonesia, sebagai lembaga yang inovatif, terstruktur dan terorganisir senantiasa berkomitmen untuk mencari solusi-solusi atas tantangan dan permasalahan global, termasuk di dalamnya masalah pemanasan global (*global warming*). Dengan maksud itulah, Universitas Indonesia melakukan penataan jalur hijau di dalam lingkungan kampus untuk menjadikan kampus UI sebagai kampus hijau yang berwawasan lingkungan atau *green campus*.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mewujudkan *green campus* UI adalah melalui kebijakan penetapan sepeda dan bis kuning sebagai moda transportasi di dalam kampus. Dengan adanya kebijakan ini diharapkan penggunaan kendaraan pribadi di dalam kampus UI dapat berkurang sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran udara dan bahaya dari pemanasan global (*global warming*)³.

Selain melakukan penambahan jumlah bis kuning, untuk mendukung kebijakan tersebut, UI membangun jalur khusus sepeda di dalam kampus UI Depok. Dengan panjang total sekitar 20 km, jalur sepeda ini menghubungkan pusat-pusat kegiatan di UI secara *interconnected* atau saling terhubung. Jalur sepeda UI dilengkapi dengan stasiun, pos, tempat parkir, *water contain* (pengisian air minum) dan banyak unit sepeda sekaligus. Fasilitas sepeda yang berjumlah 1000 unit tersebut dapat digunakan oleh para sivitas akademika UI dengan sistem *free of charge* atau gratis.

Di lain pihak, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UI merancang suatu desain sepeda lipat yang diharapkan dapat digunakan oleh masyarakat luas nantinya. Namun, pembuatan sepeda lipat tersebut sampai saat ini masih belum didasari oleh penelitian ergonomi. Sebelum melakukan pengujian ergonomi terhadap kondisi umum masyarakat luas, perlu dilakukan analisa ergonomi terhadap sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UI dengan batasan kondisi yang adalah mengacu pada kondisi yang akan dihadapi saat menjadi alat transportasi di area kampus Universitas Indonesia. Hal ini dilakukan karena pengadaan sepeda kampus masih akan dilakukan secara berkelanjutan, dengan adanya produk sepeda yang dibuat oleh instansi yang berasal dari kampus

³ Jalur sepeda di UI, "Green Campus" melawan pemanasan global. *Seputar Indonesia*. 2008, http://www.ui.edu/download/kliping/120308/jalur_sepeda_di_ui_green_campus_melawan_pemanasan_global.pdf

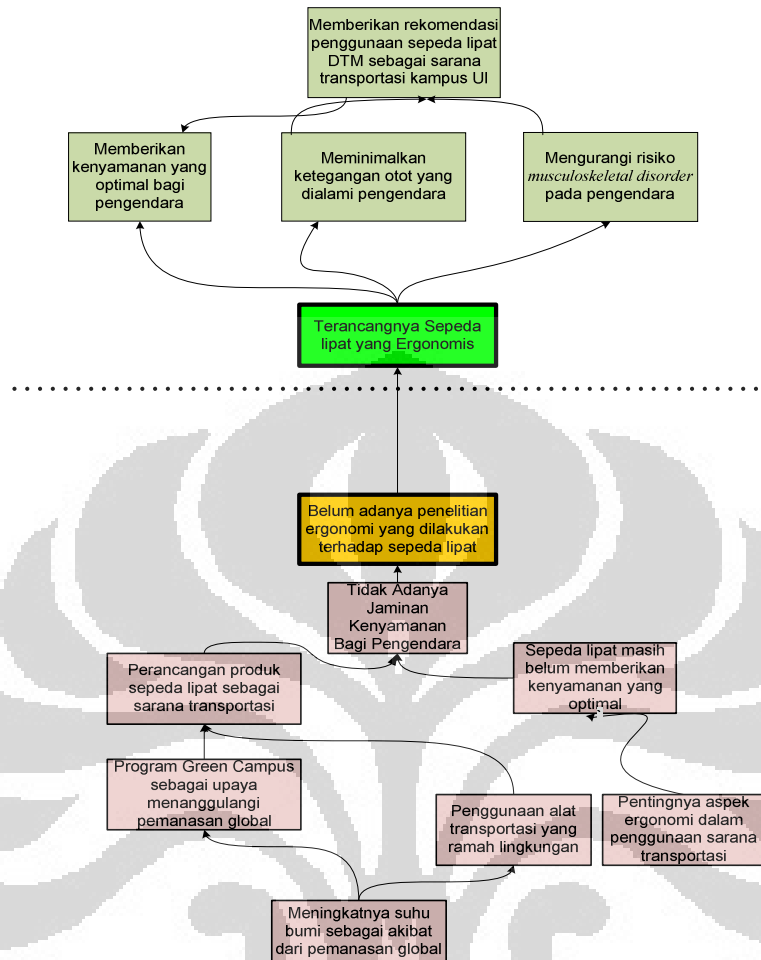
UI itu sendiri maka produk tersebut akan menjadi prioritas untuk dipilih dalam pengadaan sepeda kampus berikutnya. Hal ini tentunya dilakukan dengan salah satu syarat adalah analisa ergonomi yang diberikan terhadap sepeda lipat memberikan hasil yang baik dibandingkan sepeda kampus yang telah ada sekarang.

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 dipakai. Analisis aspek ergonomis yang akan dilakukan terhadap sepeda lipat mempertimbangkan dua komponen penting dalam desain sepeda yang berhubungan erat dengan pengendaranya, yaitu stang (*handlebar*) dan bangku (*saddle*).

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software Jack sehingga analisis yang dihasilkan akan diperoleh dari software tersebut. Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat diketahui penilaian terhadap postur pengendara pria saat mengendarai sepeda lipat tersebut sudah baik atau belum serta konfigurasi desain yang lain akan memberikan hasil yang lebih baik atau tidak.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Masalah-masalah dalam penelitian ini digambarkan pada diagram keterkaitan masalah, yang ditampilkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah Analisis Ergonomi Sepeda Lipat terhadap Pengendara Pria dengan PEI pada *Virtual Environment Modeling*

1.1 Perumusan Permasalahan

Berdasarkan diagram keterkaitan masalah di atas, maka permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah belum adanya penelitian ergonomi terhadap sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UI guna memberikan kenyamanan yang optimal bagi pengendaranya sehingga hipotesa awal yang akan diuji dalam penelitian ini adalah sepeda lipat belum memenuhi standar aspek ergonomi dan memberikan kenyamanan bagi pengendaranya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penyusunan penelitian ini adalah

1. Menganalisis sisi ergonomis dari sepeda lipat dengan kondisi spesifikasi aktual serta sepeda lipat dengan konfigurasi desain lainnya.
2. Memperoleh hasil berupa rancangan desain sepeda lipat yang paling ergonomis dan nyaman bagi pengendaranya dibandingkan dengan konfigurasi desain sepeda lipat lainnya.
3. Memperoleh hasil analisis kelayakan sepeda lipat Departemen Teknik Mesin FT-UI untuk menggantikan sepeda UI sebagai sarana transportasi UI ditinjau dari aspek ergonomi.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan pelaksanaannya. Adapun batasan masalahnya antara lain:

1. Objek utama yang akan diamati adalah sepeda lipat prototype 1 yang dibuat oleh Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UI.
2. Observasi antropometri terhadap pengendara dilakukan terhadap pengendara yang terdiri dari mahasiswa 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 rancangan desain sepeda lipat yang ergonomis merupakan hasil dari simulasi human modeling dengan menggunakan software jack di mana data-data yang dimasukkan merupakan hasil dari observasi langsung terhadap objek-objek yang terdapat dalam simulasi tersebut.

1.5 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan, maka keseluruhan kegiatan penelitian dirancang untuk mengikuti diagram alir seperti tampak pada Gambar Secara umum, metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Tahap Pendahuluan

1. Persiapan dan koordinasi riset
2. Identifikasi kebutuhan objektif

2. Tahap Pengumpulan Data

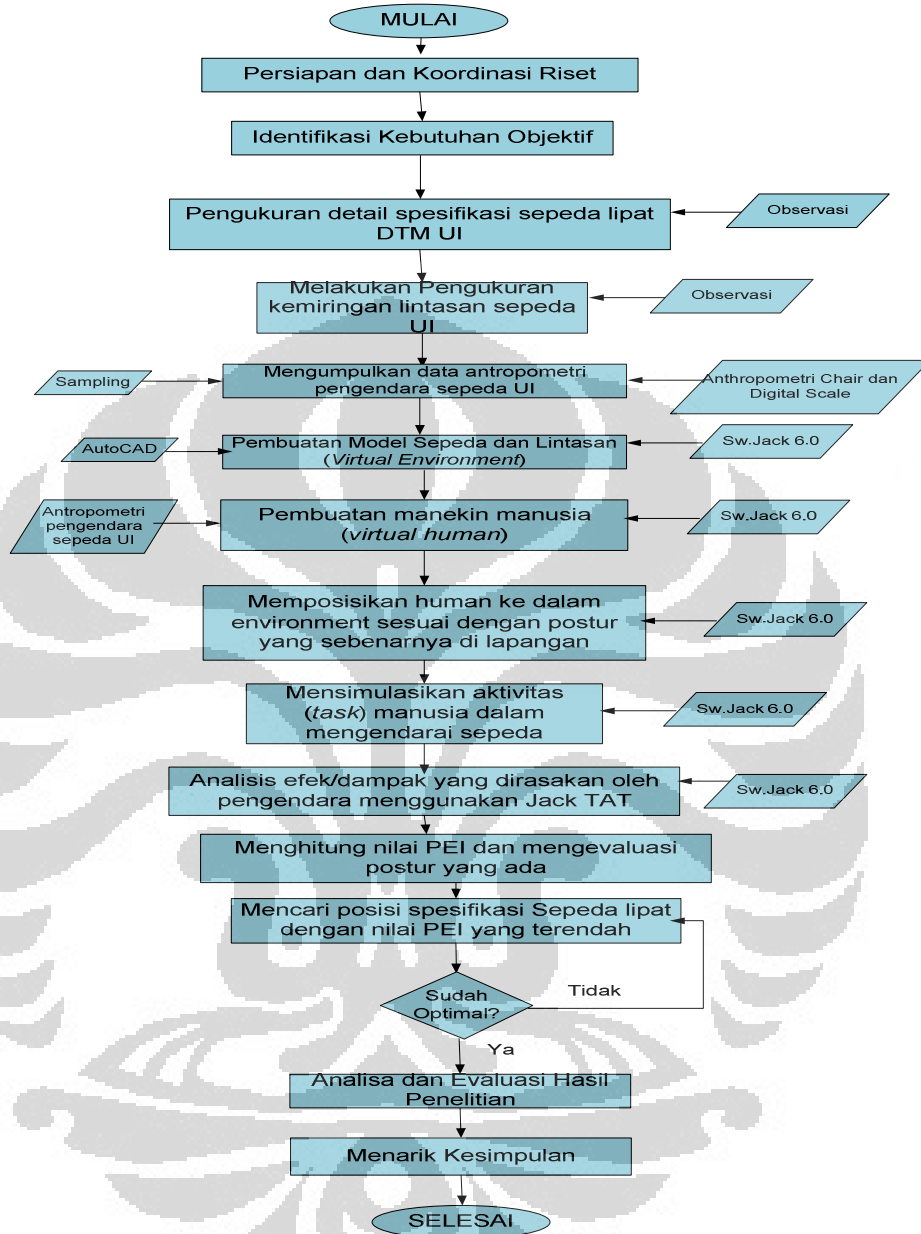
Pada tahap ini dicari dan dikumpulkan data berupa data-data variabel apa saja yang diperlukan. Pada tahap ini dilakukan pengukuran spesifikasi standar sepeda yang digunakan, kemudian pemetaan kondisi lintasan (kemiringan) yang ada, serta mengumpulkan data antropometri tubuh sivitas akademika UI sebagai pengguna sepeda.

3. Tahap Pengolahan dan Analisis Data

1. Membuat model sepeda yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang ada
2. Membuat model kondisi lintasan yang digunakan
3. Membuat manekin manusia sebagai pengguna sepeda sesuai data antropometri yang diperoleh
4. Memasukkan model sepeda, lintasan, dan manusia ke dalam software Jack 6.0
5. Mensimulasikan penggunaan sepeda dengan menggunakan software Jack 6.0.
6. Menganalisis dampak/efek penggunaan sepeda dalam kondisi saat ini
7. Mencari posisi optimal dalam menggunakan sepeda dengan menggunakan software Jack 6.0

4. Tahap Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat maka akan dapat disimpulkan posisi optimal dalam mengendarai sepeda lipat sehingga bisa menjadi dasar pertimbangan dalam proses pengembangan desain sepeda lipat.



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian Analisis Ergonomi Sepeda lipat terhadap Pengendara Pria dengan PEI dalam Virtual Environment Modeling

1.6 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, antropometri, *musculoskeletal disorder*, *virtual environment*, dan perkembangan sepeda lipat itu sendiri di dunia.

Bab III berisi tentang pengumpulan data yang telah dilakukan meliputi data spesifikasi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (UI), data antropometri mahasiswa, 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 serta perancangan model dengan menggunakan *software Jack* guna memberikan hasil analisa ergonomi dari sepeda lipat DTM UI yang telah ada

Bab IV akan berisi tentang analisis terhadap konfigurasi desain sepeda lipat berdasarkan eksperimen menggunakan *software jack* untuk mencari spesifikasi sepeda lipat yang paling ergonomis bagi pengendaranya.

Bab V akan menyajikan uraian mengenai kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian.

BAB 2

TINJAUAN LITERATUR

Dalam bab ini, dijelaskan tentang teori-teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan tentang Analisa ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia terhadap pengendara Pria. Teori-teori dasar pada bab ini berisi tentang ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorder*, *virtual environment*, dan perkembangan sepeda lipat itu sendiri di dunia.

2.1 Ergonomi

2.1.1 Definisi Ergonomi

Ergonomi berasal dari Bahasa Yunani yaitu merupakan gabungan dari kata “*ergos*” (kerja) dan “*nomos*” (aturan)⁴. Ergonomi adalah ilmu yang mempelajari perilaku manusia dengan kaitannya dengan pekerjaan mereka. Penelitian ergonomi mencakup manusia pada saat bekerja atau menggunakan alat dengan lingkungannya. Secara singkat dapat dikatakan bahwa ergonomi ialah penyesuaian tugas pekerjaan dengan kondisi tubuh manusia untuk menurunkan ketegangan yang akan dihadapi⁵.

Ergonomi berkenaan dengan optimasi, efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan manusia di tempat kerja. Di dalam ergonomi dibutuhkan studi tentang sistem di mana manusia, fasilitas, kerja dan lingkungannya saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusianya. Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (desain) ataupun rancang ulang (re-desain). Hal ini dapat meliputi perangkat keras misalnya perkakas kerja, bangku kerja, platform, kursi, pegangan alat kerja, sistem pengendali, alat peraga, jalan, pintu, jendela, dan lain-lain serta berkaitan dengan rancang bangun lingkungan kerjanya.

Ergonomi dapat berperan pula sebagai desain pekerjaan pada suatu organisasi misalnya penentuan jumlah jam istirahat, pemilihan jadwal pergantian

⁴ Helander, Martin. *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). Taylor & Francis e-Library. London, 2006, hal.3.

⁵ Bridger, R.S. *Introduction to ergonomics*. Taylor & Francis Group, London, 2003, hal.1

waktu kerja, meningkatkan variasi pekerjaan, dan lain-lain. Ergonomi dapat pula berfungsi sebagai desain perangkat lunak karena dengan semakin banyaknya pekerjaan yang berkaitan erat dengan komputer. Bentuk ergonomi dalam perangkat lunak adalah penyampaian informasi dalam suatu sistem komputer harus diusahakan sekompatibel mungkin sesuai dengan kemampuan pemrosesan informasi oleh manusia.

Di samping itu, ergonomi juga memberikan peranan penting dalam meningkatkan faktor keselamatan dan kesehatan kerja misalnya desain suatu sistem kerja untuk mengurangi rasa nyeri dan risiko cedera pada sisten kerangka dan otot manusia. Hal itu adalah untuk mengurangi ketidaknyamanan visual dan postur kerja, desain suatu perkakas kerja untuk mengurangi kelelahan kerja, desain suatu peletakan instrument dan sistem pengendali agar didapat optimasi dalam proses transfer informasi dengan dihasilkannya suatu respon yang cepat dengan meminimumkan risiko kesalahan, serta supaya didapatkan optimasi, efisiensi kerja dan hilangnya risiko kesehatan akibat metode kerja yang kurang tepat.

Penerapan faktor ergonomi lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah untuk desain dan evaluasi produk. Produk-produk ini haruslah dapat dengan mudah diterapkan pada sejumlah populasi masyarakat tertentu tanpa mengakibatkan bahaya atau risiko dalam penggunaannya.

2.1.2 Jenis Ergonomi

Disiplin ilmu ergonomi sendiri terbagi menjadi 3 berdasarkan spesifikasi atribut manusia dan interaksi manusia, yaitu:

- Ergonomi fisik.

Menitikberatkan pada anatomi manusia, antropometri, karakteristik fisiologikal dan biomekanik yang berhubungan dengan aktivitas fisik. Topik-topik yang relevan dengan ergonomi fisik antara lain postur kerja, penanganan material, gerakan yang berulang, muskoleskeletal disorder, layout tempat kerja, serta keselamatan dan kesehatan kerja. Ergonomi fisik juga menekankan pada lingkungan fisik di sekitar berpengaruh terhadap performa kerja. Ergonomi fisik adalah memahami efek dari aspek-aspek seperti panas, cahaya, suara

bising, debu, dan zat-zat kimia di lingkungan kerja terhadap manusia di mana sebagian adalah efek berbahaya dari aspek tersebut. Langkah selanjutnya adalah merancang suatu lingkungan yang tidak berbahaya bagi manusia dan membuatnya merasa nyaman saat bekerja.

- Ergonomi kognitif.

Menitikberatkan pada proses mental seperti persepsi, memori, dan respon motorik dan pengaruhnya terhadap interaksi antara manusia dan elemen lain dalam sistem. Topik-topik yang relevan terhadap ergonomi kognitif antara lain beban kerja mental, pengambilan keputusan, performa keahlian, interaksi manusia-komputer, kehandalan manusia, ketegangan kerja, dan pelatihan yang berhubungan dengan desain manusia dengan sistem. Ergonomi kognitif juga menarik dalam hal seberapa lama elemen-elemen dapat bekerja sehingga mereka dapat diganti giliran (*shift*) sebelum kemungkinan mereka akan melakukan kesalahan mulai meningkat.

- Ergonomi organisasi

Menitikberatkan pada optimasi sistem sosioteknik meliputi struktur, kebijakan, dan proses dalam organisasi. Topik-topik yang relevan meliputi komunikasi, manajemen sumberdaya manusia, desain kerja, desain dari waktu kerja, kerja tim, ergonomi komunitas, kerja sama, paradigma kerja baru, budaya organisasi, organisasi maya, dan manajemen kualitas. Tujuan akhir dari ergonomi organisasi adalah mengatur agar manusia dan pekerjaan dapat memberikan efek yang terbaik.

2.2 Antropometri

Antropometri adalah cabang dari ergonomi yang berhubungan dengan ukuran, bentuk tubuh, kekuatan, dan kapasitas kerja manusia. Antropometri berasal dari bahasa Yunani yaitu Antopos (manusia) dan metron (mengukur). Manusia memiliki beraneka ragam bentuk dan ukuran sehingga perlu diambil karakteristik fisik untuk diperhitungkan saat merancang alat maupun ruang kerja yang akan digunakan oleh manusia tersebut⁶.

⁶Pheasant, Stephen, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work 2nd Edition*. USA: Taylor & Francise, 2003.

Langkah awal dari penyusunan data antropometri adalah menentukan populasi pengguna yang kemudian akan diambil sampel ukuran bagian-bagian tubuhnya. Jumlah populasi yang diambil dapat ditentukan melalui pendekatan statistik sehingga akan diperoleh jumlah sampel yang cukup memenuhi validitas data. Memilih sumber data antropometri dapat dibagi berdasarkan berbagai macam kriteria yaitu jenis kelamin, umur, kewarganegaraan, dan pekerjaan yang akan dipilih berdasarkan kepentingannya. Jika target populasi mencakup anak-anak maka umur menjadi prioritas utama. Standar yang umum digunakan dalam pengambilan data antropometri adalah nilai persentil karena tidak adanya ukuran rata-rata dalam manusia disebabkan tidak adanya korelasi yang sempurna antara dimensi-dimensi pada tubuh manusia. Parameter pengukuran yang digunakan dalam membuat rancangan maksimum dan minimum adalah persentil 95 dari data ukuran tubuh laki-laki dan persentil 5 dari data ukuran tubuh perempuan. kedua persentil ini ditetapkan agar mampu mendistribusi secara merata data populasi akan karakteristik tubuh yang dimiliki.

Kepuasan bagi pengguna berupa kenyamanan maupun kesehatan yang ditinjau dari sudut pandang ilmu anatomi, fisiologi, psikologi, kesehatan dan keselamatan kerja, perancangan dan manajemen. Dalam rangka untuk mendapatkan suatu perancangan yang optimum dari suatu ruang dan fasilitas akomodasi maka hal-hal yang harus diperhatikan adalah faktor-faktor seperti panjang dari suatu dimensi tubuh manusia baik dalam posisi statis maupun dinamis. Hal lain yang perlu diamati adalah seperti misalnya berat dan pusat massa (*centre of gravity*) dari suatu segmen/bagian tubuh, bentuk tubuh, jarak untuk pergerakan melingkar dari tangan dan kaki, dan lain-lain.

Antropometri terbagi menjadi dua, yaitu:

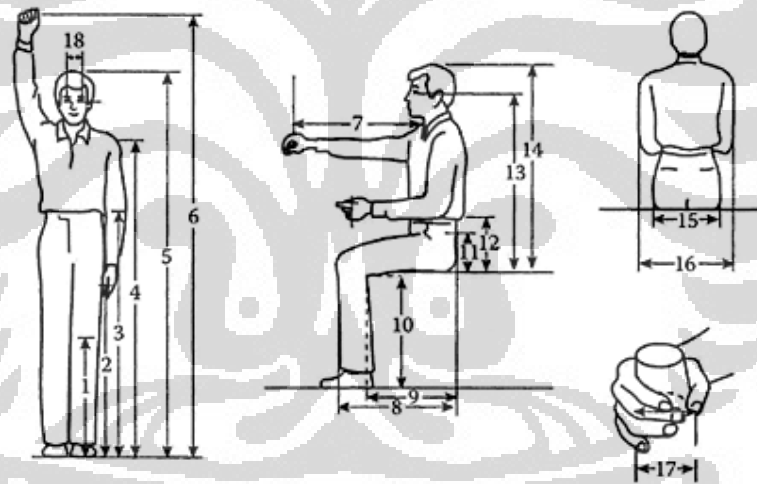
1. Antropometri statis.

Antropometri statis adalah perhitungan yang diambil ketika tubuh berada pada posisi tetap (statis). Dimensi yang mencakup ke dalam antropometri statis ini meliputi dimensi skeleton (antara pusat sendi; seperti yang ada di antara siku dan pergelangan) atau dimensi kontur (dimensi permukaan kulit seperti yang berada di sekitar kepala). Pengukuran tubuh ini bermacam-macam dan dapat

dibedakan menjadi beberapa fungsi, seperti umur, kelamin, dan populasi dengan etnis yang berbeda (Stoudt, 1981). Perbedaan dimensi juga dapat ditemukan pada setiap orang sesuai pekerjaan yang mereka lakukan. Hal ini dapat terjadi karena adanya aktivitas fisik yang dilakukan berulang, sehingga mampu memberikan hasil yg berbeda pada setiap postur tubuh manusia.

2. Antropometri dinamis.

Pengukuran pada dimensi dinamis dilakukan ketika tubuh melakukan aktivitas fisik. Pada sebagian besar aktivitas fisik (baik itu ketika mengoperasikan roda stir, merakit alat pengebak tikus, atau ketika menggapai sisi lain meja untuk mengambil botol garam) setiap anggota tubuh berfungsi secara bersamaan. Dalam pengukuran dimensi dinamis, biasanya dilakukan pengambilan data dari tiga sudut pandang: tampak depan, samping, dan tampak atas.



Gambar 2.1 Pengukuran Antropometri

(Sumber: Helander, 2006, p.154)

Keterangan **Gambar 2.1** adalah sebagai berikut:

- 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 terjangkau 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 genggam tangan (*grip breadth*)
- 18 = jarak antara dua pupil mata (*interpupillary distance*)

2.3 Musculoskeletal Disorder

Keluhan muskuloskeletal adalah keluhan sakit, nyeri, pegal-pegal dan lainnya pada sistem otot (muskuloskeletal) seperti tendon, pembuluh darah, sendi, tulang, syaraf dan lainnya yang disebabkan oleh aktivitas kerja. Keluhan muskuloskeletal 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 bekerja, menimbulkan kelelahan dan pada akhirnya akan menurunkan produktivitas.

Untuk itu diperlukan suatu upaya pencegahan dan minimalisasi timbulnya MSD di lingkungan kerja. Pencegahan terhadap MSD akan memperoleh manfaat berupa, penghematan biaya, meningkatkan produktivitas dan kualitas kerja serta meningkatkan kesehatan, kesejahteraan dan kepuasan kerja karyawan.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya keluhan musculoskeletal:

- Tekanan/gaya pada otot yang berlebihan.
- *Awkward Posture* (postur kerja yang tidak benar)
- Terjadinya pengulangan-pengulangan pekerjaan pada satu otot
- Lamanya paparan yang diterima oleh otot

Kekuatan otot dan keluhan pada otot merupakan salah satu indikator untuk mengevaluasi penerapan ergonomi. Faktor- pekerjaan yang mempengaruhi kekuatan otot dan menimbulkan keluhan otot adalah:

- 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

Di samping ke tujuh faktor tersebut di atas 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 Armstrong, yaitu⁷:

⁷ Cermin Dunia Kedokteran No.136, 2002, hal. 19.

- a. Gerakan berulang (*repetitive*)
 1. Gunakan bantuan mekanis atau dengan otomatisasi mesin, misalnya dalam pengemasan barang, gunakan lebih banyak bantuan alat daripada tangan.
 2. Analisa 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 genggaman 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 (fleksi ke depan) $30-40^{\circ}$, fleksi siku atau ekstensi $>20^{\circ}$, hindari gerakan yang sering memutar leher.
 3. Posisi pergelangan tangan harus selalu netral, dengan membuat pekerjaan lebih mudah dijangkau.
- d. Tekanan mekanis
 1. Mengalasi atau memberi bantalan pada pegangan perkakas yang digunakan, panjangkan atau lebarkan perkakas sesuai dengan genggaman, 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.

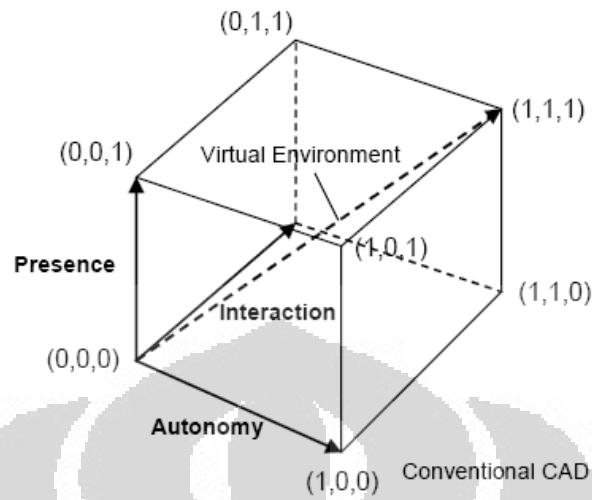
2.4 *Virtual Environment*

Perkembangan teknologi grafis dan *software* komputer yang begitu cepat memungkinkan dibuatnya gambar-gambar digital, yang merupakan visualisasi dari kondisi lingkungan sebenarnya. Perkembangan ini telah mengubah proses perancangan dengan komputer, dari dua dimensi menjadi tiga dimensi, sehingga visualisasi menjadi semakin nyata. *Virtual environment* (VE) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu representasi yang memungkinkan penggunaannya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis sesuai dengan lingkungan nyata. Istilah *virtual environment* mempunyai makna yang sama dengan istilah *virtual reality* yang diciptakan oleh Jaron Lanier. Namun, istilah *virtual reality* lebih familiar bagi publik)⁸. Istilah tersebut menggambarkan sesuatu yang walaupun tidak nyata dalam hal fakta, namun nyata dalam hal efek dan dapat dipertimbangkan sebagai fakta untuk tujuan tertentu⁹.

Dalam *virtual reality* terdapat tiga buah komponen; otonomi, keberadaan, dan interaksi yang kesemuanya berada pada nilai maksimalnya dalam kubus Zelter. Gambar 2.2 menunjukkan dimensi dari *virtual reality*.

⁸ Kalawsky, R. *The science of virtual reality and virtual environments*. Addison-Wesley Publishing Company, 1993, hal.396

⁹ Wilson, J.R. Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. *Applied Ergonomics*, 1997, hal.1057-1077.



Gambar 2.2 Kubus Zelter untuk Konsep *Virtual Reality*
(Sumber: Kalawsky, 1993)

Berdasarkan Zelzer pada tahun 1992¹⁰:

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

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

¹⁰ Määttä, Timo. *Virtual environmentsin machinery safety analysis*. VTT Technical Research Centre of Finland, Finlandia, 2003, hal.44.

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

Secara umum, sistem *virtual environment* dapat dibagi menjadi Desktop VE, *augmented reality*, dan *visually coupled display systems*. Desktop VE merupakan bagian dari sistem tradisional VE yang memiliki gambar 3-D dengan kaca kecil dan *shutter LCD (liquid crystal display)*. Dalam *augmented reality* digunakan *head-mounted displays* yang transparan, sehingga memungkinkan pengguna untuk berada dalam dunia *virtual* dan dunia nyata secara bersamaan. Sementara itu, dalam *visually coupled displays system*, *display* diletakkan langsung di depan mata pengguna, dan *immersion* diperoleh melalui *head-mounted displays* (Määttä, 2003, p.48).

Lapangan aplikasi dari *virtual environment* (VE) sangatlah luas (Määttä, 2004). Beberapa diantaranya adalah:

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

Berikut ini adalah contoh penggunaan *Virtual Environment* yang berhubungan langsung dengan kajian ergonomi yang bernilai positif bagi kesehatan dan keselamatan kerja (Wilson, 1995, p. 306-317):

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

2.5 Software Jack 6.0

Sebuah teknologi *human modeling and simulation*, Jack merupakan salah satu aplikasi dari *virtual environment*. Jack membantu berbagai organisasi dalam berbagai industri untuk meningkatkan aspek ergonomis dari perancangan produk mereka, serta memperbaiki lingkungan kerja maupun aktivitas manusia dalam bekerja agar menjadi lebih ergonomis. Jack mengintegrasikan *virtual environment* dengan *virtual human* untuk menganalisis aspek ergonomi dalam kerja maupun perancangan produk. Dalam Jack, *virtual environment* bisa dibangun dengan cara memasukkannya dari data 3D CAD yang sudah ada, maupun dengan cara membuat konsepnya secara manual di dalam Jack itu sendiri. Kemudian dalam lingkungan virtual tersebut dapat diletakkan *digital human model* yang dapat menggambarkan populasi sebenarnya dalam lingkungan nyata. Model manusia tersebut dibuat berdasarkan database antropometri standar maupun *customized*. Setelah *virtual environment* dan *virtual human* dibuat, maka Jack bisa mensimulasikan interaksi antara keduanya, serta kemudian menganalisis dan mengevaluasi apa yang dirasakan oleh *virtual human* setelah melakukan aktivitas tertentu dalam *virtual environment* tersebut dari aspek ergonominya. Sehingga hasil analisis dan evaluasi ini diharapkan menjadi dasar pertimbangan dalam

memperbaiki proses kerja, lingkungan kerja, maupun perancangan produk agar menjadi lebih ergonomis.

Hasil analisis serta informasi yang diperoleh dari penggunaan software Jack dapat digunakan untuk merancang dan memperbaiki proses kerja, lingkungan kerja, maupun evaluasi produk agar lebih aman dan ergonomis saat digunakan.



Gambar 2.3 Tampilan Jack
(Sumber: Software Jack)

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menggunakan *software* Jack 6.0 adalah sebagai berikut¹¹:

1. Membangun sebuah lingkungan *virtual* (*virtual environment*)
2. Membuat model manusia (manekin)
3. Memposisikan model manusia ke dalam lingkungan *virtual* (*virtual environment*)
4. Memberikan tugas kepada model manusia (manekin)
5. Menganalisis kinerja model manusia (manekin)

Software Jack 6.0 dilengkapi dengan fasilitas *Task Analysis toolkits* (TAT) yang dapat membantu dalam proses analisis kinerja model manusia yang telah dibuat. Jack *Task Analysis Toolkits* (TAT) terdiri dari:

1. *Low back analysis tool*
2. *Static strength prediction*

¹¹ http://www.ugs.com/products/tecnomatix/docs/fs_tecnomatix_jack.pdf.

3. *National institute for occupational safety and health (NIOSH)*
4. *Metabolic energy*
5. *Fatigue recovery*
6. *Ovako working posture analysis (OWAS) tool*
7. *Rapid upper limb assessment (RULA)*
8. *Manual handling limits*
9. *Predetermined time*

2.6 Metode Penilaian Risiko Ergonomi Dengan Software Jack

2.6.1 Low Back Analysis

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 (*National Institute for Occupational Safety and Health*). *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 belakang¹².

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 berikut (*Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*, hal.1):

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM \dots \dots \dots (2.1)$$

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

- HM, faktor "*Horizontal Multiplier*"
- VM, faktor "*Vertical Multiplier*"
- DM, faktor "*Distance Multiplier*" atau faktor pengali jarak

¹² Di Gironimo, G., Monacellia, G., dan Patalano, S. *A design methodology for maintainability of automotive components in virtual environment*. 2004, hal.4.

- FM, faktor "*Frequency Multiplier*" atau faktor pengali frekuensi
- AM, faktor "*Asymmetric Multiplier*"
- CM, faktor "*Coupling Multiplier*"

Tabel 2.1 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: NIOSH Document, 1998)

Tabel 2.2 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: NIOSH Document, 1998)

Tabel 2.3 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: NIOSH Document, 1998)

Tabel 2.4 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: NIOSH Document, 1998)

Tabel 2.5 Frecuency 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: NIOSH Document, 1998)

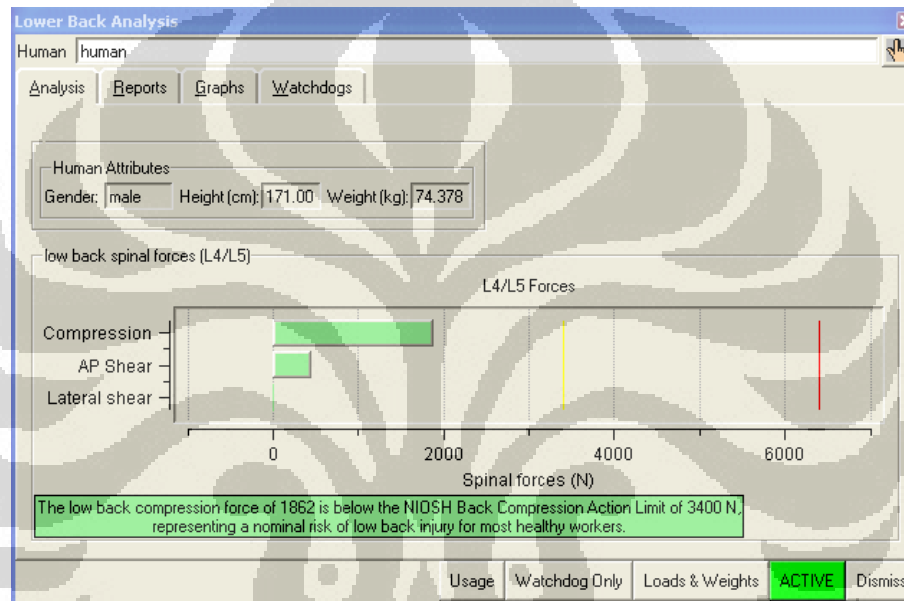
Dengan adanya analisa LBA tersebut, tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- Menentukan apakah desain tempat kerja yang sudah ada sesuai dengan petunjuk NIOSH atau mengeksploitasi pekerja yang dapat meningkatkan risiko cedera pada tulang belakang
- Mengevaluasi pekerjaan yang dilakukan secara real time sehingga dapat diketahui pada momen apa dalam kegiatan tersebut di mana gaya yang bekerja pada tulang belakang pekerja telah melebihi batas gaya yang direkomendasikan oleh NIOSH

Low back analysis biasa digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah di bawah ini:

- Mendesain tempat kerja dan gerakan yang meminimalisir risiko cedera tulang belakang

- Mengevaluasi gerakan dalam pekerjaan yang telah ada untuk menentukan risiko cedera tulang belakang pada gerakan tersebut serta kesesuaian dengan petunjuk NIOSH
- Memprioritaskan gerakan yang perlu mendapat perhatian paling lebih untuk dilakukan modifikasi ergonomi
- Menjalankan skenario konfigurasi tertentu dengan memodifikasi pekerjaan pada variabel-variabel yang ada dengan kondisi postur dan beban tertentu



Gambar 2.4 Tampilan Hasil LBA pada Jack
(Sumber: Software Jack)

2.6.2 Static Strength Prediction

SSP adalah sebuah *tool* yang digunakan untuk mengevaluasi persentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Evaluasi yang dilakukan SSP dilakukan dengan mempertimbangkan postur, tenaga yang dibutuhkan dan antropometri. Prinsip dasar SSP adalah¹³:

$$[\text{Each Joint Load Moment}] < [\text{Population Strength Moments}]$$

(Predicted from model) (Statistically defined norms)

¹³ Chaffin, Don B., Lawton G., dan Johnson, Louise G. *Some biomechanical perspectives on musculoskeletal disorders: causation and prevention*. University of Michigan. 2003.

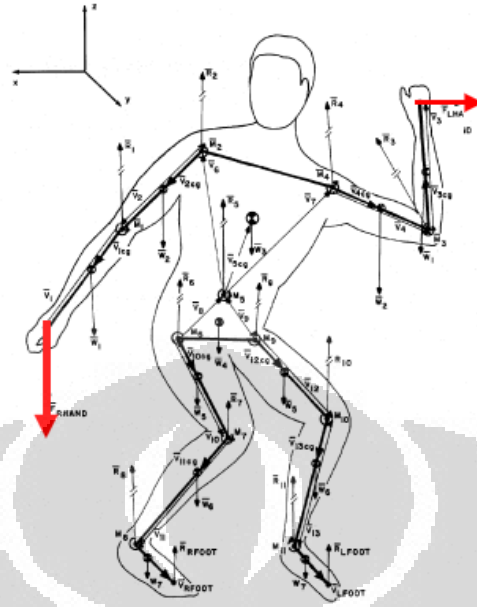
SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika tersebut adalah dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit (fungsi tulang) dan bergerak (fungsi otot). Pergerakan otot akan membuat tulang untuk cenderung berotasi pada setiap persendian yang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

$$M_j = S_j \dots\dots\dots (2.3)$$

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

- beban yang dialami tangan (contohnya: beban mengangkat, gaya dorong, dan lain-lain)
- postur kerja ketika seseorang mengeluarkan usaha terbesarnya
- antropometri seseorang

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul maka data-data tersebut dioleh dengan mekanika Newton. Gaya yang didapatkan tubuh dari luar akan dikalikan dengan jarak antara titik tempat tubuh menerima gaya luar tersebut dengan persendian. Yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Gambar 2.6 adalah model biomekanika manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan suatu aktivitas.



Gambar 2.5 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya Pada Persendian

(Sumber: Chaffin, Don B., Lawton G., dan Johnson, Louise G, 2003)

Manfaat yang dapat diperoleh dengan menggunakan *static strength prediction* adalah sebagai berikut:

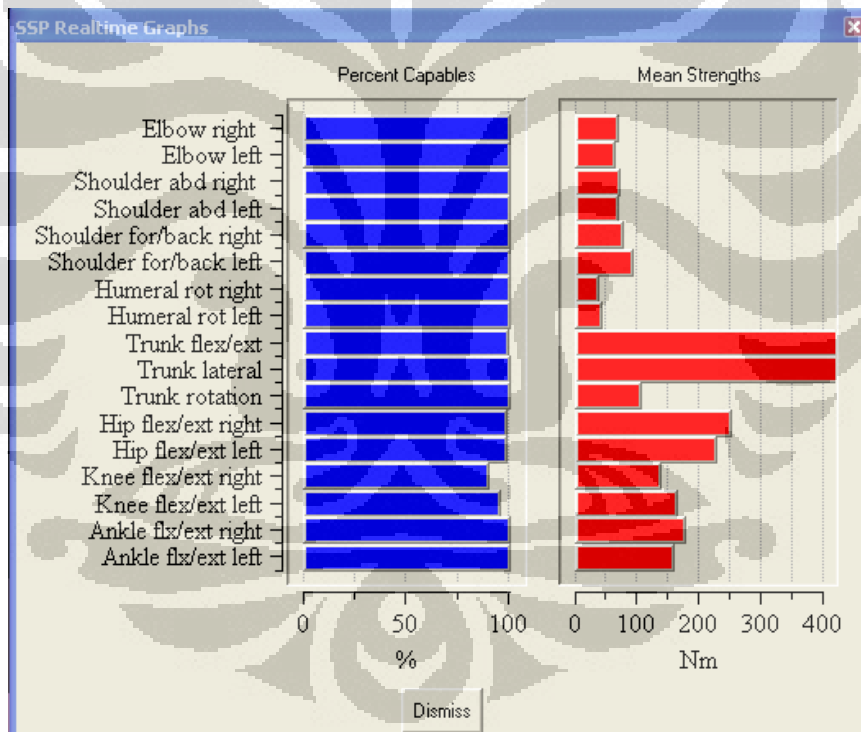
- Membantu dalam menganalisa kegiatan penanganan material meliputi mengangkat, menurunkan, mendorong dan menarik yang membutuhkan gaya tangan yang kompleks, simpul dan lekukan torso
- Memprediksi persentase laki-laki dan perempuan yang memiliki kemampuan untuk melakukan pekerjaan tersebut
- Mengevaluasi pekerjaan secara real time, mengetahui postur di kegiatan mana yang beban kerjanya melebihi NIOSH atau batasan kemampuan dari kekuatan pengguna

Static strength prediction dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah sebagai berikut:

- Menganalisa kapan setiap pekerja akan memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan tersebut
- Mengidentifikasi kegiatan dari suatu pekerjaan di mana kebutuhan akan kekuatannya melebihi kemampuan dari populasi pekerja

- Menjalankan skenario konfigurasi dengan mengubah variabel-variabel yang ada yang dapat mempengaruhi kemampuan kekuatan postur serta beban di tangan
- Mendemonstrasikan postur yang sesuai dengan pekerjaan kepada pekerja

Informasi yang dapat diperoleh dari *static strength prediction* antara lain persentase dari pekerja yang diharapkan memiliki kemampuan untuk melakukan kegiatan spesifik tersebut; sudut dari anggota tubuh untuk sikut, bahu, rotasi humeral, pinggul, lutut, pergelangan kaki serta sudut anggota tubuh untuk lekukan fleksi, rotasi, dan lateral; torsi dari anggota tubuh yang sejalan dengan efek pada otot (fleksi, ekstensi, abduksi, dan aduksi), rata-rata kekuatan populasi, dan standar deviasi kekuatan.



Gambar 2.6 Tampilan Hasil SSP pada Jack

(Sumber: Software Jack)

2.6.3 NIOSH Lifting Analysis

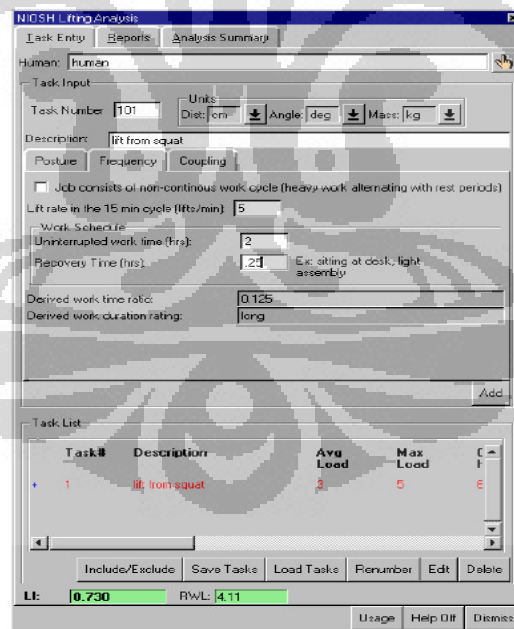
Metode NIOSH *Lifting Analysis* adalah metode untuk membantu evaluasi secara simetris dan asimetris terhadap posisi mengangkat beban (*lifting task*),

termasuk ketika mengangkat dengan posisi antara beban dan tangan yang tidak optimal. Metode dalam NIOSH terdiri dari:

- Memberikan nilai beban yang ideal menurut suatu kondisi postur kerja, yang diukur menurut kemampuan pekerja dengan kondisi ideal untuk mengangkat suatu beban secara aman pada suatu jangka waktu yang tertentu
- Memberikan perkiraan relatif dari tingkat tekanan yang diterima oleh tubuh berkaitan dengan pekerjaan mengangkat suatu beban

Metode NIOSH dapat digunakan untuk beberapa hal seperti: mendesain manual posisi angkat beban yang ideal atau sebagai pedoman untuk merancang ulang kegiatan mengangkat beban yang telah ada, memberikan perkiraan mengenai ukuran relatif besarnya tekanan yang diterima tubuh yang dibutuhkan untuk suatu pekerjaan, serta memberikan prioritas manual kerja yang membutuhkan modifikasi secara ergonomis.

Hasil analisa NIOSH berupa dialogue box yang menampilkan *recommended weight limit (RWL)*, *lifting index (LI)* dan juga *cumulative lifting index (CLI)*.

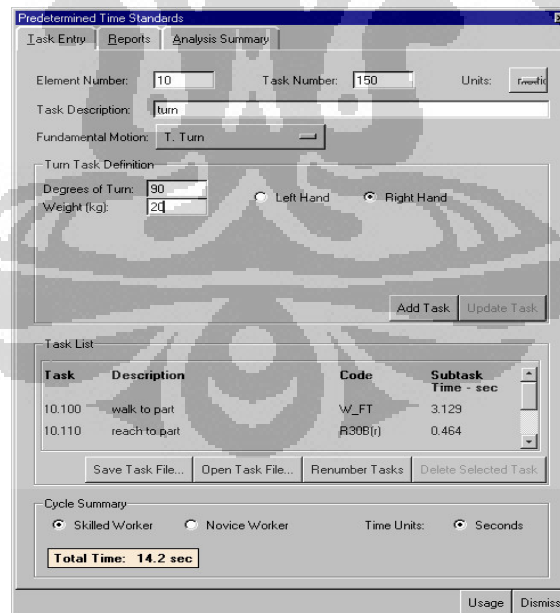


Gambar 2.7 Tampilan Hasil NIOSH pada Jack
(Sumber: Software Jack)

2.6.4 Predetermined Time Analysis

Merupakan tool yang dapat memprediksi waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu pekerjaan dengan membagi pekerjaan tersebut menjadi serangkaian gerakan yang telah ditentukan durasinya berdasarkan methods-time measurement (MTM-1). Dengan menggunakan tool ini maka kita dapat :

- Memprediksi apakah pekerja dapat melaksanakan pekerjaan dalam siklus waktu yang ditentukan
- Mendefinisikan tugas manual dan peralatan yang dibutuhkan untuk mencapai siklus waktu yang optimal
- Mengidentifikasi rangkaian gerakan kerja yang memiliki pengaruh terbesar bagi siklus waktu kerja dan meninjau bagaimana pengaruh perubahan karakteristik gerakan kerja dapat mempengaruhi siklus kerja secara keseluruhan
- Membandingkan alternatif desain kerja berdasarkan siklus waktu kerja yang dibutuhkan



Gambar 2.8 Tampilan Hasil Predetermined Time pada Jack
(Sumber: Software Jack)

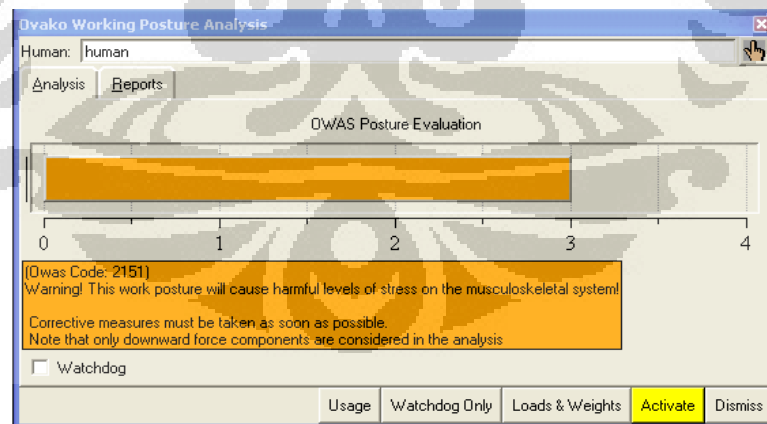
2.6.5 Ovako Working Posture Analysis (OWAS)

OWAS menyediakan metode yang sederhana untuk melakukan pengecekan dengan cepat kenyamanan postur pekerja dan menentukan tingkat kepentingan dari pengambilan tindakan korektif. Ada beberapa manfaat yang dapat diperoleh dengan menggunakan OWAS, antara lain:

- Mengevaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur bekerja berdasarkan atas posisi penggung, tangan dan lengan, sejalan dengan kebutuhan dari beban
- Memberikan nilai untuk postur yang dievaluasi yang mengindikasikan tingkat kepentingan dari pengambilan tindakan korektif untuk mengurangi potensi postur tersebut mengeksploitasi pekerja untuk cidera

Masalah-masalah yang dapat diselesaikan dengan OWAS adalah sebagai berikut:

- Memberikan penilaian dengan cepat terhadap postur pekerja sebagai acuan dalam menentukan potensi dari pekerja mengalami risiko cidera
- Merancang desain dari gerakan pekerjaan untuk menghasilkan tempat kerja yang lebih nyaman dan meningkatkan kualitas produksi
- Mengidentifikasi dan memberikan prioritas postur bekerja yang membutuhkan perhatian paling utama untuk dilakukan modifikasi ergonomi di dalamnya



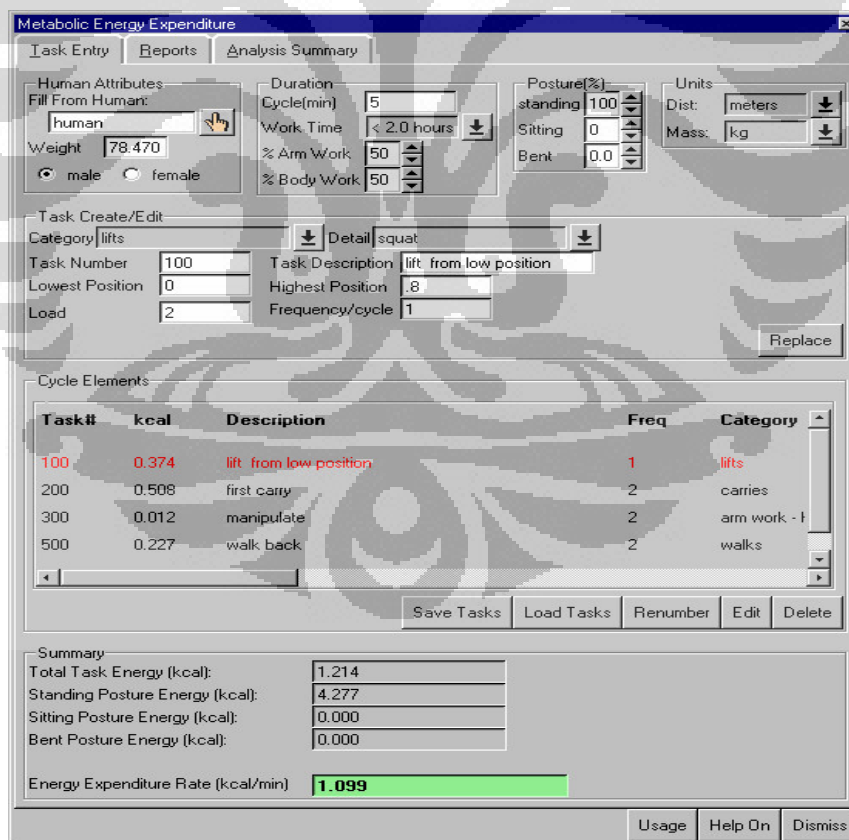
Gambar 2.9 Tampilan Hasil OWAS pada Jack

(Sumber: Software Jack)

2.6.6 Metabolic Energy Expenditure

Metabolic Energy Expenditure merupakan tool yang dapat digunakan untuk memprediksi jumlah energi yang digunakan untuk melakukan satu pekerjaan berdasarkan pada karakteristik pekerja dan deskripsi sederhana dari rangkaian pekerjaan yang dilakukan. Dengan tool ini dapat diketahui :

- Memprediksi apakah kebutuhan energi metabolis yang digunakan untuk melakukan suatu pekerjaan dapat dipenuhi oleh pekerjanya
- Mengidentifikasi pekerjaan-pekerjaan yang memiliki pengaruh terbesar dalam penggunaan energi dan memprediksi bagaimana perubahan karakteristik pekerjaan dapat mempengaruhi kebutuhan penggunaan energi
- Membandingkan alternatif desain kerja berdasarkan tingkat *metabolic energy* yang dibutuhkan



The screenshot shows the 'Metabolic Energy Expenditure' software interface. It includes sections for 'Human Attributes', 'Duration', 'Posture(%)', 'Units', 'Task Create/Edit', 'Cycle Elements', and 'Summary'.

Human Attributes: Fill From Human: human, Weight: 78.470, male (selected), female.

Duration: Cycle(min): 5, Work Time: < 2.0 hours, % Arm Work: 50, % Body Work: 50.

Posture(%): standing: 100, Sitting: 0, Bent: 0.0.

Units: Dist: meters, Mass: kg.

Task Create/Edit: Category: lifts, Detail: squat, Task Number: 100, Task Description: lift from low position, Lowest Position: 0, Highest Position: .8, Load: 2, Frequency/cycle: 1.

Cycle Elements Table:

Task#	kcal	Description	Freq	Category
100	0.374	lift from low position	1	lifts
200	0.508	first carry	2	carries
300	0.012	manipulate	2	arm work - l
500	0.227	walk back	2	walks

Summary: Total Task Energy (kcal): 1.214, Standing Posture Energy (kcal): 4.277, Sitting Posture Energy (kcal): 0.000, Bent Posture Energy (kcal): 0.000, Energy Expenditure Rate (kcal/min): 1.099.

Gambar 2.10 Tampilan Hasil MEP pada Jack

(Sumber: Software Jack)

2.6.7 *Manual Handling Limits*

Manual Handling Limit mengevaluasi rancangan tugas *manual handling* yang meliputi kegiatan mengangkat, meletakkan, mendorong, menarik, dan membawa. Dengan tools ini dapat diketahui berapa batas maksimum berat objek kerja yang dapat diterima oleh pekerja dalam melakukan kegiatan, sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya low back pain.

Tools ini menggunakan rangkaian table untuk menghitung berat maksimum atau batas gaya maksimum yang dapat diterima untuk persentase kemampuan pekerja yang kita tentukan. Atau sebaliknya dapat menghitung persentase pekerja yang mampu menerima berat atau gaya tertentu yang kita tentukan.

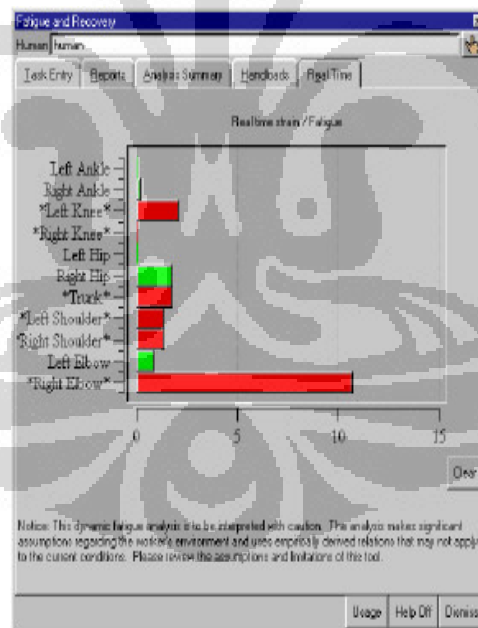
Gambar 2.11 Tampilan Hasil *Manual Handling Limit* pada Jack
(Sumber: Software Jack)

2.6.8 Fatigue/Recovery Time Analysis

Fatigue/Recovery Time Analysis digunakan untuk menilai apakah terdapat waktu pemulihan yang mencukupi dalam pekerjaan yang diberikan sehingga dapat mencegah terjadinya kelelahan pada pekerja. Tool ini digunakan untuk :

- Memprediksi apakah terdapat waktu istirahat yang cukup bagi pekerja untuk memulihkan kembali kondisi fisik mereka setelah melakukan pekerjaan.
- Mengidentifikasi pekerjaan-pekerjaan yang membutuhkan waktu pemulihan paling besar serta memperkirakan bagaimana perubahan karakteristik suatu pekerjaan dapat mempengaruhi waktu pemulihan pekerja.
- Membandingkan alternatif desain kerja berdasarkan risiko terjadinya kelelahan pada pekerja.

Hasil dari analisis ergonomis tool ini berupa grafik *real-time* yang menunjukkan maximum strain dari setiap bagian tubuh serta menunjukkan akumulasi tingkat kelelahan pekerja.



Gambar 2.12 Tampilan Hasil Fatigue Recovery pada Jack
(Sumber: Software Jack)

2.6.9 RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

RULA adalah metode peninjauan yang dikembangkan, berfokus pada penelitian ergonomi pada tempat kerja dimana pekerjaan yang dilakukan pada akhirnya dapat memberi efek gangguan pada anggota tubuh bagian atas. RULA adalah alat penyaringan yang menilai pembebanan keseluruhan tubuh dengan memperhatikan bagian leher, batang tubuh dan anggota tubuh bagian atas, dilihat dari sisi biomekanika dan perawakan manusia (McAtamney dan Corlett 1993, hal. 91-99). Penilaian pada metode RULA dapat dilakukan secara manual atau dengan meng-input data postur tubuh pada software yang memang berfungsi untuk menilai tingkat risiko sesuai beban kerja yang diterima. Berikut form penilaian metode RULA secara manual.

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position: Diagram showing upper arm angles from 20° to 50°. Adjustments: +1 if shoulder is raised, +1 if upper arm is abducted, -1 if arm is supported or person is leaning.

Step 2: Locate Lower Arm Position: Diagram showing lower arm angles. Adjustments: +1 if arm is working across midline or out to side of body.

Step 3: Locate Wrist Position: Diagram showing wrist deviation from midline. Adjustments: +1 if bent from midline, +1 if twisted in mid-range, +2 if twisted at or near end of range.

Step 4: Wrist Twist: Diagram showing wrist twist. Adjustments: +1 if twisted in mid-range, +2 if twisted at or near end of range.

Step 5: Look-up Posture Score in Table A: Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A.

Step 6: Add Muscle Use Score: If posture mainly static (i.e. held 10 minutes), or if action repeated occurs 4X per minute: +1.

Step 7: Add Force/Load Score: If load < 4.4 lbs (intermittent): +0; If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1; If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2; If more than 22 lbs or repeated or shocks: +3.

Step 8: Find Row in Table C: Add values from steps 5-7 to obtain Wrist & Arm Score. Find row in Table C.

Table A: Wrist Posture Score

Upper Arm	Lower Arm	Wrist Posture		Wrist Twist	
		Dist.	Flex.	Dist.	Flex.
1	1	2	2	2	2
1	2	2	2	2	3
1	3	2	3	3	3
1	4	2	3	3	4
2	2	3	3	3	4
2	3	3	3	3	4
2	4	3	3	3	4
3	2	3	4	4	4
3	3	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4
4	2	4	4	4	5
4	3	4	4	4	5
4	4	4	4	4	5
5	2	5	5	5	5
5	3	5	5	5	5
5	4	5	5	5	5
6	2	6	6	6	6
6	3	6	6	6	6
6	4	6	6	6	6

Table B: Neck, Trunk and Leg Score

Neck Posture	Trunk Posture		Legs		Legs	
	Dist.	Flex.	Dist.	Flex.	Dist.	Flex.
1	1	2	3	3	4	4
1	2	2	3	3	4	4
1	3	2	3	3	4	4
1	4	2	3	3	4	4
2	2	2	3	3	4	4
2	3	2	3	3	4	4
2	4	2	3	3	4	4
3	2	2	3	3	4	4
3	3	2	3	3	4	4
3	4	2	3	3	4	4
4	2	2	3	3	4	4
4	3	2	3	3	4	4
4	4	2	3	3	4	4
5	2	2	3	3	4	4
5	3	2	3	3	4	4
5	4	2	3	3	4	4
6	2	2	3	3	4	4
6	3	2	3	3	4	4
6	4	2	3	3	4	4

Table C: Neck, trunk and leg score

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

Table D: Neck, Trunk and Leg Score

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

Step 9: Locate Neck Position: Diagram showing neck posture. Adjustments: +1 if neck is twisted, -1 if neck is side bending.

Step 10: Locate Trunk Position: Diagram showing trunk posture. Adjustments: +1 if trunk is twisted, -1 if trunk is side bending.

Step 11: Legs: Diagram showing leg posture. Adjustment: +1 if legs and feet are supported.

Step 12: Look-up Posture Score in Table B: Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B.

Step 13: Add Muscle Use Score: If posture mainly static (i.e. held 10 minutes), or if action repeated occurs 4X per minute: +1.

Step 14: Add Force/Load Score: If load < 4.4 lbs (intermittent): +0; If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1; If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2; If more than 22 lbs or repeated or shocks: +3.

Step 15: Find Column in Table C: Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C.

Scoring: (final score from Table C)
 1 or 2 = acceptable posture
 3 or 4 = further investigation, change may be needed
 5 or 6 = further investigation, change soon
 7 = investigate and implement change

Gambar 2.13 Form Penilaian RULA Secara Manual

(Sumber: McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993)

Teknik ergonomi ini digunakan untuk mengevaluasi manusia akan postur tubuh yang dimiliki, kekuatan dan aktivitas otot yang memberikan efek berbahaya bagi kesehatan, dikarenakan melakukan pekerjaan berulang sehingga menimbulkan ketegangan pada otot. Pendekatan yang dilakukan pada teknik evaluasi ini biasanya menggunakan pembobotan, dimana semakin tinggi bobot

yang diberikan menjelaskan risiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan. RULA memberikan output atau hasil evaluasi berupa bobot nilai. Bobot nilai ini mampu mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi risiko cedera. Berikut bobot nilai hasil evaluasi dalam RULA.

Tabel 2.6 Bobot Nilai dalam RULA

Score	Keterangan
1 or 2	<i>Acceptable posture</i>
3 or 4	<i>Further investigation, change may be need</i>
5 or 6	<i>Further investigation, change soon</i>
7	<i>Investigate and implement change</i>

(Sumber: McAtamney and Corlett, 1993)

RULA ditetapkan sebagai alat ergonomi yang mampu mengevaluasi gangguan yang dapat terjadi pada bagian atas tubuh. Untuk kegiatan manual yang dilakukan, RULA bertujuan:

- Menilai risiko gangguan pada anggota tubuh bagian atas berdasar pada postur tubuh, penggunaan otot, berat muatan yang ditanggung, durasi kegiatan dan frekuensi kegiatan itu dilakukan
- Menentukan bobot nilai untuk kegiatan yang dievaluasi sehingga mampu mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi risiko cedera pada anggota tubuh bagian atas

Dalam RULA, ada enam faktor yang mempengaruhi penilai risiko, antara lain (Occhipinti & Colombini, 1999):

1. Pengulangan (frekuensi).

Menampilkan kejadian yang diulang dalam waktu tertentu dan dilakukan dengan cara yang sama untuk setiap pengulangan. Semakin tinggi frekuensi pekerjaan tersebut, maka semakin tinggi pula risiko cedera yang bisa terjadi.

2. Gaya.

Gaya atau tenaga menjelaskan usaha yang dilakukan untuk melakukan suatu kegiatan atau suatu urutan aksi. Kebutuhan untuk memperbesar gaya selama pekerjaan dilakukan berhubungan dengan pergerakan atau pertahanan posisi akan kegiatan tersebut. Sedangkan penggunaan gaya berhubungan dengan aksi statis atau aksi dinamis yang harus dilakukan dalam kegiatan tersebut.

3. Postur dan tipe pergerakan.

Postur dan tipe pergerakan pada anggota tubuh bagian atas yang saling menyesuaikan agar dapat melakukan satu urutan aksi teknis sehingga menciptakan satu putaran kegiatan.

4. *Recovery period*.

Periode waktu ini berada di antara putaran kegiatan dan meliputi waktu berhentinya kegiatan setelah dilakukan satu putaran penuh, dimana metabolisme dan mekanisme otot kembali ke keadaan awal, yaitu ketika otot sedang tidak bekerja. Kurangnya melakukan *recovery period* ini dapat meningkatkan risiko cedera bagi operator.

5. Faktor risiko tambahan.

Faktor ini disebut sebagai faktor tambahan karena faktor ini tidak selalu ada pada setiap pekerjaan. Faktor ini sangat bergantung pada jenis pekerjaan yang dilakukan, mekanisme pekerjaan, lingkungan tempat melakukan pekerjaan dan bentuk organisasi yang membantu terlaksananya pekerjaan tersebut.

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

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

Body Group A Posture Rating		Body Group B Posture Rating	
Upper arm:	4	Neck:	4
Lower arm:	3	Trunk:	3
Wrist:	3	Total:	6
Wrist Twist:	2		
Total:	5		

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

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

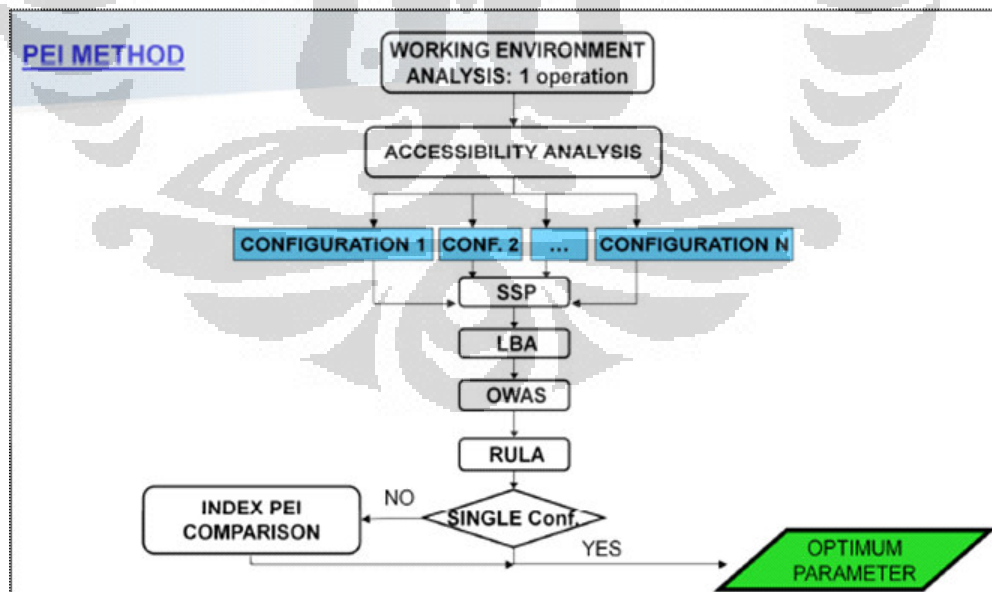
Grand Score: 7
Action: Investigation and changes are required immediately.

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

Gambar 2.14 Tampilan Hasil RULA pada Jack
(Sumber: Software Jack)

2.7 Posture Evaluation Index

Posture Evaluation Index merupakan suatu metodologi yang dikembangkan untuk melakukan analisa ergonomi terhadap kenyamanan postur seorang operator pada saat bekerja. Metodologi PEI itu sendiri dikembangkan dari aplikasi “Task Analysis Toolkit” yang terdapat pada software Jack 6.0. Posture Evaluation Index mengintegrasikan hasil dari beberapa TAT yang terdapat pada Jack yaitu hasil dari low back analysis (LBA), ovako working posture analysis system (OWAS), dan rapid upper limb assessment (RULA). Perhitungan nilai akhir dari PEI itu sendiri merupakan hasil penjumlahan dari tiga variabel yang diperoleh dari ketiga TAT tersebut. Ketiga variabel tersebut adalah I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 diperoleh dari nilai gaya hasil low back analysis yang dibagi dengan batasan NIOSH untuk kekuatan tekanan (3400 N). Variabel I_2 merupakan nilai yang diperoleh dari *ovako working posture analysis system* (OWAS) dibagi dengan 4 yang merupakan nilai maksimum OWAS. Kemudian variabel I_3 merupakan nilai yang diperoleh dari rapid upper limb assessment (RULA) dibagi dengan 7 yang merupakan nilai maksimum RULA serta dikalikan dengan faktor konstanta “mr”.



Gambar 2.15 Tahapan dalam metode PEI

(Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006)

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. *Reachability and Accessibility Analysis*.

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. *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 0% saja yang boleh dilibatkan dalam analisis selanjutnya. Apabila pekerjaan tersebut mempunyai nilai persentase 0%, maka sebaiknya pekerjaan tersebut tidak dimasukkan dalam analisis berikutnya.

4. *Low Back Analysis (LBA)*.

Low Back Analysis (LBA) merupakan *tools* yang dapat mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia berdasarkan postur dan beban yang dikenakan pada model manusia. Nilai gaya yang diperoleh dari LBA ini akan dimasukkan ke dalam perhitungan PEI dibagi dengan batasan gaya tekanan oleh NIOSH.

5. *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*.

Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) merupakan metode sederhana untuk mengetahui tingkat kenyamanan dari suatu postur kerja serta untuk memberikan informasi mengenai tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Tingkat penilaian ini berdasarkan pada postur dan observasi rangkaian kerja operator yang disimulasikan. Hasil penilaian dari metode OWAS ini berupa 4 digit angka yang terbagi atas 4 tingkat klasifikasi yaitu (1) tidak ada efek berbahaya, (2) terdapat efek berbahaya yang terbatas, (3) terdapat efek yang berbahaya bagi kesehatan operator, dan (4) terdapat efek berbahaya tingkat tinggi bagi kesehatan.

6. *Rapid upper limb assessment (RULA)*.

RULA (Rapid Upper Limb Assessment) adalah *tools* untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas serta untuk mengidentifikasi risiko cedera atau gangguan pada tubuh bagian atas. Nilai akhir dari metode RULA ini dapat diklasifikasikan ke dalam 4 kelas, yaitu nilai 1 dan 2 adalah postur tubuh dapat diterima (*Acceptable*), nilai 3 dan 4 menunjukkan bahwa postur kerja perlu ditinjau kembali (*in need of further investigation*), nilai 5 dan 6 menunjukkan bahwa postur kerja perlu ditinjau kembali serta dilakukan perubahan (*in need of further investigation and rapid change*), serta nilai 7 menunjukkan bahwa postur kerja tersebut perlu dievaluasi dan dilakukan perubahan perbaikan segera (*investigation and immediate change*).

7. Perhitungan PEI (*PEI Evaluation*)¹⁴.

$$PEI = I_1 + I_2 + (I_3 \cdot mr) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$I_1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I_2 = \frac{OWAS}{4} \quad I_3 = \frac{RULA}{7} \quad mr = 1,42 \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

3400 N= batas kekuatan tekanan yang dapat diterima *lowback*.

4 = nilai maximum index OWAS

7 = level maximum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

mr = koefisien amplifikasi

Nilai PEI tersebut menunjukkan kualitas postur operator pada saat bekerja dengan nilai minimum adalah 0,47 dengan kondisi di mana operator tidak mendapat beban sama sekali sedangkan untuk nilai maksimum adalah 3,42 dengan ketentuan bahwa postur dengan nilai I_1 .

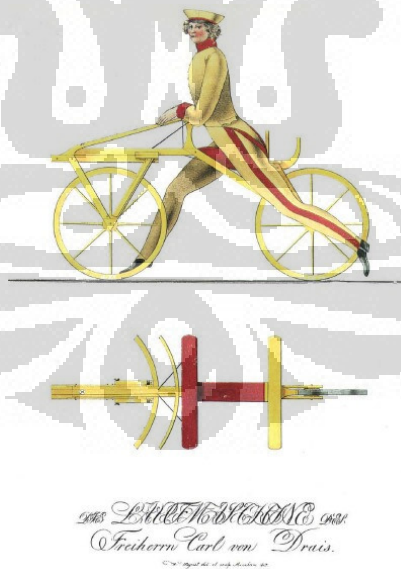
Nilai PEI menunjukkan kualitas postur kerja operator, dengan nilai minimum adalah 0,47 (kondisi dimana operator tidak mendapat beban sama sekali) dan nilai maksimum tergantung pada nilai I_1 , dimana untuk kasus ini

¹⁴ Di Gironimo, G., Monacellia, G., dan Patalano, S. *A design methodology for maintainability of automotive components in virtual environment*. 2004, hal.4.

diasumsikan postur dengan nilai $I_1 \geq 1$ adalah tidak valid. Sehingga nilai maksimum untuk PEI adalah 3,42.

2.8 Perkembangan Sepeda Lipat

Sampai sekarang, banyak orang yang mengklaim dirinya sebagai penemu sepeda lipat. Sepeda lipat dipercaya mulai muncul pada tahun 1973. Perkembangan sepeda lipat itu sendiri sangat dipengaruhi oleh perkembangan sepeda itu sendiri¹⁵. 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 masih belum memiliki mekanisme kemudi dan pedal, 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 2.16 Model Sepeda “Draisienne”

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

¹⁵ <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>

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



Gambar 2.17 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.

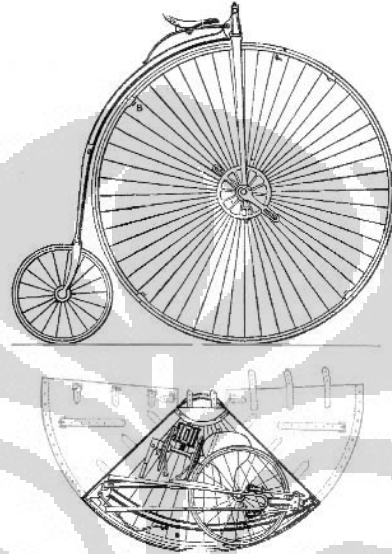


Gambar 2.18 Model Sepeda Aman

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

Sepeda terus dikembangkan sampai pada akhirnya ditemukan sepeda lipat. Belum ada kejelasan yang pasti mengenai penemu sepeda lipat yang sebenarnya disebabkan banyaknya orang yang mengklaim dirinya sebagai penemu sepeda lipat.

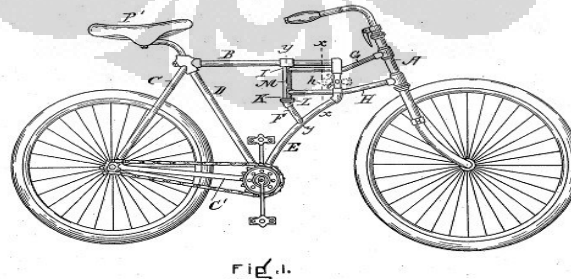
William Grout dipercaya sebagai salah satu penemu sepeda lipat dimana sepeda hasil penemuannya memiliki roda depan yang dapat dilipat dan rangka yang dapat dibongkar. Bentuk sepeda seperti ini diyakini lebih sebagai sepeda *portable* dibandingkan dengan sepeda lipat yang sebenarnya.



Gambar 2.19 Model Sepeda Lipat Wiliam Grout

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

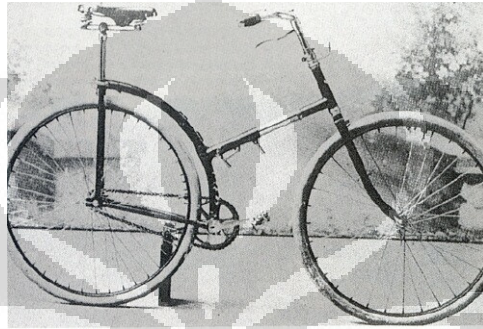
Salah satu penemuan yang tercatat tentang sepeda lipat adalah sepeda yang dibuat oleh Michael B. Ryan dan juga telah dipatenkan pada tanggal 26 Desember 1893. Gambar di bawah ini merupakan sketsa paten sepeda lipat yang dibuat oleh Michael B. Ryan.



Gambar 2.20 Model Sepeda Lipat Michael B. Ryan

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

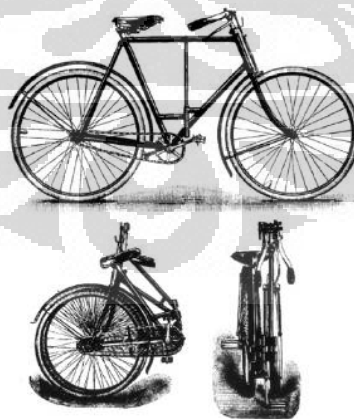
Pada 18 Januari 1896, Henry Gérard menemukan model sepeda lipat yang kemudian dipatenkan bersama dengan Charles Morel, seorang pengusaha perancis yang kaya dan mempunyai pabrik sepeda. Sepeda Gérard ini banyak digunakan untuk keperluan militer.



Gambar 2.21 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 2.22 Model Sepeda Lipat William Crowe

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

Pada tahun 1898, Michael B. Ryan menyempurnakan penemuan sepeda lipatnya 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 2.23 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 2.24 Model Sepeda Compax

(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 2.25 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 2.26 Model Sepeda Lipat Dahon dan Dr. David Hon
(Sumber: <http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html>)

2.9 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)¹⁶. 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

¹⁶ Unit Pelaksana Pendidikan Ilmu Pengetahuan Dasar. *Handout fisika*. Universitas Indonesia, Depok, 2005.

adalah gaya gesek yang terjadi antara ban sepeda dengan permukaan jalan. Secara matematis, gaya gesek dirumuskan sebagai berikut:

$$f_k = \mu_k \times N \dots\dots\dots (2.3)$$

$$f_s = \mu_s \times N \dots\dots\dots (2.4)$$

Tabel 2.10 di bawah ini menunjukkan nilai koefisien gesek dari permukaan karet ketika bersentuhan dengan permukaan aspal dan semen.

Tabel 2.1 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)

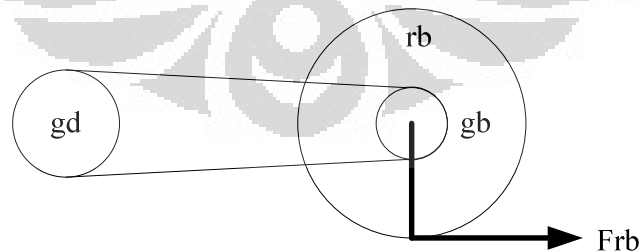
Dengan demikian, besar gaya penggerak roda belakang (F_{rb}) adalah:

$$F_{rb} = F_{sepeda} + f_s \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana

$$F_{sepeda} = \text{Masa sepeda} \times \text{pcpatan sepeda} \dots\dots (2.6)$$

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



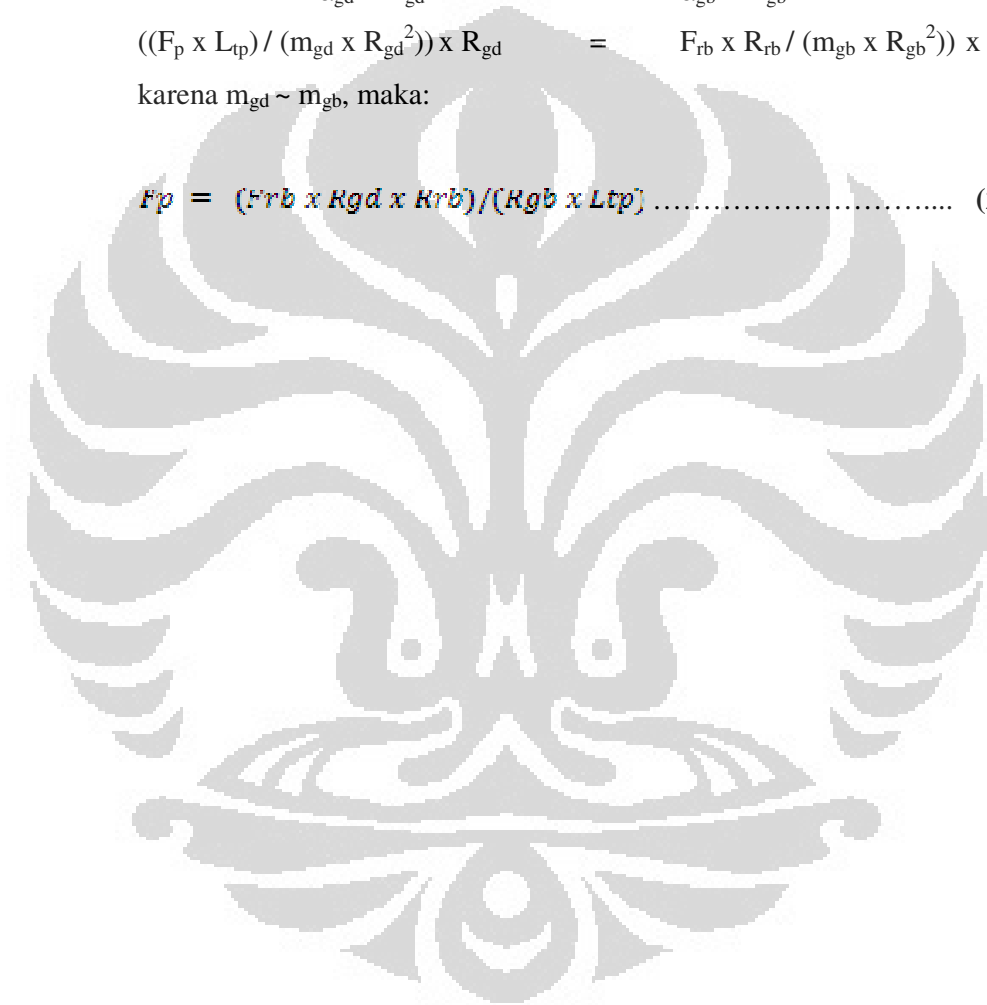
Gambar 2.27 Sistem Gaya pada Roda dan Gir Sepeda

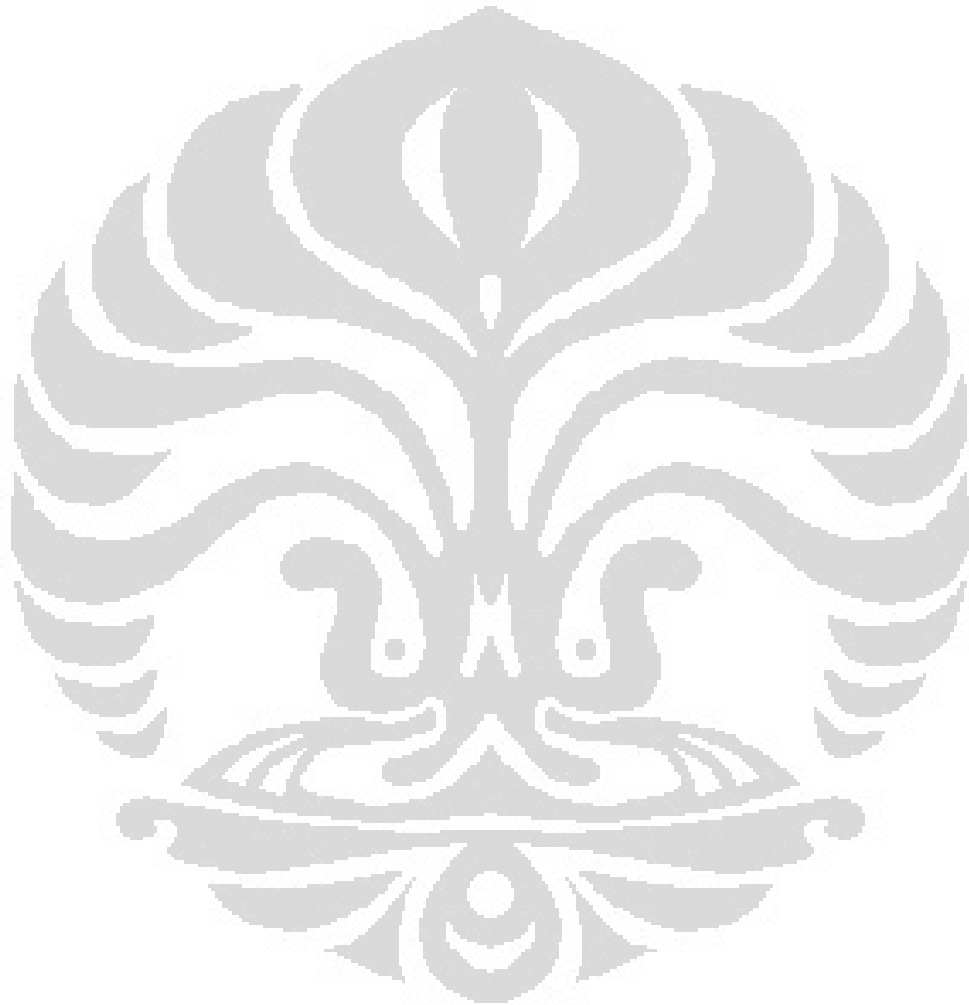
Gir depan (gd) dan gir belakang (gb) mempunyai hubungan roda-roda yang dihubungkan oleh sabuk/rantai. Sehingga kecepatan linier kedua roda tersebut adalah sama.

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

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

$$F_p = (F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}) / (R_{gb} \times L_{tp}) \dots\dots\dots (2.7)$$





BAB 3

PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL

Dalam bab ini, dibahas 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 mahasiswa, 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. Perancangan model terdiri dari langkah-langkah dalam membuat model sampai perhitungan PEI yang merupakan indikator dalam menentukan kenyamanan postur dalam mengendarai sepeda.

3.1. Profil Instansi Terkait

3.1.1 Profil Universitas Indonesia

Universitas Indonesia merupakan salah satu perguruan tinggi negeri terbaik di Indonesia dan menjadi representasi institusi pendidikan dengan sejarah paling tua di Asia. Universitas Indonesia yang berdiri pada tahun 1849 adalah kampus modern, komprehensif, terbuka, multi budaya, dan humanis yang mencakup disiplin ilmu yang luas. UI selalu berusaha menjadi salah satu universitas riset atau institusi akademik terkemuka di dunia. UI berdiri pada tahun 1849 dan merupakan representasi institusi pendidikan dengan sejarah paling tua di Asia. Telah menghasilkan lebih dari 400.000 alumni, UI secara kontinyu melanjutkan peran pentingnya di level nasional dan dunia.

Secara geografis, posisi kampus UI berada di dua area yang berjauhan, yaitu kampus Salemba dan kampus Depok. Sebagian besar fakultas berada di Depok dengan luas lahan mencapai 320 hektar dengan atmosfer *green campus*, karena hanya 25% lahan yang digunakan sebagai sarana akademik, riset, dan kemahasiswaan. Sedangkan 75% sisanya merupakan area hijau berwujud hutan kota dimana di dalamnya terdapat 8 danau alam.

Universitas Indonesia mempunyai visi “Menjadi universitas riset kelas dunia” dengan beberapa misi di bawah ini:

- Menyelenggarakan pendidikan tinggi berbasis riset untuk pengembangan ilmu, teknologi, seni, dan budaya.
- Menyelenggarakan pendidikan tinggi yang mengupayakan penggunaannya untuk meningkatkan taraf dan kualitas kehidupan masyarakat Indonesia serta kemanusiaan.

Selain visi dan misi tersebut, UI juga mencangkan suatu program yang disebut dengan program *green campus*. Program ini dicanangkan oleh UI untuk mengantisipasi terjadinya pemanasan global dengan menciptakan suatu lingkungan kampus yang hijau. Sebagai institusi pendidikan dengan perspektif *world class university*, UI mempunyai modal simbolik berupa pengetahuan dan alokasi dana untuk menjadi sesuatu yang berpengaruh bagi lingkungan di sekitarnya. Ekosistem di UI yang asri dan hijau adalah wujud nyata dari kepedulian UI terhadap lingkungan hidup. Usaha ini tentunya banyak didukung oleh para pemerhati lingkungan dan sivitas akademika UI. Selain itu, pengadaan sarana transportasi yang ramah lingkungan merupakan salah satu wujud nyata UI untuk menjalankan program tersebut. Transportasi bus kuning sebagai alat transportasi missal sekarang ini ditunjang dengan adanya pembuatan jalur sepeda UI serta penyediaan sepedanya itu sendiri sehingga pengadaan sarana transportasi yang ramah lingkungan ini diharapkan dapat menciptakan suatu lingkungan yang hijau dan menanggulangi terjadinya pemanasan global.

3.1.2 Profil Departemen Teknik Mesin UI

Departemen Teknik Mesin, yang sebelumnya bernama jurusan Teknik Mesin, berdiri bersamaan dengan diresmikannya Fakultas Teknik Universitas Indonesian pada tanggal 27 Nopember 1946 di Salemba, Jakarta

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia merupakan salah satu departemen tertua yang ada di FT-UI. Departemen ini yang sebelumnya bernama jurusan Teknik Mesin berdiri bersamaan dengan diresmikannya Fakultas Teknik Universitas Indonesia pada tanggal 27 November 1946 di Salemba, Jakarta.

Visi dan misi dari Departemen Teknik Mesin UI adalah sebagai berikut:

Visi:

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.

Misi:

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.

Departemen teknik telah melakukan banyak penelitian dengan di dalamnya mencakup penelitian mengenai perancangan dan pengembangan produk. Salah satu produk yang telah dirancang adalah sepeda lipat yang akan dipasarkan secara luas bertahap mulai kepada kalangan universitas itu sendiri.

3.2. Pengumpulan Data

3.2.1 Data Spesifikasi Sepeda Lipat DTM UI

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.

Sepeda yang dibuat oleh DTM UI ini termasuk ke dalam kategori sepeda lipat. Kelebihan utama dari sepeda lipat ini adalah mudah untuk dibawa-bawa, namun hal ini membuat ukurannya yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan sepeda jenis lain. 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 550 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 3.1 Prototype Awal Sepeda UI

(Sumber: Departemen Teknik Mesin FT-UI)

3.2.2 Peta Jalur Sepeda UI

Jalur sepeda UI ini dibuat sebagai penunjang untuk mencapai program green campus. Penyediaan sarana transportasi sepeda UI yang ramah lingkungan tentunya sebelumnya harus ditunjang dengan penyediaan jalur sepeda khusus tempat berjalannya sepeda tersebut. Dengan adanya jalur sepeda ini, diharapkan kebutuhan warga UI akan sarana transportasi lain selain bus kampus dapat dipenuhi.

Jalur sepeda dengan lebar 2,1 meter dan panjang total sekitar 25 km ini dibangun dengan konsep *fun recreation* dan menghubungkan pusat-pusat kegiatan

di UI seperti fakultas, rektorat, mesjid, asrama, dan berbagai pusat kegiatan lain secara *interconnected* atau saling terhubung (Esyandi, 2008).

Jalur sepeda UI dilengkapi dengan parkir dan halte (*shelter*). Hingga saat ini sudah ada 12 *shelter* yang tersebar di kampus UI. Setiap *shelter* memiliki area parkir yang dapat menampung sekitar 20 buah sepeda. . Jalur sepeda UI dilengkapi dengan stasiun, pos, tempat parkir, *water contain* (pengisian air minum) dan banyak unit sepeda sekaligus. Fasilitas sepeda yang akan berjumlah 1000 unit tersebut dapat digunakan oleh para sivitas akademika UI dengan sistem *free of charge* atau gratis.

Jalur sepeda UI ini dibangun mengikuti kontur jalan di wilayah kampus UI. Dengan demikian, jalur ini pun memiliki dua kondisi lintasan yang berpengaruh terhadap aktivitas pengendara saat bersepeda, yaitu mendatar dan menanjak. Peta jalur sepeda UI dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta Lintasan Sepeda UI

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

3.2.3 Kemiringan Lintasan Menanjak Jalur Sepeda UI

Pengambilan data kemiringan pada lintasan menanjak jalur sepeda UI dilakukan dengan cara melakukan pengukuran langsung pada Sembilan titik yang telah ditentukan sebelumnya. Pengukuran kemiringan lintasan tersebut dilakukan dengan menggunakan alat theodolite.

Pengambilan data kemiringan lintasan menanjak pada jalur sepeda UI dilakukan dengan cara melakukan pengukuran langsung terhadap lintasan dengan

kondisi menanjak. Dalam hal ini, ada sembilan titik yang diukur. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan bantuan alat yang bernama *theodolite*.

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.

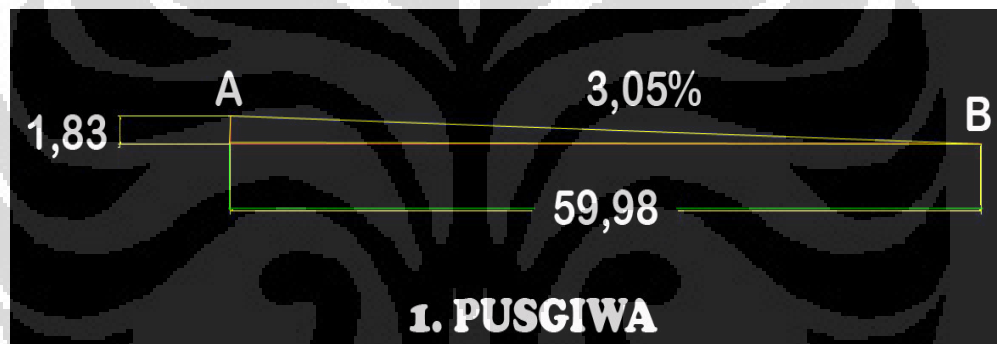


Gambar 3.3 Pengukuran dengan Theodolite

Hasil pengukuran kemiringan lintasan menanjak pada jalur sepeda UI akan diikutsertakan pada lampiran. Berikut rekapitulasi data yang ada:

Tabel 3.1 Rekapitulasi Data Kemiringan Lintasan Menanjak Jalur Sepeda UI

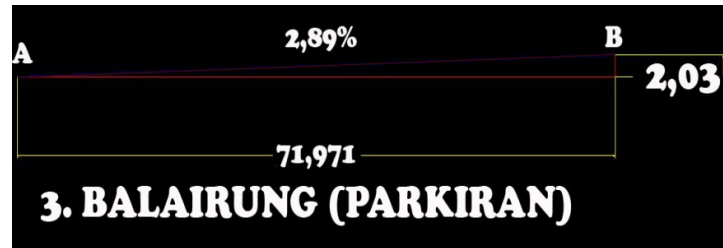
Titik Lintasan	Persen Kemiringan
Pusgiwa	3.05
Menara Air	7.83
Balairung (parkiran)	2.82
Balairung (danau)	8.93
Fakultas Ekonomi	2.04
Gerbang UI 1	7.13
Gerbang UI 2	11.5
Halte UI	9.14
	9.3
Mang Engking	3.8
	4.01



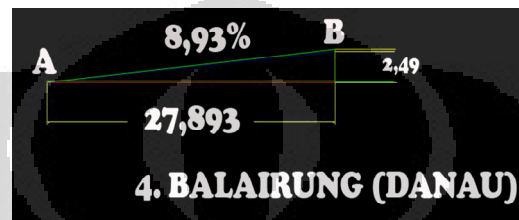
Gambar 3.4 Hasil Pengukuran Lintasan Pusgiwa



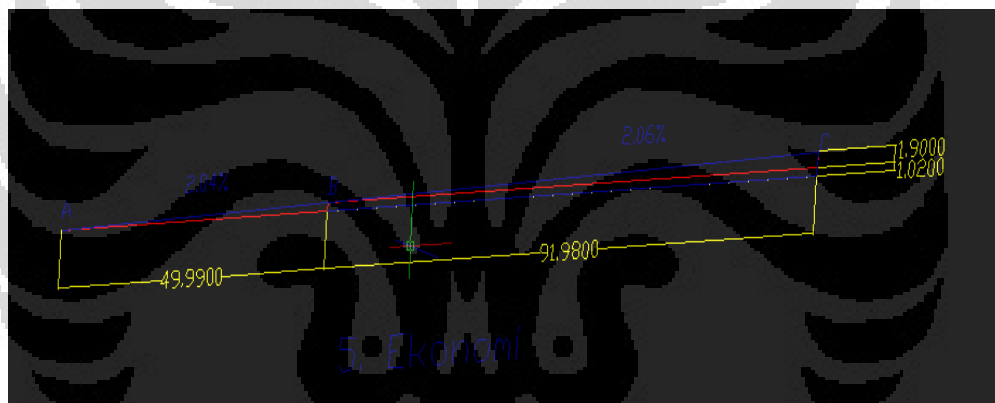
Gambar 3.5 Hasil Pengukuran Lintasan Menara Air



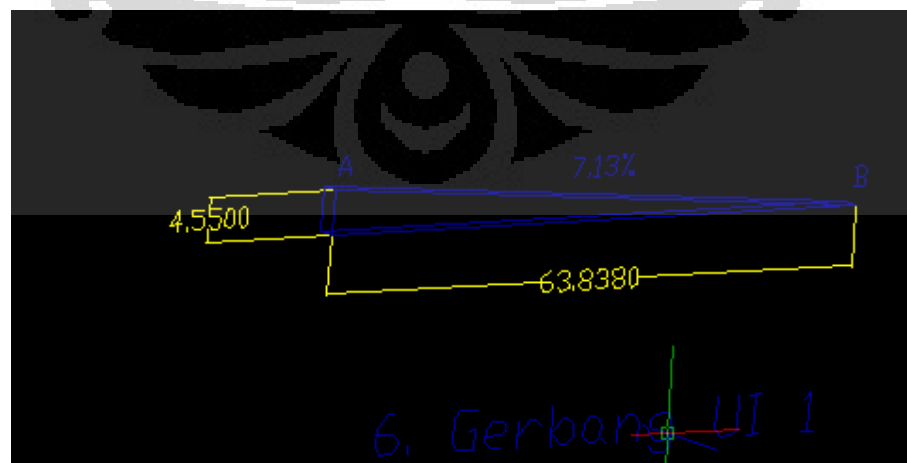
Gambar 3.6 Hasil Pengukuran Lintasan Balairung (Parkiran)



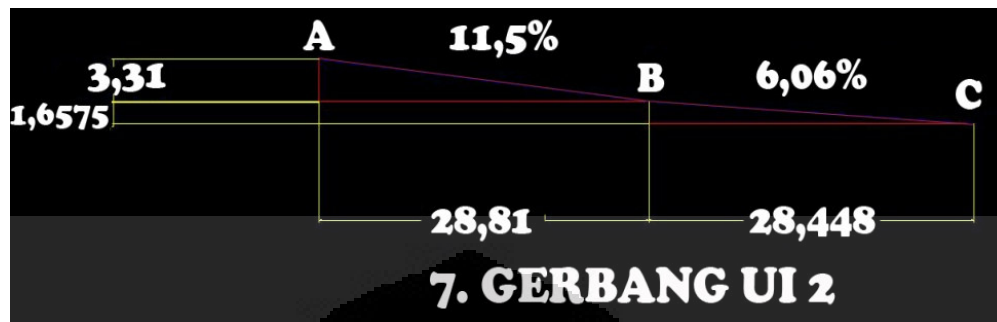
Gambar 3.7 Hasil Pengukuran Lintasan Balairung (Danau)



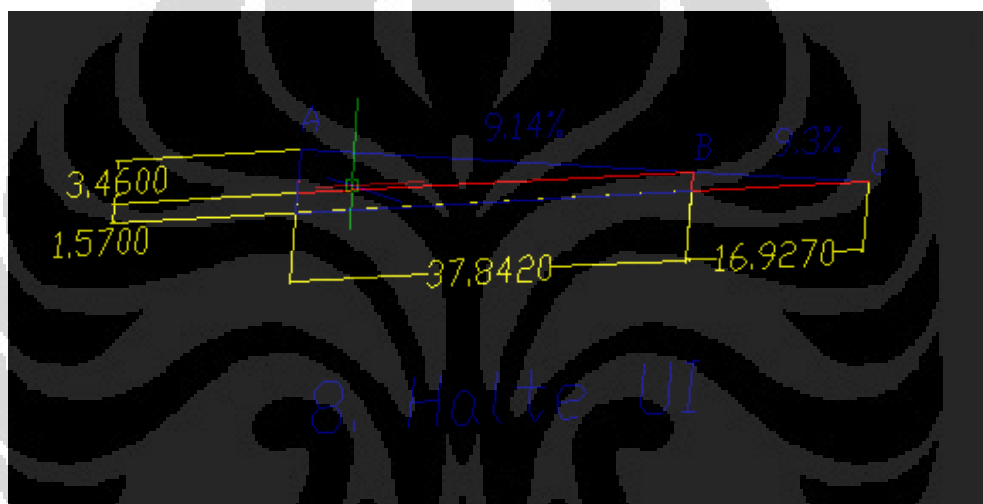
Gambar 3.8 Hasil Pengukuran Lintasan Fakultas Ekonomi



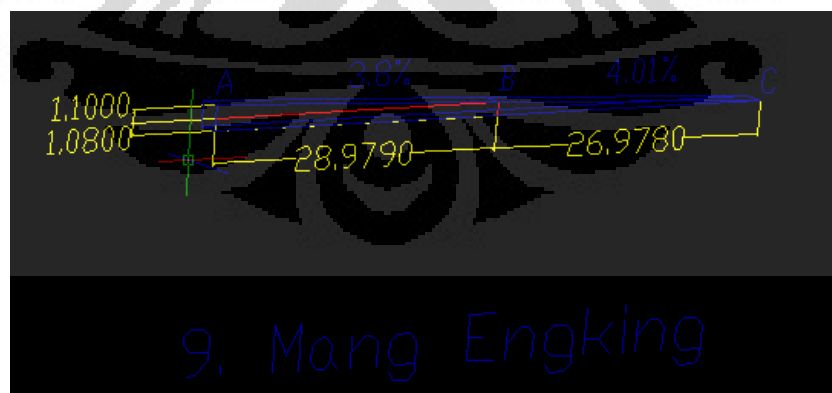
Gambar 3.9 Hasil Pengukuran Lintasan Gerbang UI 1



Gambar 3.10 Hasil Pengukuran Lintasan Gerbang UI 1



Gambar 3.11 Hasil Pengukuran Lintasan Halte UI



Gambar 3.12 Hasil Pengukuran Lintasan Mang Engking

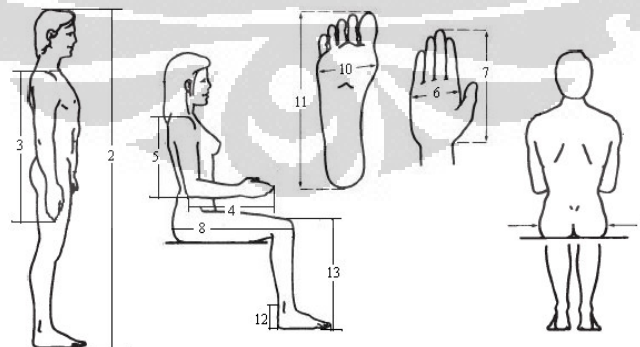
Dari titik-titik lokasi di atas, hanya lintasan dengan persentase kemiringan tertinggi yang akan digunakan dalam perancangan model yaitu lintasan gerbang

UI 2. Hal ini karena asumsi apabila sepeda tersebut berhasil memperoleh hasil PEI yang baik saat melewati lintasan dengan kemiringan tertinggi maka akan memberikan hasil yang lebih baik pada lintasan dengan kemiringan yang lebih rendah.

3.2.4 Data Antropometri Mahasiswa UI

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. 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 objek penelitian ini adalah mahasiswa UI.

Pengambilan data antropometri dilakukan dengan cara melakukan pengukuran secara langsung terhadap sampel mahasiswa UI, yaitu sebanyak 30 responden. Pengukuran antropometri hanya melibatkan dimensi-dimensi tubuh yang diperlukan untuk dijadikan sebagai input dalam *software* Jack 6.0. Ada tiga belas dimensi tubuh yang diukur, seperti tampak pada gambar 3.1.



Gambar 3.13 Dimensi Tubuh yang Digunakan dalam Pengukuran Antropometri Mahasiswa UI

(Sumber: Pheasant, 2003, diolah)

Keterangan gambar 3.1:

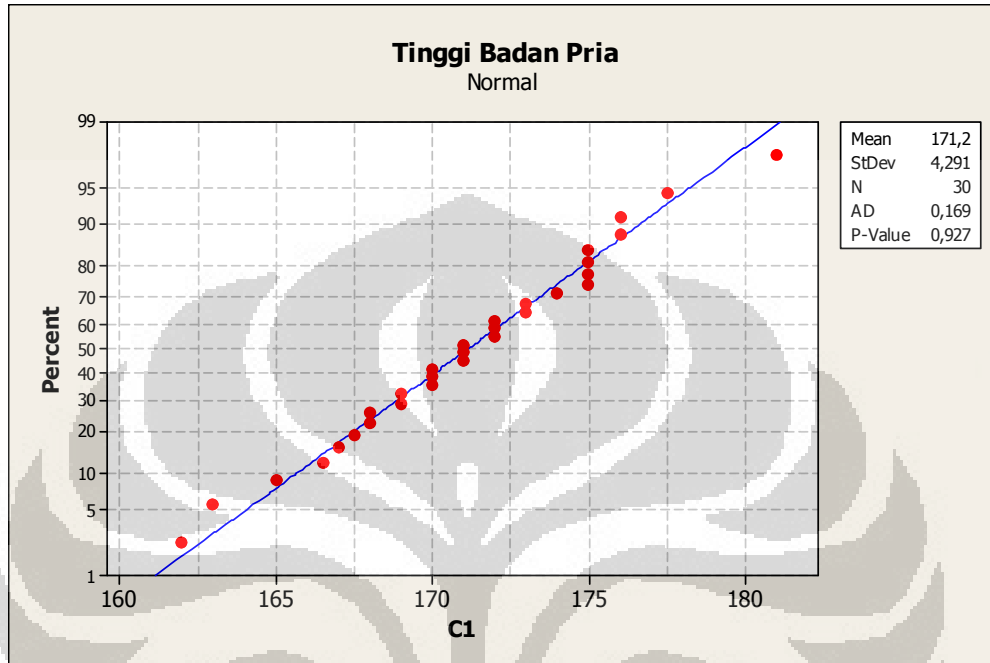
- 2 = dimensi tinggi tubuh dalam posisi berdiri tegak (*stature*)
- 3 = panjang lengan (*arm length*)
- 4 = jarak antara siku dan ujung jari (*elbow fingertip*)
- 5 = jarak antara bahu dan siku (*shoulder elbow*)
- 6 = lebar tangan (*hand breadth*)
- 7 = panjang tangan (*hand length*)
- 8 = panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan ujung lutut (*buttock-knee*)
- 9 = lebar pinggul (*hip breadth*)
- 10 = lebar kaki (*foot breadth*)
- 11 = panjang kaki (*foot length*)
- 12 = tinggi mata kaki (*ankle height*)
- 13 = tinggi lutut dari lantai dalam posisi duduk (*sit knee*)

Tabel 3.2 Rekapitulasi Data Antropometri Mahasiswa UI

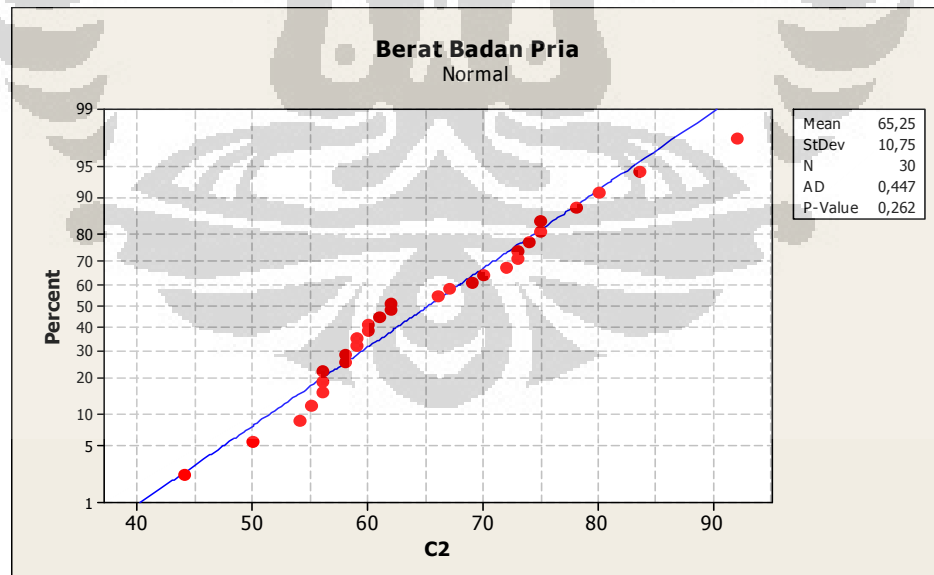
Dimensi	Percentile		
	95	50	5
Berat badan (kg)	81,925	62	51,8
Tinggi badan (cm)	176,825	171	163,9
Panjang lengan (cm)	82,775	79	74,675
Panjang dari siku ke jari (cm)	50	47,25	45
Jarak bahu dan siku (cm)	38	36	34
Lebar tangan (cm)	11	10	9
Panjang tangan (cm)	20,5	19	17,75
Jarak pantat dan lutut (cm)	61,275	58	57
Lebar pinggul (cm)	37,775	34	31,45
Lebar kaki (cm)	11,165	10	8,5
Panjang kaki (cm)	26,5	25,5	24
Tinggi mata kaki (cm)	9,275	8	7
Tinggi lutut saat duduk (cm)	55	52	48

Dari data antropometri di atas, perlu dilakukan uji normalitas data untuk menunjukkan bahwa data tersebut memang layak untuk digunakan. Dari seluruh variabel tersebut, data yang akan digunakan adalah data tinggi badan dan berat badan karena apabila semua variabel tersebut dimasukkan ke dalam data antropometri Jack maka bentuk tubuh manekin menjadi tidak normal. Dengan

memasukkan data tinggi badan dan berat badan maka software Jack akan menyesuaikan ukuran anggota tubuh lainnya dengan data tersebut. Berikut ini adalah hasil uji normalitas data terhadap dua variabel tersebut:



Gambar 3.14 Hasil Uji Normalitas Untuk Variabel Tinggi Badan



Gambar 3.15 Hasil Uji Normalitas Untuk Variabel Berat Badan

Dari hasil uji normalitas data untuk variabel tinggi badan dan berat badan tersebut maka dapat dilihat bahwa nilai p-value keduanya lebih dari 5%. Nilai p-value untuk tinggi badan adalah 92% dan nilai p-value untuk berat badan adalah 26% sehingga kedua data untuk variabel tersebut layak untuk digunakan dan dimasukkan ke dalam data antropometri software Jack.

3.2.5 Waktu Tempuh Melewati Lintasan Menanjak Jalur Sepeda UI

Data waktu tempuh melewati lintasan menanjak diperoleh dari hasil observasi dan pengujian ke lapangan. Lintasan yang dipilih adalah lintasan dengan persentase kemiringan terbesar yaitu gerbang UI 2. Pengujian dengan menggunakan sepeda lipat dilakukan bukan pada lintasan tersebut. Hal ini disebabkan kondisi sepeda lipat yang masih belum sempurna. Pengujian dengan sepeda lipat dilakukan pada lintasan balairung (danau) karena lintasan tersebut memiliki persentase kemiringan yang menengah disbanding lintasan lainnya. Untuk memperoleh data waktu tempuh lintasan gerbang UI 2 digunakan nilai indeks yang diperoleh dengan membandingkan waktu tempuh saat menggunakan sepeda lipat dengan waktu tempuh saat menggunakan sepeda UI. Nilai indeks diperoleh pada lintasan balairung (danau) dan dari nilai tersebut akan dapat diperoleh waktu tempuh untuk lintasan lainnya. Berikut ini adalah waktu tempuh melewati lintasan menanjak jalur sepeda UI dengan menggunakan sepeda UI:

Tabel 3.3 Data Waktu Tempuh Melewati Lintasan Menanjak dengan Sepeda UI

Lintasan	Waktu tempuh (s)	
	Pria	Wanita
Danau (Balairung)	11	16
Gerbang UI 2	39	58

Kemudian berikut ini adalah waktu tempuh melewati lintasan menanjak gerbang UI 2 saat mengendarai sepeda lipat dengan menggunakan nilai indeks dari perbandingan waktu saat melintasi lintasan danau (balairung):

Tabel 3.4 Data Waktu Tempuh Melewati Lintasan Menanjak dengan Sepeda Lipat

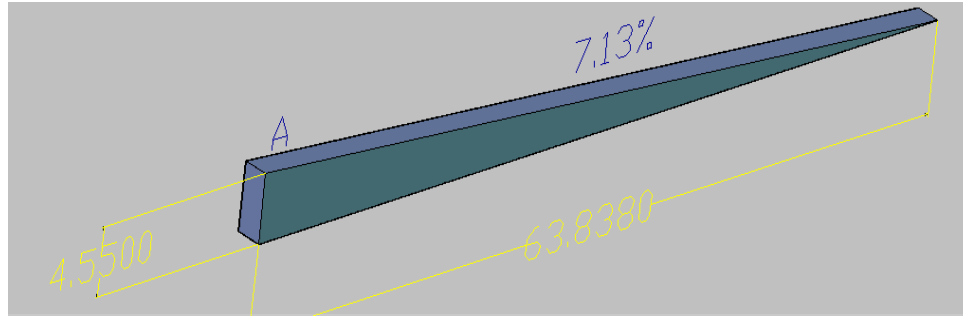
Lintasan	Waktu tempuh (s)	
	Pria	Wanita
Danau (Balairung)	10	14
Gerbang UI 2	35	51

3.3. Perancangan Model

Tahapan awal dalam perancangan model adalah membuat objek-objek yang akan dimasukkan ke dalam lingkungan virtual dengan menggunakan *software* desain yaitu Auto CAD dan Solidworks. Objek-objek yang akan dimasukkan dibuat sesuai dengan ukuran sebenarnya yang telah diperoleh dari hasil observasi. Hasil dari gambar Auto CAD dan solidworks ini akan diimpor ke dalam *software* Jack untuk menciptakan suatu kondisi lingkungan virtual yang mereperesentasikan kondisi nyata yang sebenarnya. Objek-objek yang akan dibuat adalah sepeda lipat sesuai dengan kondisi spesifikasi yang ada serta kondisi lintasan menanjak dengan panjang lintasan, tinggi lintasan, serta kemiringan sesuai dengan kondisi nyata lintasan sepeda UI.



Gambar 3.14 Desain Sepeda Lipat dengan Solidworks



Gambar 3.15 Desain Lintasan Menanjak dengan Auto CAD

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menggunakan *software* Jack 6.0 adalah sebagai berikut:

6. Membangun sebuah lingkungan *virtual* (*virtual environment*)
7. Membuat model manusia (manekin)
8. Memposisikan model manusia ke dalam lingkungan *virtual* (*virtual environment*)
9. Memberikan tugas kepada model manusia (manekin)
10. Menganalisis kinerja model manusia (manekin)

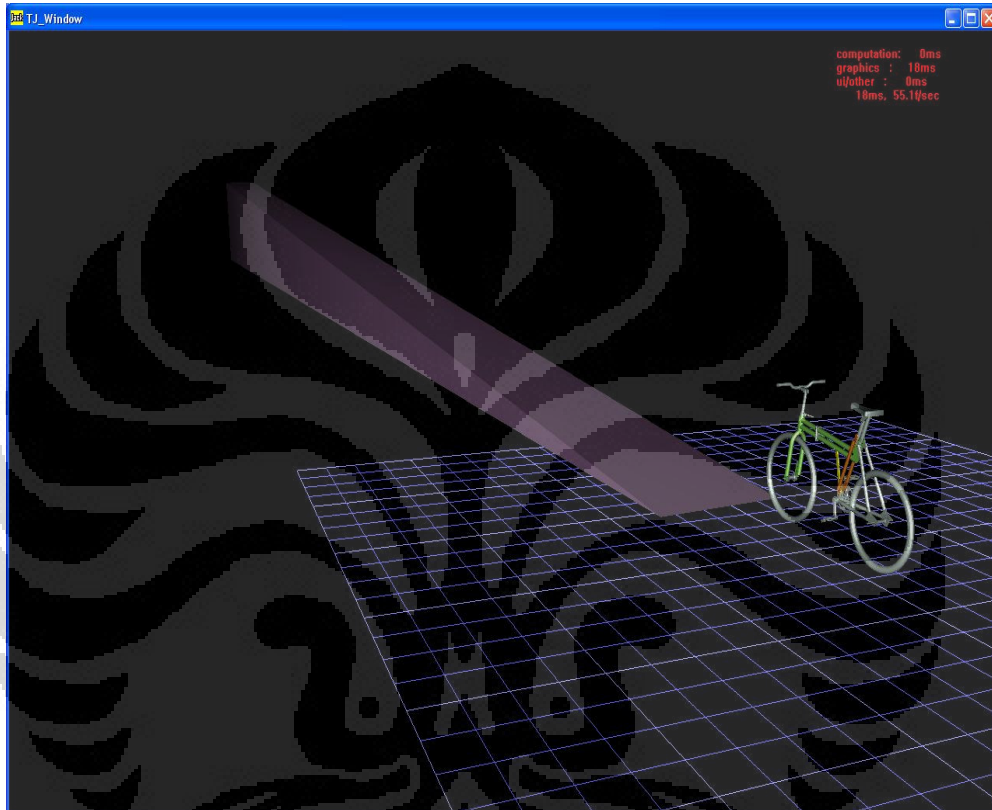


Gambar 3.16 Tahapan Perancangan Model dengan Jack

3.1.1 Membangun Lingkungan Virtual (*Virtual Environment*)

Pembuatan lingkungan virtual (*virtual environment*) dilakukan dengan menggunakan objek-objek baik yang disediakan oleh *software* Jack itu sendiri

maupun dengan mengimpor objek yang telah dibuat sebelumnya dengan *software* Auto CAD maupun solidworks. Dalam hal ini, objek yang digunakan seluruhnya dibuat di luar *software* Jack yaitu dibuat dengan *software* Auto CAD dan solidworks. Objek-objek yang akan dimasukkan adalah sepeda lipat sebagai objek utama serta lintasan menanjak yang akan dilalui saat mengendarai sepeda.

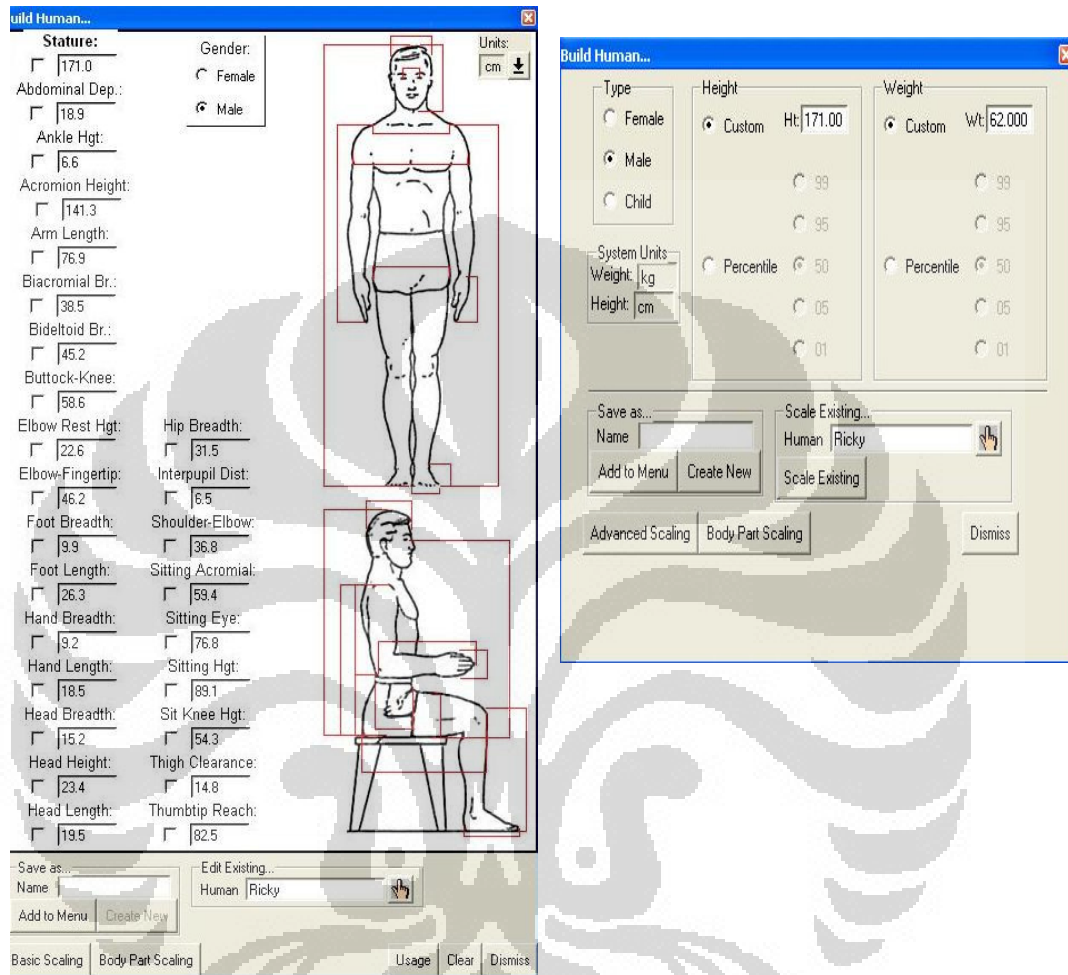


Gambar 3.17 Tampilan Lingkungan Virtual dalam Jack

3.1.2 Membuat Model Manusia

Untuk dapat membuat model manusia di Jack, dapat menggunakan model manusia yang telah disediakan oleh Jack. Model manusia Jack terdiri dari 71 segmen, 69 persendian, dan 135 derajat kebebasan. Database antropometri yang digunakan oleh Jack untuk membuat manekin manusia adalah ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*). Jack juga memungkinkan penggunaanya untuk membuat model manusia tidak hanya dengan model “5th dan 95th”, melainkan juga pembuatan skala yang lebih detil dengan menggunakan basic scaling maupun advanced scaling. Dalam basic scaling, data yang dimasukkan adalah tinggi badan serta berat badan sedangkan dalam advanced scaling dimasukkan data-data yang

lebih detail dan kompleks mencakup tinggi badan, panjang lengan, panjang kaki, lebar kaki, lebar telapak tangan, serta ukuran-ukuran lainnya.



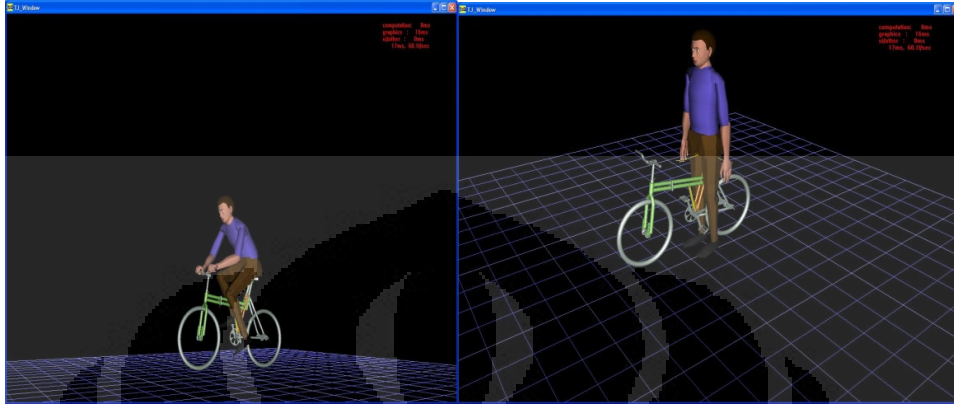
Gambar 3.18 Tampilan Input Data Antropometri dalam Jack

Data antropometri yang digunakan adalah data antropometri persentil 50% disebabkan data antropometri ini merepresentasikan kondisi nilai tengah untuk populasi pengendara sepeda di wilayah kampus. Dengan dipilihnya nilai tengah ini, nilainya tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah.

3.1.3 Memosisikan Model Manusia

Setelah memasukkan seluruh objek ke dalam lingkungan virtual software jack dan manusia sebagai pengendara sepeda maka langkah selanjutnya adalah

memposisikan manusia yang merepresentasikan posisi saat mengendarai sepeda. Berikut ini adalah posisi manusia saat mengendarai sepeda.



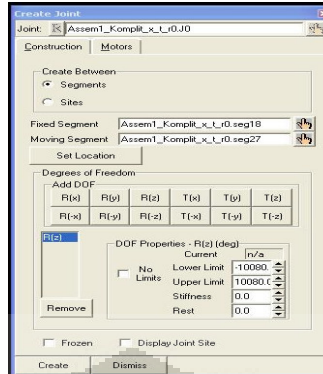
Gambar 3.19 Tampilan Saat Memposisikan Manusia Mengendarai Sepeda

3.1.4 Memberi Tugas Kepada Model Manusia

Fitur-fitur yang tersedia dalam Jack memungkinkan pembuatan mekanisme gerakan yang dapat merepresentasikan gerakan sebenarnya yang terjadi di dalam dunia nyata. Pada kasus ini, gerakan yang diinginkan adalah gerakan mengayuh sepeda yang dilakukan oleh pengendara disertai dengan gerakan sepeda yang melewati lintasan menanjak.

Langkah-langkah dalam membuat gerakan tersebut adalah sebagai berikut:

- Membuat *joint* pada sepeda lipat sehingga memungkinkan pedal dapat berputar pada sumbu tertentu dengan batasan derajat tertentu. Joint yang dibuat di sini terdiri dari empat buah yaitu joint antara batang pedal dan pusat bundaran pedal serta antara batang pedal dan dudukan pedal (masing-masing dibuat dua buah untuk sisi kanan dan kiri). Berikut ini adalah menu untuk membuat *joint* yang terdapat dalam Jack:



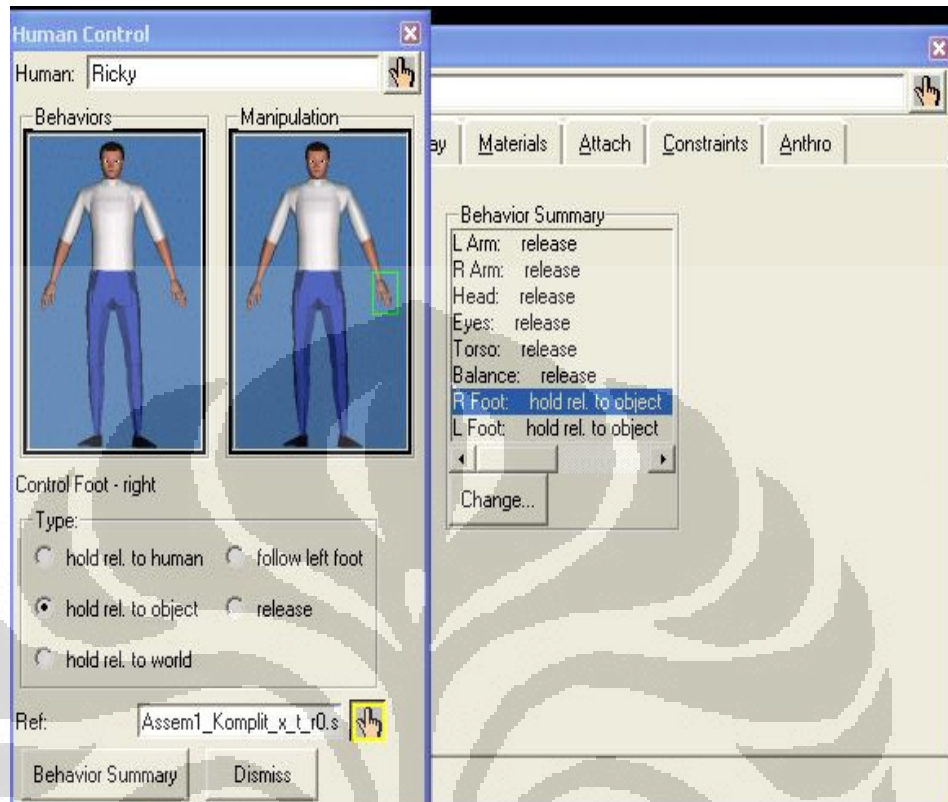
Gambar 3.20 Tampilan Untuk Membuat *Joint* dalam Jack

Dari menu di atas, dapat dilihat salah satu pembuatan joint yang dilakukan. *Joint* dibuat dengan memilih segmen yang tetap sebagai pusat serta segmen yang akan bergerak. Selanjutnya dipilih gerakan yang ingin dibuat (translasi atau rotasi) serta sumbu yang dipilih dan pusat dari sumbu tersebut. Gerakan yang ingin dibuat juga dapat dibatasi derajat maksimum dan minimum pergerakannya, karena dalam kasus ini mengayuh sepeda merupakan gerakan yang terus menerus maka derajat maksimum dan minimum yang dipilih memiliki angka yang cukup ekstrim. Setelah *joint* dibuat, perlu dilakukan pengujian terhadap gerakannya apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan dengan menggunakan menu adjust joint seperti gambar berikut:



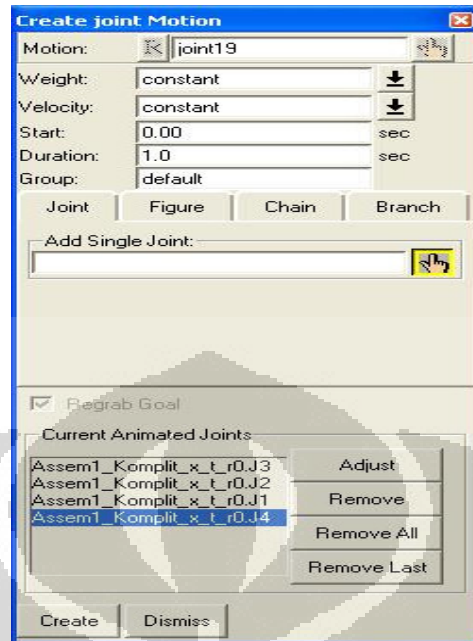
Gambar 3.21 Tampilan Untuk Menguji Pergerakan *Joint* dalam Jack

- Membuat agar gerakan kaki yang dilakukan oleh pengendara akan mengikuti gerakan berputarnya pedal. Hal ini dilakukan dengan menggunakan salah satu menu di Jack yang membuat kedua kaki manusia selalu menempel dan mengikuti objek tertentu (*foot hold to object*) di mana dalam kasus ini objek yang dipilih adalah dudukan pedal. Menu untuk membuat hal tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3.22 Tampilan Menu Untuk Membuat Gerakan Kaki Sejalan Dengan Gerakan Pedal

- Membuat animasi gerakan mengayuh sepeda. Hal ini dilakukan dengan menggunakan menu *animation system* di dalam Jack. Terdapat banyak menu di dalam *animation system*, menu yang pertama digunakan adalah general joint untuk membuat pergerakan pedal sepeda sesuai dengan yang diinginkan serta dengan memberikan durasi waktu yang sesuai. Menu untuk membuat gerakan joint tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3.23 Tampilan Menu Untuk Membuat Pergerakan *Joint* dalam Sistem Animasi

Single joint yang dipilih adalah keempat *joint* yang telah dibuat sebelumnya. Waktu yang dipilih adalah dimulai dari 0 s dengan durasi adalah 1 s. Kemudian dilanjutkan dengan *adjust joint* untuk menentukan derajat berputarnya pedal tersebut seperti ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 3.24 Tampilan Saat Mengatur Pergerakan Pedal dalam Sistem Animasi

Gambar di atas menunjukkan salah satu *adjust joint motion* yang dilakukan pada salah satu *joint* di mana dalam hal ini adalah joint antara bundaran pedal dan batang pedal. Untuk gerakan pada joint tersebut adalah berputar sebesar -90 derajat untuk setiap detiknya sedangkan untuk gerakan *joint* antara batang pedal dan dudukan pedal berputar sebesar 90 derajat untuk setiap detiknya. Keseluruhan pembuatan gerakan *joint* tersebut dilakukan terus menerus setiap detiknya sampai di detik di mana sepeda mencapai puncak lintasan menanjak (waktu melewati lintasan diperoleh dari hasil observasi).

- Menambahkan gaya-gaya agar sesuai dengan kondisi nyata. Hal ini dilakukan dengan cara menambahkan gaya kayuh sepeda pada kaki serta menambah gaya pada bagian bahu agar merepresentasikan kondisi mahasiswa yang membawa tas punggung sebagai tambahan beban.

Perhitungan untuk gaya kayuh sepeda adalah sebagai berikut:

Lintasan mendatar:

$$\begin{aligned}
 F_{rb} &= F \text{ Sepeda} + F \text{ gesek} \\
 &= 0 \text{ (percepatan dianggap } 0) + \text{koef.gesek} \times \text{gaya normal} \\
 &= 0 + (0.85 \times (\text{massa manusia} + \text{massa sepeda}) \times \text{gravitasi}) \\
 &= 0 + (0.85 \times (62 \text{ Kg} + 15 \text{ Kg}) \times 9.8) \\
 &= 641.41 \text{ N} \\
 F_p &= (R_{gd} \times F_{rb} \times R_{rb}) / (R_{gb} \times L_{tp}) \\
 &= (9 \text{ cm} \times 641.41 \text{ N} \times 25.4 \text{ cm}) / (4.5 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}) \\
 &= 2962.15 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya tersebut untuk kedua pedal, maka untuk masing-masing kaki diberi gaya sebesar 2962,15 dibagi dua menjadi 1481,07 N atau jika dikonversi menjadi mass sebesar 151,12 Kg.

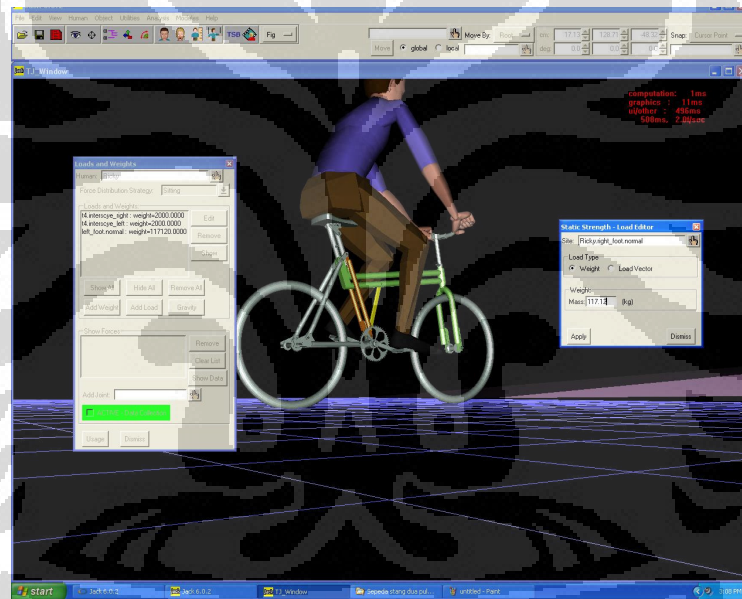
Lintasan Menanjak

$$\begin{aligned}
 F_{rb} &= F \text{ Sepeda} + F \text{ gesek} + mg \sin \varphi \\
 &= 0 \text{ (percepatan dianggap } 0) + (\text{koef.gesek} \times mg \cos \varphi) + \\
 &\quad mg \sin \varphi \\
 &= 0 + (0.85 \times 77 \text{ Kg} \times 9.8 \cos 6.56^\circ) + (77 \text{ Kg} \times 9.8 \sin \\
 &\quad 6.56^\circ) \\
 &= 823,22 \text{ N}
 \end{aligned}$$

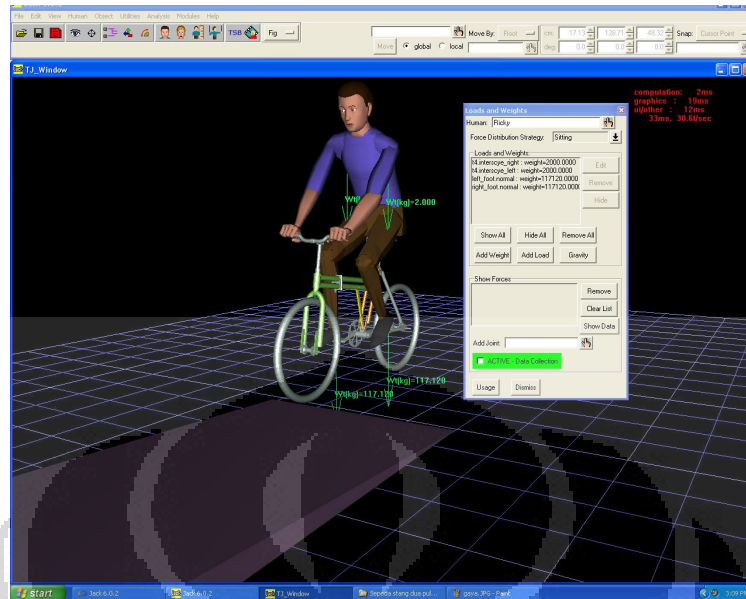
$$\begin{aligned}
 F_p &= (R_{gd} \times F_{rb} \times R_{rb}) / (R_{gb} \times L_{tp}) \\
 &= (9 \text{ cm} \times 823,22 \text{ N} \times 25,4 \text{ cm}) / (4,5 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}) \\
 &= 2631,99 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya tersebut untuk kedua pedal, maka untuk masing-masing kaki diberi gaya sebesar 2631,99 N dibagi dua menjadi 1315,99 N atau jika dikonversi menjadi massa sebesar 151,12 Kg.

Selanjutnya gaya-gaya tersebut dimasukkan ke *software* jack dengan membebankan gaya kayuh sepeda ke kedua kaki pengendara serta beban tas dan barang bawaan lainnya (asumsi 4kg) ke kedua bahu pengendara, berikut adalah tampilan saat memasukkan gaya tersebut:

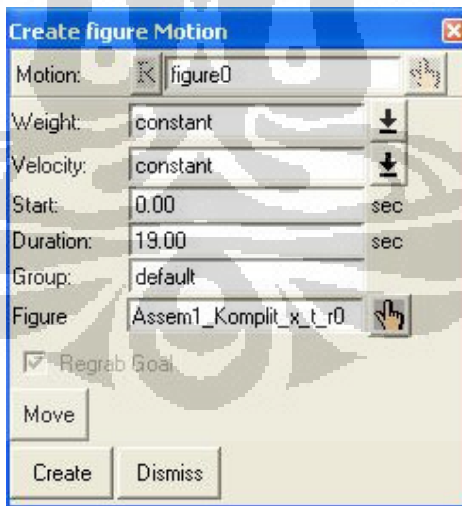


Gambar 3.25 Tampilan Saat Memasukkan Gaya ke dalam Jack



Gambar 3.26 Tampilan Gaya-Gaya yang ada dalam Jack

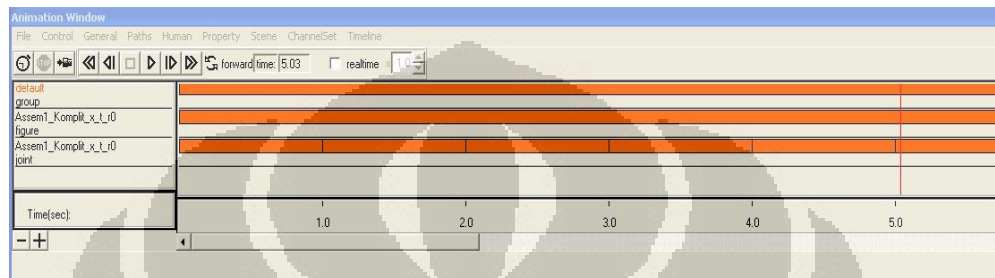
- Membuat gerakan animasi agar sepeda bergerak dari dasar lintasan sampai ke puncak lintasan menanjak. Hal ini dilakukan dengan menggunakan salah satu menu dalam *animation system* yaitu *general figure* seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.27 Tampilan Menu Untuk Menggerakkan Sepeda ke Puncak Lintasan Menanjak

Figure yang dipilih adalah sepeda serta waktu awal melakukan gerakan adalah pada 0 s serta durasi gerakan tersebut adalah berdasarkan data observasi lapangan seberapa lama sepeda melintasi tanjakan menuju ke puncak tanjakan.

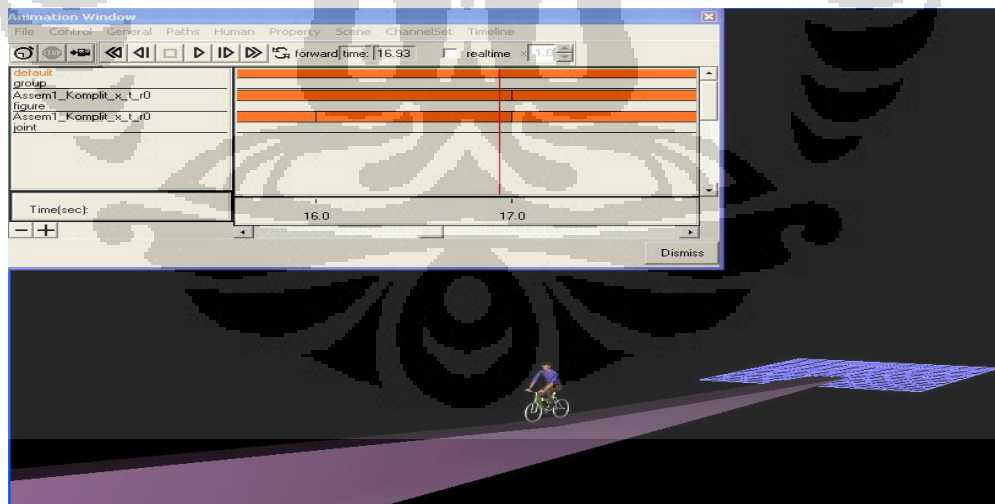
Setelah semua gerakan dalam *animation system* tersebut selesai (*general joint* dan *general figure*) maka tampilan dalam *animation system* akan seperti berikut:



Gambar 3.28 Tampilan *Animation System* di dalam Jack

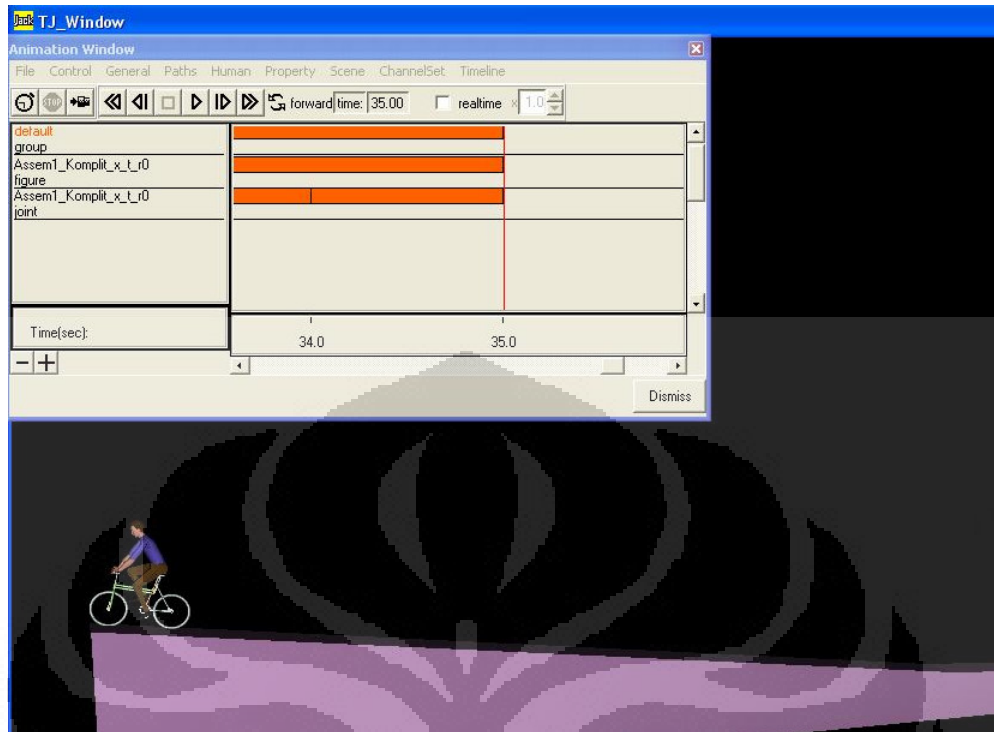
- Menjalankan program di dalam *animation system*. Setelah seluruh hal di atas telah selesai dibuat, maka program dijalankan untuk menunjukkan gerakan yang merepresentasikan gerakan mengayuh sepeda yang sebenarnya.

Berikut ini adalah saat program dijalankan sampai detik ke 17:



Gambar 3.29 Tampilan Saat Animasi Dijalankan Selama 17 Detik

Berikut ini adalah saat gerakan dilakukan sampai selesai, dalam kasus ini adalah 19 s mengacu pada data lintasan menanjak pada lintasan gerbang UI 2:



Gambar 3.30 Tampilan Saat Animasi Dijalankan Hingga Selesai

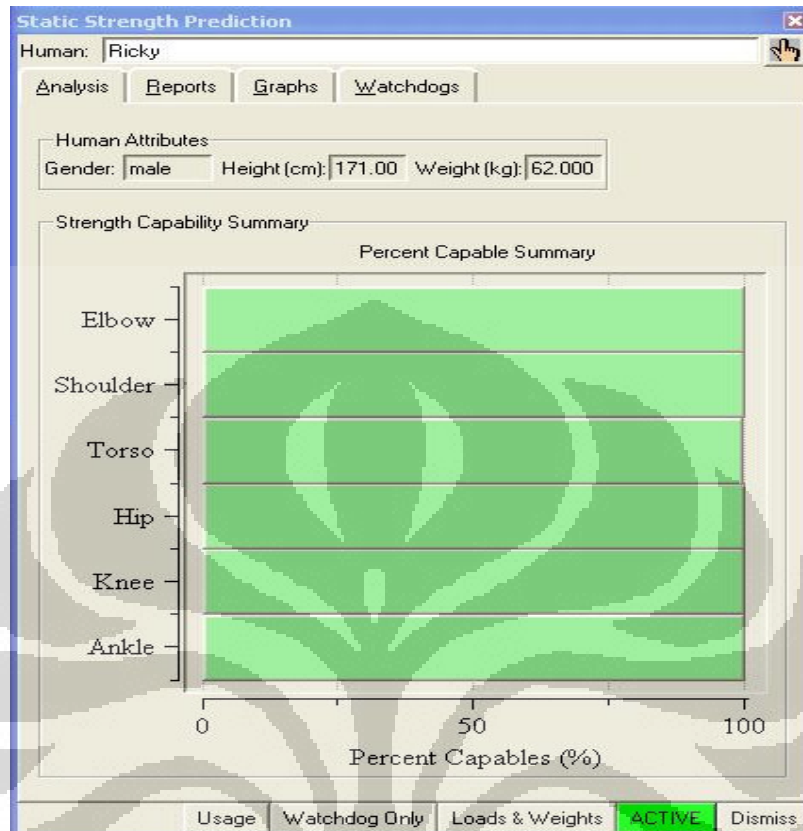
3.1.5 Menganalisis Kinerja Model Manusia

Setelah melakukan animasi gerakan yang merepresentasikan dunia nyata. Hal yang selanjutnya dilakukan adalah menganalisis kondisi manusia (pengendara) saat melakukan gerakan tersebut. Jack memiliki menu khusus untuk melakukan analisa dan mengevaluasi performa manusia saat melakukan analisa di antaranya adalah *Jack Analysis Toolkit*. Dari beberapa analisa yang dapat dilakukan oleh Jack TAT, analisa yang dipilih adalah static strength prediction, RULA, OWAS, dan LBA untuk dapat menghasilkan nilai PEI (*Posture Evaluation Index*).

Berikut ini adalah tampilan saat melakukan analisis dengan beberapa tools tersebut:

1. *Static Strength Prediction*

Pada awal model simulasi ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin UI dengan menggunakan *software Jack 6.0*, dilakukan analisa awal dengan menggunakan SSP untuk memperlihatkan persentase dari populasi yang dapat melakukan pekerjaan tersebut, jika persentase melebihi 90 % maka perhitungan dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut ini adalah hasil SSP untuk penggunaan sepeda lipat dengan desain awal:



Gambar 3.31 Tampilan Hasil Keluaran Saat Menganalisis dengan SSP

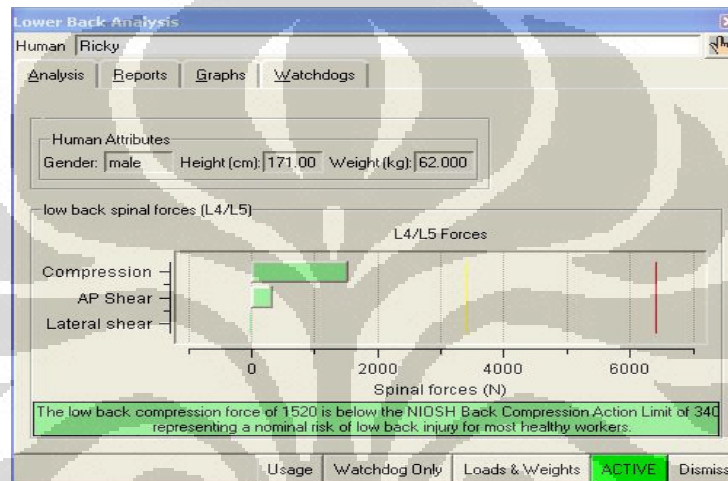
Tabel 3.5 Hasil Analisis dengan SSP

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	57	14	100	-1	FLEXN	60	15	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-5	ABDUCT	75	18	100	-5	ABDUCT	81	20	100
	Rotation Bk/Fd	-2	FORWARD	95	26	100	-0	--	102	28	100
	Humeral Rot	-0	--	45	10	100	-0	--	46	10	100
Trunk	Flex/Ext	-73	EXTEN	409	129	100					
	Lateral Bending	-2	RIGHT	402	87	100					
	Rotation	1	--	99	27	100					
	Hip	-0	--	224	90	99	0	--	168	46	100
	Knee	0	--	152	53	100	0	--	165	58	100
	Ankle	0	--	163	54	100	0	--	155	51	100

2. Lower Back Analysis

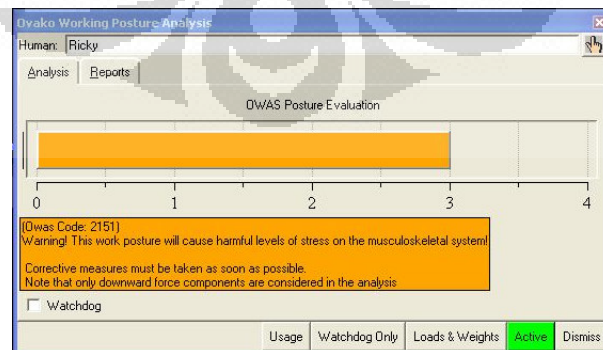
Dari hasil LBA ini dapat diperoleh nilai gaya yang bekerja pada tulang belakang saat melakukan aktivitas. Nilai batas gaya tekanan yang sudah memasuki kategori peringatan adalah sebesar 3400 newton yang merupakan nilai batas gaya tekanan yang dapat diterima tulang belakang pada postur mengangkat dan merupakan standar NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*). Berikut ini adalah hasil LBA untuk penggunaan sepeda lipat dengan desain awal:



Gambar 3.32 Tampilan Saat Menganalisis dengan LBA

3. *Ovako Working Posture Analysis (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.



Gambar 3.33 Tampilan Hasil Keluaran Saat Menganalisis dengan OWAS

4. Rappid Upper Limb Assesment (RULA)

Dari penggunaan RULA, dapat diperoleh nilai yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas pengendara.

The screenshot shows the RULA software interface with the following data:

Body Group A Posture Rating		Body Group B Posture Rating	
Upper arm:	3	Neck:	4
Lower arm:	3	Trunk:	3
Wrist:	2	Total:	7
Wrist Twist:	2		
Total:	4		

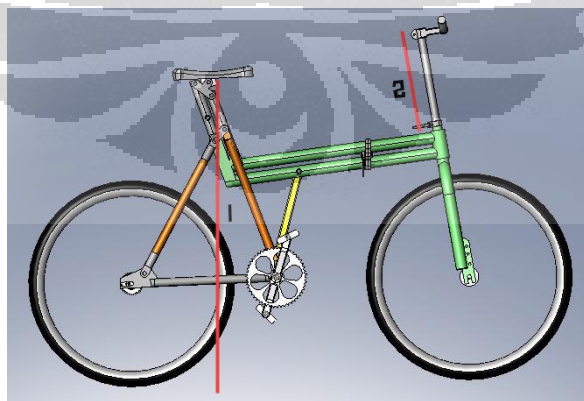
Additional assessment details:

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

Gambar 3.34 Tampilan Hasil Keluaran Saat Menganalisis dengan RULA

3.4. Konfigurasi Desain Sepeda Lipat Departemen Teknik Mesin UI

Pembuatan konfigurasi desain sepeda lipat DTM FT-UI ini berdasarkan atas tinggi stang dan tinggi sadel sepeda lipat dengan penambahan dari kondisi desain awalnya.



Gambar 3.35 Posisi Stang dan Sadel Sepeda Lipat pada Kondisi Aktual

Keterangan:

1. Tinggi Sadel
2. Tinggi Stang

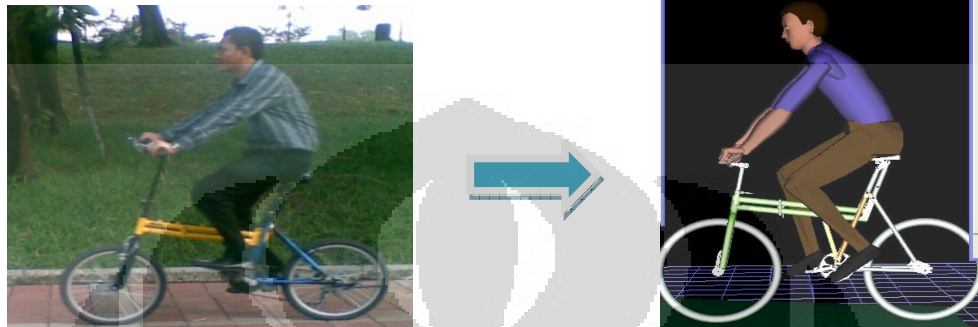
Untuk posisi stang sepeda lipat akan ada tiga desain yaitu dengan tinggi awal 12 cm dan untuk desain berikutnya disertai penambahan 10 cm dan 20 cm menjadi 22 cm dan 32 cm. Kemudian untuk posisi sadel sepeda lipat juga terdiri dari tiga desain yaitu kondisi awal dengan tinggi 83 cm dari permukaan tanah dan desain berikutnya dengan disertai penambahan tiap 4 cm menjadi 87 cm dan 91 cm. Nilai interval pertambahan tinggi stang dan sadel ini merupakan hasil observasi langsung terhadap objek sepeda lipat itu sendiri. Dengan jenis-jenis tipe desain stang dan sadel tersebut maka dapat diwujudkan 9 konfigurasi desain sepeda lipat. Tiap desain sepeda itu akan dimasukkan ke dalam model lintasan mendatar dan menanjak sehingga akan ada total 18 buah model yang dibuat. Berikut ini adalah tabel konfigurasi desain dari sepeda lipat:

Tabel 3.6 Konfigurasi Desain Sepeda Lipat

Konfigurasi	Tinggi Stang (dari batang tengah sepeda)	Tinggi Sadel (dari permukaan tanah)	Lintasan	Keterangan
1	12 cm	83 cm	Menanjak	Model Awal
2	12 cm	83 cm	Mendatar	Model Awal
3	22 cm	83 cm	Menanjak	Model Diajukan
4	22 cm	83 cm	Mendatar	Model Diajukan
5	32 cm	83 cm	Menanjak	Model Diajukan
6	32 cm	83 cm	Mendatar	Model Diajukan
7	12 cm	87 cm	Menanjak	Model Diajukan
8	12 cm	87 cm	Mendatar	Model Diajukan
9	12 cm	91 cm	Menanjak	Model Diajukan
10	12 cm	91 cm	Mendatar	Model Diajukan
11	22 cm	87 cm	Menanjak	Model Diajukan
12	22 cm	87 cm	Mendatar	Model Diajukan
13	22 cm	91 cm	Menanjak	Model Diajukan
14	22 cm	91 cm	Mendatar	Model Diajukan
15	32 cm	87 cm	Menanjak	Model Diajukan
16	32 cm	87 cm	Mendatar	Model Diajukan
17	32 cm	91 cm	Menanjak	Model Diajukan
18	32 cm	91 cm	Mendatar	Model Diajukan

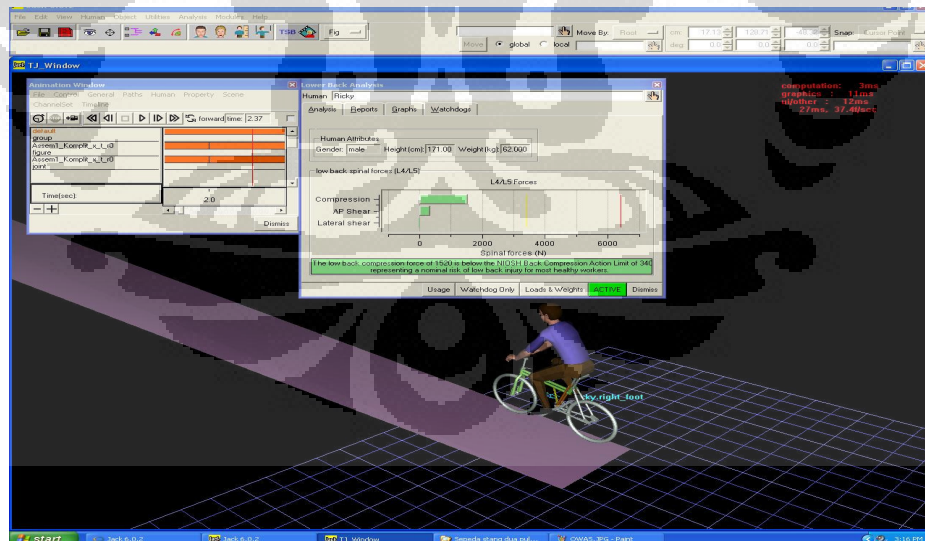
3.5. Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model yang pertama kali dilakukan adalah menyesuaikan postur mahasiswa saat mengendarai sepeda saat dimasukkan ke dalam *software* jack dengan kondisi yang ada di dunia nyata. Berikut ini adalah perbandingan postur yang ada di model dengan postur yang ada kondisi sebenarnya:

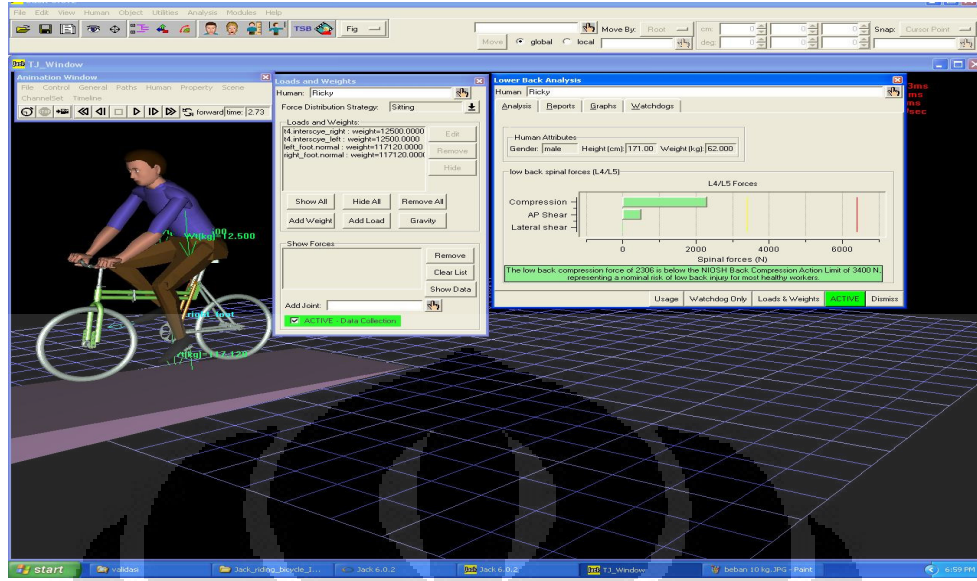


Gambar 3.36 Perbandingan Postur dengan Kondisi Aktual

Kemudian untuk validasi model yang dilakukan adalah mencoba memberikan beban sebesar 25 kg pada kedua bahu pengendara (masing-masing 12,5 kg) kemudian dibandingkan dengan kondisi awal yang hanya dibebankan sebesar 4 kg. Berikut ini adalah perbandingannya:



Gambar 3.37 Kondisi LBA Saat diberikan Gaya Sebesar 4 Kg



Gambar 3.38 Kondisi LBA Saat Diberikan Gaya Sebesar 25 Kg

Dari perbandingan di atas, dapat dilihat bahwa dengan memberikan gaya yang lebih besar pada kedua bahu pengendara maka akan memberikan hasil LBA yang berbeda di mana nilai gaya yang bekerja pada bagian punggung (belakang) bertambah dari yang sebelumnya di bawah 2000 N menjadi lebih dari 2000 N. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut valid dan akan merepresentasikan kondisi yang sebenarnya apabila dilakukan perubahan nilai pada variabel di dalamnya.

BAB 4

ANALISIS

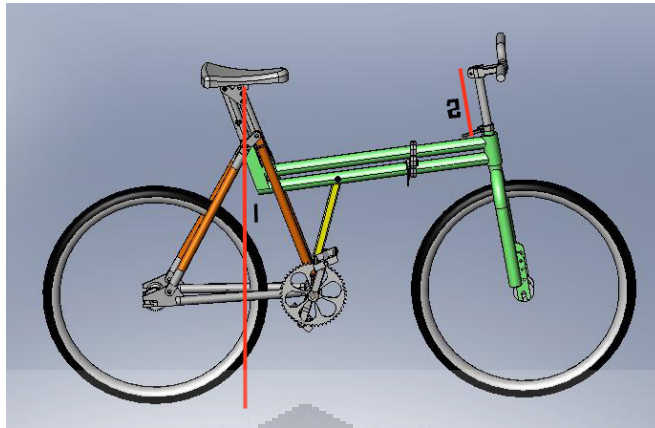
Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil analisis ergonomi yang diperoleh setelah menjalankan model simulasi *virtual environment modeling* dari proses mengendarai sepeda lipat Departemen Teknik Mesin FT-UI terhadap pengendara pria yang dibuat menggunakan *software* Jack. Analisis terdiri dari perhitungan PEI dari tiap konfigurasi desain sepeda lipat untuk lintasan mendatar dan menanjak serta rekapitulasi dan perbandingan nilai PEI dari tiap konfigurasi desain sepeda lipat tersebut.

Objek utama dari model simulasi yang akan dibuat terdiri dari 9 konfigurasi desain sepeda lipat DTM UI yang terdiri dari satu desain aktual dan 8 desain usulan sepeda lipat. Perubahan yang dilakukan pada desain usulan tersebut adalah pada tinggi stang dan tinggi sadel. Perubahan yang dilakukan pada stang adalah dengan penambahan tinggi stang 10 cm dan 20 cm sedangkan perubahan pada sadel adalah dengan menambahkan tingginya sebesar 4 cm dan 8 cm. Konfigurasi desain dibuat dengan mengkombinasikan tinggi stang dan tinggi pedal tersebut sehingga akan terbentuk 9 konfigurasi desain sepeda lipat. Setiap konfigurasi desain sepeda lipat tersebut akan diujikan pada lintasan mendatar dan menanjak. Setiap model dari konfigurasi desain tersebut akan dianalisis dengan cara yang sama menggunakan SSP, LBA, OWAS, dan RULA yang terdapat dalam *software* jack untuk memperoleh besarnya nilai PEI.

4.1 Analisis Setiap Konfigurasi Desain

4.1.1 Analisis Konfigurasi Desain 1

Konfigurasi desain 1 untuk desain lipat adalah desain awal sepeda lipat yang telah dibuat. Tinggi stang dari konfigurasi ini adalah 12 cm serta tinggi sadelnya adalah 83 cm.



Gambar 4.1 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 1

Keterangan:

Tabel 4.1 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 1

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	12
2	Sadel (diukur dari tanah)	83

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 1:

Tabel 4.2 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 1

Konfigurasi1		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	100%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	100%	99%	99%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.3 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 1

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
1	Menanjak	1520	3	6
1	Mendatar	1552	3	6

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1520 N. Nilai gaya tersebut tergolong menengah karena posisi punggung agak membungkuk saat tangan harus menjangkau stang sepeda. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1552 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong menengah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar

NIOSH Back Compression Action Limit sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Proses analisis yang selanjutnya yang dibahas adalah hasil yang diperoleh dari OWAS. Selain menampilkan skor akhir dari analisis OWAS, analisis ini juga dapat memunculkan kode yang terdiri dari empat digit angka di mana digit pertama menunjukkan kualitas postur punggung (batang tubuh), digit kedua menunjukkan kualitas postur lengan, digit ketiga menunjukkan kualitas postur kaki dan digit terakhir menunjukkan nilai beban yang diterima oleh postur.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 1 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151, berikut adalah penjelasan untuk kode tersebut:

- Bagian punggung tergolong dalam kategori 2 yang menunjukkan bahwa posisi punggung dalam keadaan sedikit membungkuk dan hal ini terjadi karena adanya posisi untuk menjangkau stang sepeda.
- Bagian lengan tergolong dalam kategori 1 yang menunjukkan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kategori 1 adalah kategori dengan nilai terendah (paling ergonomis).
- Bagian kaki tergolong dalam kategori 5 yang menunjukkan bahwa postur tubuh bagian bawah berada dalam kondisi berbahaya bagi postur. Hal ini terjadi karena posisi kaki pengendara sepeda yang menekuk saat kaki harus menjangkau sadel sepeda untuk melakukan gerakan mengayuh.
- Beban yang diterima oleh postur tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti masih di bawah 10 kg.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan

tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 1:

Tabel 4.4 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 1

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 1			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	3
	Wrist	3	3
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	4	4
	Trunk	3	3
Grand Score		6	6

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 6. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas sangat tinggi serta membutuhkan pemeriksaan dan perubahan postur secepatnya. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas

Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut $45-90^\circ$ sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar terjadi karena tinggi stang yang terlalu rendah sehingga lengan perlu turun ke bawah dan menjangkau stang agak jauh sehingga membuat posturnya lengan atas menjadi kurang baik membentuk sudut simpangan.

- Lengan bawah

Skor untuk lengan bagian bawah bernilai tiga yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.

- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan
Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 3 dan 2 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang tidak tinggi.
- Leher
Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 4 adalah skor tertinggi dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong tinggi dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang tidak sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus membungkuk untuk dapat menjangkau stang.
- Batang tubuh
Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 3. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang harus sedikit membungkuk saat mengendarai sepeda.

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

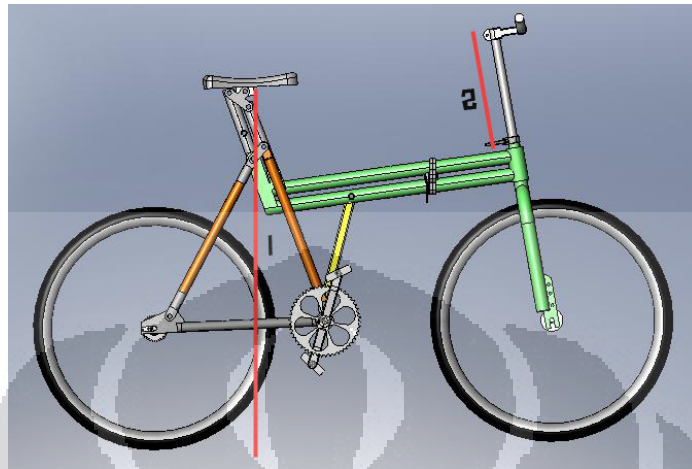
$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3, \text{mr} \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \\
 &= (1520 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7) \cdot (1,42)) \\
 &= 2,414
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan mendatar)} &= I_1 + I_2 + I_3, \text{mr} \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \\
 &= (1552 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7) \cdot (1,42)) \\
 &= 2,423
 \end{aligned}$$

4.1.2 Analisis Konfigurasi Desain 2

Konfigurasi desain 2 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi stang sepeda lipat. Tinggi stang dari

konfigurasi ini adalah menjadi 22 cm serta tinggi sadelnya adalah sama dengan kondisi awal yaitu 83 cm.



Gambar 4.2 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 2

Keterangan:

Tabel 4.5 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 2

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	22
2	Sadel (diukur dari tanah)	83

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 2:

Tabel 4.6 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 2

Konfigurasi 2 Body Part		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	100%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	100%	99%	99%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.7 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 2

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
2	Menanjak	1171 N	3	3
2	Mendatar	1191 N	3	3

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1171 N. Nilai gaya tersebut tergolong menengah karena posisi punggung agak membungkuk saat tangan harus menjangkau stang sepeda. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1191 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong menengah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 2 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 2:

Tabel 4.8 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 2

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 2			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	2
	Wrist	2	3
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	1	1
	Trunk	2	2
Grand Score		3	3

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 3. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas masih dalam batas aman walaupun membutuhkan pemeriksaan dan adanya kemungkinan diperlukan perubahan postur. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas

Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90° sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar terjadi karena tinggi stang yang terlalu rendah sehingga lengan perlu turun

ke bawah dan menjangkau stang sehingga membuat posturnya lengan atas menjadi kurang baik membentuk sudut simpangan.

- Lengan bawah
Skor untuk lengan bagian bawah bernilai 3 yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.
- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan
Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 2 dan 2 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang tidak tinggi.
- Leher
Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 1 adalah skor terendah dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong rendah dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus tidak perlu terlalu membungkuk untuk dapat menjangkau stang.
- Batang tubuh
Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 2. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang lebih tegak saat mengendarai sepeda karena stang dibuat lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelumnya.

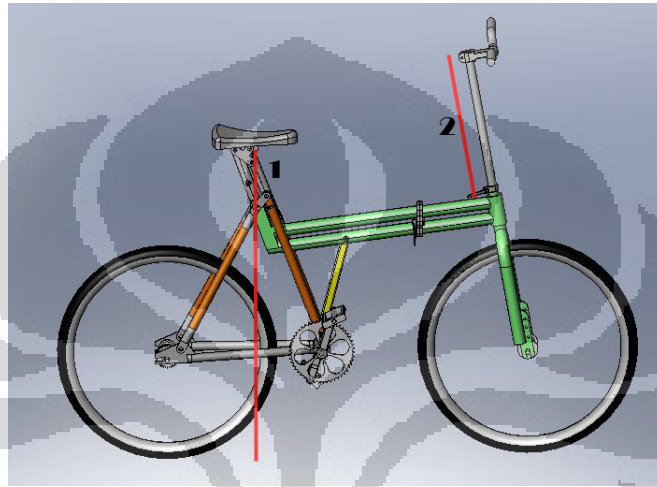
Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3 \cdot m_r \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \\
 &= (1171 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((3/7) \cdot (1,42)) \\
 &= 1,703
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan mendatar)} &= I_1 + I_2 + I_3 \cdot m_r \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \\
 &= (1191 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((3/7) \cdot (1,42)) \\
 &= 1,708
 \end{aligned}$$

4.1.3 Analisis Konfigurasi Desain 3

Konfigurasi desain 3 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi stang sepeda lipat. Tinggi stang dari konfigurasi ini adalah menjadi 32 cm serta tinggi sadelnya adalah sama dengan kondisi awal yaitu 83 cm.



Gambar 4.3 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 3

Keterangan:

Tabel 4.9 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 3

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	32
2	Sadel (diukur dari tanah)	83

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas

populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 3:

Tabel 4.10 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 3

Konfigurasi 3		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
Body Part		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	100%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	100%	99%	100%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.11 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 3

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
3	Menanjak	1008 N	3	3
3	Mendatar	1183 N	3	3

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1008 N. Nilai gaya tersebut tergolong rendah karena posisi badan lebih tegak saat tangan harus menjangkau stang sepeda yang jauh lebih tinggi dibandingkan desain sebelumnya. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1183 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong menengah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak

maupun tersebut masih di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 3 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 3:

Tabel 4.12 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 3

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 3			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	2	2
	Lower Arm	3	3
	Wrist	3	3
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	1	1
	Trunk	2	2
Grand Score		3	3

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 3. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas masih dalam batas aman walaupun membutuhkan pemeriksaan dan adanya kemungkinan diperlukan perubahan postur. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas
Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 2 di mana berarti lengan atas masih dalam kategori zona aman karena stang dibuat jauh lebih tinggi dibandingkan dengan desain awal sehingga posisi lengan atas menjadi lebih normal.
- Lengan bawah
Skor untuk lengan bagian bawah bernilai 3 yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.
- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan
Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 3 dan 2 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang tidak tinggi.
- Leher
Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 1 adalah skor terendah dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong rendah dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus tidak perlu terlalu membungkuk untuk dapat menjangkau stang.
- Batang tubuh
Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 2. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang lebih tegak saat mengendarai sepeda karena stang dibuat lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelumnya.

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3.mr \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7).(1,42)) \\
 &= (1008 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((3/7).(1,42)) \\
 &= 1,66
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan mendatar)} &= I_1 + I_2 + I_3.mr \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA} /7).(1,42)) \\
 &= (1183 \text{ N} /3400 \text{ N}) + (3/4) + ((3/7).(1,42)) \\
 &= 1,706
 \end{aligned}$$

4.1.4 Analisis Konfigurasi Desain 4

Konfigurasi desain 4 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi sadel sepeda lipat. Tinggi stang dari konfigurasi ini adalah tetap dengan kondisi awal yaitu 12 cm serta tinggi sadel bertambah menjadi 87 cm.



Gambar 4.4 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 4

Keterangan:

Tabel 4.13 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 4

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	12
2	Sadel (diukur dari tanah)	87

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90%

yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 4:

Tabel 4.14 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 4

Konfigurasi 4		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	99%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	98%	99%	99%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.15 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 4

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
4	Menanjak	1585 N	3	6
4	Mendatar	1606 N	3	6

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1585 N. Nilai gaya tersebut tergolong menengah karena posisi punggung agak membungkuk saat tangan harus menjangkau stang sepeda. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1606 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong menengah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat

melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 4 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 4:

Tabel 4.12 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 4

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 4			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	3
	Wrist	1	1
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	4	4
	Trunk	3	3
Grand Score		6	6

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 6. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas sangat tinggi serta membutuhkan pemeriksaan dan perubahan postur secepatnya. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas
Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90° sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar terjadi karena tinggi stang yang terlalu rendah sehingga lengan perlu turun ke bawah dan menjangkau stang agak jauh sehingga membuat posturnya lengan atas menjadi kurang baik membentuk sudut simpangan.
- Lengan bawah
Skor untuk lengan bagian bawah bernilai tiga yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.
- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan
Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 1 dan 2 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang rendah.
- Leher
Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 4 adalah skor tertinggi dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong tinggi dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang tidak sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus membungkuk untuk dapat menjangkau stang.
- Batang tubuh
Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 3. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang harus sedikit membungkuk saat mengendarai sepeda.

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned} \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3, \text{mr} \\ &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \end{aligned}$$

$$= (1585 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7) \cdot (1,42))$$

$$= 2,433$$

PEI (Lintasan mendatar) = $I_1 + I_2 + I_3 \cdot m_r$

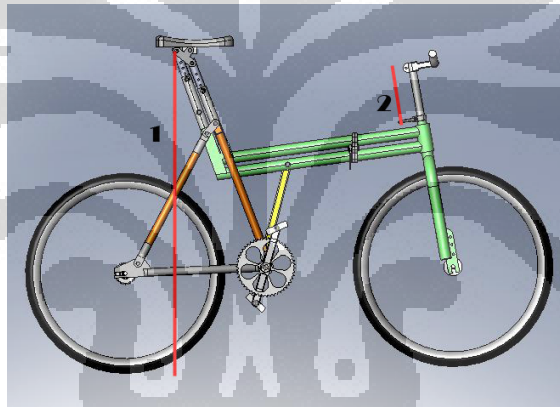
$$= (LBA/3400 \text{ N}) + (OWAS/4) + ((RULA/7) \cdot (1,42))$$

$$= (1606 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7) \cdot (1,42))$$

$$= 2,439$$

4.1.5 Analisis Konfigurasi Desain 5

Konfigurasi desain 5 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi sadel sepeda lipat. Tinggi stang dari konfigurasi ini adalah tetap dengan kondisi awal yaitu 12 cm serta tinggi sadel bertambah menjadi 91 cm.



Gambar 4.5 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 5

Keterangan:

Tabel 4.17 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 5

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	12
2	Sadel (diukur dari tanah)	91

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari

hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 5:

Tabel 4.18 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 5

Konfigurasi5		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Body Part	Elbow	100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
	Flex/ext	100%		99%	
Trunk	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
	Hip	100%	99%	100%	100%
	Knee	100%	100%	100%	100%
	Ankle	100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.19 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 5

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
5	Menanjak	1750 N	3	6
5	Mendatar	1772 N	3	6

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1750 N. Nilai gaya tersebut tergolong menengah karena posisi punggung lebih membungkuk saat tangan harus menjangkau stang sepeda karena posisi duduk yang lebih tinggi dibandingkan dengan desain awal. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan

mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1772 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong menengah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 5 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 5:

Tabel 4.20 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 5

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 5			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	3
	Wrist	3	3
	Wrist Twist	1	1
Body Group B	Neck	5	5
	Trunk	3	3
Grand Score		6	6

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 6. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera

pada tubuh bagian atas sangat tinggi serta membutuhkan pemeriksaan dan perubahan postur secepatnya. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas

Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut $45-90^\circ$ sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar terjadi karena tinggi stang yang terlalu rendah sehingga lengan perlu turun ke bawah dan menjangkau stang agak jauh sehingga membuat posturnya lengan atas menjadi kurang baik membentuk sudut simpangan.

- Lengan bawah

Skor untuk lengan bagian bawah bernilai tiga yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.

- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan

Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 3 dan 1 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang terlalu tinggi terutama untuk pergelangan tangan.

- Leher

Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 5 adalah skor tertinggi dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong tinggi dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang tidak sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus lebih membungkuk untuk dapat menjangkau stang karena posisi duduk yang lebih tinggi dibandingkan dengan desain awal.

- Batang tubuh

Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 3. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang harus sedikit membungkuk saat mengendarai sepeda.

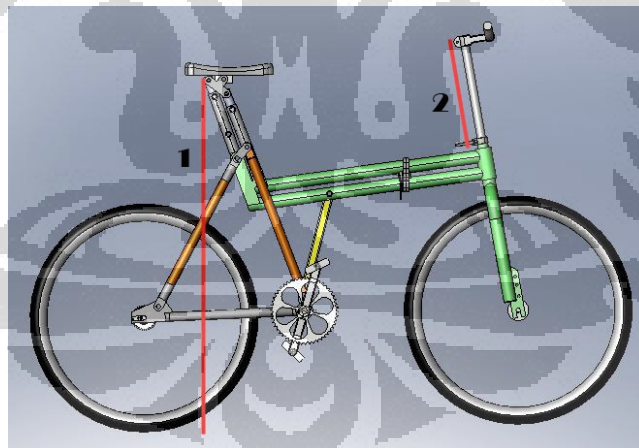
Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3.mr \\
 &= (LBA/3400 \text{ N}) + (OWAS/4) + ((RULA /7).(1,42)) \\
 &= (1750 \text{ N} /3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7).(1,42)) \\
 &= 2,481
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan mendatar)} &= I_1 + I_2 + I_3.mr \\
 &= (LBA/3400 \text{ N}) + (OWAS/4) + ((RULA /7).(1,42)) \\
 &= (1772 \text{ N} /3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7).(1,42)) \\
 &= 2,488
 \end{aligned}$$

4.1.6 Analisis Konfigurasi Desain 6

Konfigurasi desain 6 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi stang dan tinggi sadel sepeda lipat. Tinggi stang dari konfigurasi ini bertambah menjadi 22 cm serta tinggi sadel bertambah menjadi 87 cm.



Gambar 4.6 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 6

Keterangan:

Tabel 4.21 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 6

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	22
2	Sadel (diukur dari tanah)	87

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 6:

Tabel 4.22 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 6

Konfigurasi 6		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	100%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		100%	99%	100%	100%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.23 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 6

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
6	Menanjak	1370 N	3	6
6	Mendatar	1441 N	3	6

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1370 N. Nilai gaya tersebut tergolong menengah karena posisi punggung agak membungkuk saat tangan harus menjangkau stang sepeda. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1441 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong menengah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 6 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 6:

Tabel 4.24 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 6

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 6			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	3
	Wrist	3	3
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	4	4
	Trunk	3	3
Grand Score		6	6

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 6. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas sangat tinggi serta membutuhkan pemeriksaan dan perubahan postur secepatnya. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas

Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut $45-90^\circ$ sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar terjadi karena tinggi stang yang terlalu rendah sehingga lengan perlu turun ke bawah dan menjangkau stang agak jauh sehingga membuat posturnya lengan atas menjadi kurang baik membentuk sudut simpangan.

- Lengan bawah

Skor untuk lengan bagian bawah bernilai tiga yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.

- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan

Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 3 dan 3 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang terlalu tinggi.

- Leher

Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 4 adalah skor tertinggi dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal

ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong tinggi dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang tidak sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus membungkuk untuk dapat menjangkau stang.

- Batang tubuh

Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 3. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang harus sedikit membungkuk saat mengendarai sepeda.

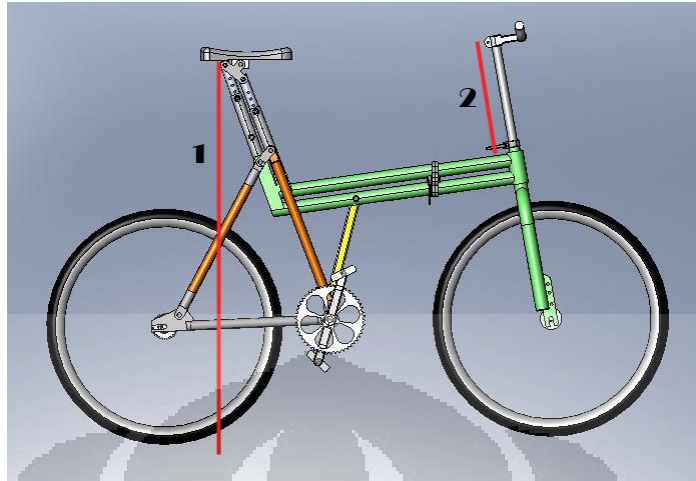
Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3, \text{mr} \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \\
 &= (1370 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7) \cdot (1,42)) \\
 &= 2,37
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan mendatar)} &= I_1 + I_2 + I_3, \text{mr} \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \\
 &= (1441 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7) \cdot (1,42)) \\
 &= 2,39
 \end{aligned}$$

4.1.7 Analisis Konfigurasi Desain 7

Konfigurasi desain 7 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi stang dan tinggi sadel sepeda lipat. Tinggi stang dari konfigurasi ini bertambah menjadi 22 cm serta tinggi sadel bertambah menjadi 91 cm.



Gambar 4.7 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 7

Keterangan:

Tabel 4.25 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 7

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	22
2	Sadel (diukur dari tanah)	91

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 7:

Tabel 4.26 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 7

Konfigurasi 7 Body Part		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	100%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	100%	99%	99%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.27 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 7

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
7	Menanjak	1528 N	3	6
7	Mendatar	1529 N	3	6

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1528 N. Nilai gaya tersebut tergolong menengah karena posisi punggung agak membungkuk saat tangan harus menjangkau stang sepeda. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1529 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong menengah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar

NIOSH Back Compression Action Limit sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 7 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 7:

Tabel 4.28 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 7

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 7			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	3
	Wrist	2	2
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	5	5
	Trunk	3	3
Grand Score		6	6

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 6. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas sangat tinggi serta membutuhkan pemeriksaan dan perubahan postur secepatnya. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas

Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90° sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar

terjadi karena tinggi stang yang terlalu rendah sehingga lengan perlu turun ke bawah dan menjangkau stang agak jauh sehingga membuat posturnya lengan atas menjadi kurang baik membentuk sudut simpangan.

- Lengan bawah

Skor untuk lengan bagian bawah bernilai tiga yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.

- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan

Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 2 dan 2 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang rendah.

- Leher

Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 5 adalah skor tertinggi dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong tinggi dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang tidak sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus membungkuk untuk dapat menjangkau stang karena posisi duduk yang lebih tinggi.

- Batang tubuh

Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 3. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang harus sedikit membungkuk saat mengendarai sepeda.

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3 \cdot m_r \\
 &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \\
 &= (1528 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7) \cdot (1,42)) \\
 &= 2,416
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan mendatar)} &= I_1 + I_2 + I_3.mr \\
 &= (LBA/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7).(1,42)) \\
 &= (1529 \text{ N} /3400 \text{ N}) + (3/4) + ((6/7).(1,42)) \\
 &= 2,416
 \end{aligned}$$

4.1.8 Analisis Konfigurasi Desain 8

Konfigurasi desain 7 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi stang dan tinggi sadel sepeda lipat. Tinggi stang dari konfigurasi ini bertambah menjadi 32 cm serta tinggi sadel bertambah menjadi 87 cm.



Gambar 4.8 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 8

Keterangan:

Tabel 4.29 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 8

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	32
2	Sadel (diukur dari tanah)	87

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk

setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 8:

Tabel 4.30 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 8

Konfigurasi 8		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	100%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		100%	100%	100%	100%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.31 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 8

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
8	Menanjak	1125 N	3	4
8	Mendatar	1193 N	3	4

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1125 N. Nilai gaya tersebut tergolong rendah karena posisi badan lebih tegak saat tangan harus menjangkau stang sepeda yang jauh lebih tinggi dibandingkan desain sebelumnya. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1193 N, nilai gaya tersebut juga masih

tergolong rendah. Tekanan yang diperoleh pada saat melewati lintasan menanjak lebih rendah dibandingkan saat melewati lintasan mendatar, hal ini disebabkan nilai gaya tekan pada lintasan menanjak akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya kemiringan lintasan tersebut. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 8 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 8:

Tabel 4.32 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 8

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 8			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	3
	Wrist	3	3
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	1	1
	Trunk	2	2
Grand Score		4	4

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 4. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas masih dalam batas aman walaupun membutuhkan pemeriksaan dan adanya kemungkinan diperlukan perubahan postur. Kemudian

penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas
Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90° sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar terjadi karena posisi lengan untuk menjangkau stang sepeda.
- Lengan bawah
Skor untuk lengan bagian bawah bernilai 3 yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.
- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan
Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 3 dan 2 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang tidak tinggi.
- Leher
Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 1 adalah skor terendah dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong rendah dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus tidak perlu terlalu membungkuk untuk dapat menjangkau stang.
- Batang tubuh
Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 2. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang lebih tegak saat mengendarai sepeda karena stang dibuat lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelumnya.

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned} \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3, \text{mr} \\ &= (\text{LBA}/3400 \text{ N}) + (\text{OWAS}/4) + ((\text{RULA}/7) \cdot (1,42)) \end{aligned}$$

$$= (1125 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((4/7) \cdot (1,42))$$

$$= 1,892$$

PEI (Lintasan mendatar) = $I_1 + I_2 + I_3 \cdot m_r$

$$= (LBA/3400 \text{ N}) + (OWAS/4) + ((RULA/7) \cdot (1,42))$$

$$= (1193 \text{ N} / 3400 \text{ N}) + (3/4) + ((4/7) \cdot (1,42))$$

$$= 1,912$$

4.1.9 Analisis Konfigurasi Desain 9

Konfigurasi desain 7 untuk desain lipat adalah desain yang diusulkan dengan melakukan perubahan pada tinggi stang dan tinggi sadel sepeda lipat. Tinggi stang dari konfigurasi ini bertambah menjadi 32 cm serta tinggi sadel bertambah menjadi 91 cm.



Gambar 4.9 Desain Sepeda Lipat Untuk Konfigurasi 9

Keterangan:

Tabel 4.33 Ukuran Untuk Sepeda Lipat Konfigurasi Desain 9

No.	Bagian	Tinggi (cm)
1	Stang (diukur dari batang tengah sepeda)	32
2	Sadel (diukur dari tanah)	91

Kemudian analisis dilakukan untuk penggunaan sepeda dengan konfigurasi tersebut baik pada lintasan mendatar maupun menanjak. Berikut adalah hasil analisis untuk konfigurasi desain tersebut:

Analisis awal yang digunakan adalah dengan menggunakan *static strength prediction*. Dari hasil analisis ini, dapat dilihat nilai persentase kapabilitas populasi yang dapat melakukan aktivitas tersebut. Proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya apabila persentase populasi melebihi 90%. Dari hasil yang diperoleh melalui analisis ini, persentase kapabilitas populasi untuk setiap bagian tubuh baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak melebihi 90% yang berarti aktivitas mengendarai sepeda tersebut dapat dilakukan oleh mayoritas populasi mahasiswa sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil SSP untuk konfigurasi desain 9:

Tabel 4.34 Hasil Analisis SSP Untuk Konfigurasi Desain 9

Konfigurasi 9		Percent Capabilities			
		Menanjak		Mendatar	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/ext	100%		100%	
	Lateral bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		100%	100%	100%	100%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	100%	100%	100%

Kemudian proses analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan LBA, OWAS, dan RULA. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari ketiga analisis tersebut untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Tabel 4.35 Hasil Penilaian LBA, OWAS, dan RULA Untuk Konfigurasi Desain 9

No. Konfigurasi	Lintasan	LBA	OWAS	RULA
9	Menanjak	1291 N	3	4
9	Mendatar	1209 N	3	4

Dari hasil analisis LBA, dapat diperoleh nilai gaya tekan yang diperoleh oleh punggung pengendara. Pada model simulasi untuk lintasan menanjak, nilai gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1291 N. Nilai gaya tersebut tergolong rendah karena posisi badan lebih tegak saat tangan harus menjangkau stang sepeda yang jauh lebih tinggi dibandingkan desain sebelumnya. Kemudian untuk model simulasi kedua pada lintasan mendatar, gaya tekan yang diterima oleh punggung adalah sebesar 1209 N, nilai gaya tersebut juga masih tergolong rendah. Kedua nilai gaya tekan yang diperoleh oleh masing-masing model simulasi untuk lintasan menanjak maupun tersebut masih di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat diterima dan risiko akan terjadinya gangguan pada punggung belakang mahasiswa sebagai pengendara masih tergolong rendah.

Dari hasil yang diperoleh melalui analisis dengan OWAS, dapat dilihat bahwa untuk lintasan mendatar maupun menanjak dengan menggunakan sepeda lipat dengan konfigurasi desain 9 akan memberikan skor akhir 3 yang berarti diperlukan perbaikan postur secepatnya karena postur yang sekarang dapat memberikan dampak yang berbahaya. Kemudian untuk kode OWAS yang ada juga terdapat kode yang sama dengan desain sebelumnya untuk lintasan mendatar maupun menanjak yaitu 2151.

Kemudian analisis selanjutnya yang dilakukan untuk memperoleh nilai PEI adalah analisis untuk mendapatkan skor akhir dari RULA yang menunjukkan tingkat risiko cedera yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Berikut ini adalah hasil analisis dari RULA untuk konfigurasi desain 9:

Tabel 4.36 Hasil Penilaian RULA Untuk Konfigurasi Desain 9

SKOR RULA KONFIGURASI DESAIN 9			
Body Part		Menanjak	Mendatar
Body Group A	Upper Arm	3	3
	Lower Arm	3	3
	Wrist	2	2
	Wrist Twist	2	2
Body Group B	Neck	1	1
	Trunk	3	3
Grand Score		4	4

Dari tabel hasil analisis dengan RULA di atas, dapat dilihat bahwa skor akhir RULA baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak memberikan hasil yang sama yaitu 4. Nilai tersebut menunjukkan bahwa risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas masih dalam batas aman walaupun membutuhkan pemeriksaan dan adanya kemungkinan diperlukan perubahan postur. Kemudian penjelasan lebih detail untuk masing-masing bagian tubuh berdasarkan skor masing-masing adalah sebagai berikut:

- Lengan atas

Hasil penilaian terhadap lengan bagian atas bernilai 3 di mana berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut $45-90^\circ$ sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan. Sudut simpangan tersebut kemungkinan besar terjadi karena posisi lengan untuk menjangkau stang sepeda.

- Lengan bawah

Skor untuk lengan bagian bawah bernilai 3 yang berarti masih terdapat risiko cedera pada tubuh bagian tersebut namun risiko tersebut masih tidak tergolong tinggi.

- Pergelangan tangan dan Perputaran pergelangan tangan

Hasil penilaian yang diperoleh untuk postur pergelangan tangan perputaran pergelangan tangan adalah 2 dan 2 sehingga masih dalam batas aman dan risiko cedera yang tidak tinggi.

- Leher

Dari hasil penilaian terhadap postur leher dapat dilihat bahwa skor untuk leher yaitu 1 adalah skor terendah dibandingkan bagian tubuh lainnya. Hal ini berarti risiko cedera terhadap bagian leher tergolong rendah dibandingkan anggota tubuh lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena postur leher yang sejajar dengan postur batang tubuh disebabkan tubuh yang harus tidak perlu terlalu membungkuk untuk dapat menjangkau stang.

- Batang tubuh

Hasil penilaian evaluasi RULA untuk bagian batang tubuh adalah 3. Hal ini lebih disebabkan postur tubuh yang sedikit lebih tegak saat mengendarai sepeda karena stang dibuat lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelumnya.

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan skor dari ketiga analisis tersebut adalah menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), berikut ini adalah nilai PEI untuk kondisi lintasan menanjak dan mendatar:

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan menanjak)} &= I_1 + I_2 + I_3.mr \\
 &= (LBA/3400 N) + (OWAS/4) + ((RULA /7).(1,42)) \\
 &= (1291 N /3400 N) + (3/4) + ((4/7).(1,42)) \\
 &= 1,941
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PEI (Lintasan mendatar)} &= I_1 + I_2 + I_3.mr \\
 &= (LBA/3400 N) + (OWAS/4) + ((RULA /7).(1,42)) \\
 &= (1209 N /3400 N) + (3/4) + ((4/7).(1,42)) \\
 &= 1,917
 \end{aligned}$$

4.2 Analisa Perbandingan Nilai PEI Untuk Seluruh Konfigurasi Desain Sepeda Lipat

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari perhitungan PEI untuk masing-masing konfigurasi desain sepeda lipat sebanyak 9 desain dengan masing-masing diujikan di lintasan mendatar dan menanjak maka dapat dipilih konfigurasi desain sepeda lipat yang paling ergonomis dengan nilai PEI terendah. Dari rekapitulasi data perhitungan PEI dapat dilihat bahwa konfigurasi desain sepeda lipat yang ke-3 merupakan konfigurasi desain yang paling ergonomis karena memiliki nilai PEI yang paling rendah. Konfigurasi desain tersebut adalah sepeda lipat dengan disertai perubahan pada tinggi stang dari kondisi awalnya. Tinggi stang mengalami penambahan 20 cm menjadi 32 cm sedangkan tinggi sadel tetap sesuai dengan kondisi awalnya. Dari hasil analisis yang diperoleh dari konfigurasi desain tersebut, desain tersebut memiliki nilai PEI yang rendah karena memiliki skor RULA dan LBA yang lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi desain sepeda lipat lainnya. Nilai RULA menjadi lebih rendah karena postur tubuh bagian yang memiliki risiko cedera yang lebih rendah serta nilai LBA menjadi lebih rendah karena gaya tekan yang berkurang sejalan dengan postur pengendara yang semakin membaik. Dengan posisi stang yang semakin tinggi maka batang tubuh pengendara akan menjadi lebih tegak dan posisi leher pun akan sejajar

dengan batang tubuh tersebut serta dengan posisi sadel yang tetap maka posisi duduk pun tidak berubah dan tetap lebih rendah dibandingkan dengan posisi stang. Dari rekapitulasi data PEI tersebut juga dapat dilihat bahwa adanya kecenderungan bahwa posisi stang yang lebih tinggi akan membuat nilai PEI menjadi semakin tinggi sedangkan posisi sadel yang lebih tinggi akan membuat nilai PEI menjadi semakin rendah.

Tabel 4.37 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Seluruh Konfigurasi Desain Sepeda Lipat

Konfigurasi Desain	Model Simulasi	Tinggi Stang (dari batang tengah sepeda)	Tinggi Sadel (dari permukaan tanah)	Lintasan	Keterangan	LBA	OWAS	RULA	PEI
1	1	12 cm	83 cm	Menanjak	Model Awal	1520	3	6	2,414202
	2	12 cm	83 cm	Mendatar		1552	3	6	2,423613
2	3	22 cm	83 cm	Menanjak	Model Diajukan	1171	3	3	1,702983
	4	22 cm	83 cm	Mendatar		1191	3	3	1,708866
3	5	32 cm	83 cm	Menanjak	Model Diajukan	1008	3	3	1,655042
	6	32 cm	83 cm	Mendatar		1183	3	3	1,706513
4	7	12 cm	87 cm	Menanjak	Model Diajukan	1585	3	6	2,433319
	8	12 cm	87 cm	Mendatar		1606	3	6	2,439496
5	9	12 cm	91 cm	Menanjak	Model Diajukan	1750	3	6	2,481849
	10	12 cm	91 cm	Mendatar		1772	3	6	2,488319
6	11	22 cm	87 cm	Menanjak	Model Diajukan	1370	3	6	2,370084
	12	22 cm	87 cm	Mendatar		1441	3	6	2,390966
7	13	22 cm	91 cm	Menanjak	Model Diajukan	1528	3	6	2,416555
	14	22 cm	91 cm	Mendatar		1529	3	6	2,416849
8	15	32 cm	87 cm	Menanjak	Model Diajukan	1125	3	4	1,892311
	16	32 cm	87 cm	Mendatar		1193	3	4	1,912311
9	17	32 cm	91 cm	Menanjak	Model Diajukan	1291	3	4	1,941134
	18	32 cm	91 cm	Mendatar		1209	3	4	1,917017

4.3 Analisis Perbandingan Nilai PEI Sepeda Lipat Dengan Sepeda UI

Setelah mengetahui desain sepeda lipat yang terbaik, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil dari desain tersebut dengan hasil dari sepeda UI untuk memperoleh hasil pengujian layak atau tidaknya sepeda lipat DTM UI menggantikan sepeda UI untuk digunakan sebagai sarana transportasi di lingkungan kampus UI. Dari perbandingan nilai yang ada ternyata nilai PEI terendah dari konfigurasi sepeda lipat yaitu dari desain sepeda lipat yang ketiga masih lebih rendah dibandingkan dengan nilai PEI sepeda UI dengan kondisi awal (konfigurasi 1). Nilai PEI dari sepeda lipat dengan konfigurasi desain terbaik adalah 1,65 sedangkan nilai PEI untuk sepeda lipat dengan kondisi spesifikasi awal adalah sebesar 1,87. Dari perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa sepeda lipat dengan kondisi desain terbaik berpotensi untuk menggantikan penggunaan sepeda UI ditinjau dari sisi ergonomis.

Berikut ini adalah rekapitulasi PEI untuk sepeda UI baik untuk lintasan mendatar maupun menanjak:

Lintasan menanjak:

Tabel 4.38 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Sepeda UI pada Lintasan Menanjak

Lintasan	Tinggi Stang			
	Tinggi Sadel	12 cm	17 cm	22 cm
Menanjak	11 cm	Konfigurasi 1	Konfigurasi 4	Konfigurasi 7
		1,844	1,831	1,799
	16 cm	Konfigurasi 2	Konfigurasi 5	Konfigurasi 8
		2,048	1,836	1,834
	21 cm	Konfigurasi 3	Konfigurasi 6	Konfigurasi 9
		2,064	2,250	1,843

Lintasan mendatar:

Tabel 4.39 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Sepeda UI pada Lintasan Mendatar

	Tinggi Stang			
	Tinggi Sadel	12 cm	17 cm	22 cm
Mendatar	11 cm	Konfigurasi 1	Konfigurasi 4	Konfigurasi 7
		1,876	1,856	1,846
	16 cm	Konfigurasi 2	Konfigurasi 5	Konfigurasi 8
		2,095	1,883	1,860
	21 cm	Konfigurasi 3	Konfigurasi 6	Konfigurasi 9
		2,097	2,294	1,861

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran. Pada sub-bab kesimpulan akan dijelaskan tentang ringkasan hasil analisis penelitian ergonomi sepeda lipat Departemen Teknik Mesin FT-UI terhadap pengendara pria dengan menggunakan perbandingan PEI (*Posture Evaluation Index*) serta pada sub-bab saran akan dijelaskan tentang masukan yang dapat diberikan terhadap pengembangan desain sepeda lipat yang ergonomis berdasarkan hasil analisis penelitian.

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah ada sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Konfigurasi desain sepeda lipat yang terbaik dari sisi ergonomi untuk pengendara pria adalah konfigurasi ketiga dengan melakukan perubahan pada tinggi stang dibandingkan kondisi awalnya. Sepeda lipat dengan konfigurasi terbaik tersebut memiliki spesifikasi tinggi stang yang mengalami penambahan 20 cm dibandingkan kondisi awalnya menjadi 32 cm serta tinggi sadel yang sama dengan kondisi awalnya. Nilai PEI yang dihasilkan dari sepeda lipat konfigurasi tersebut adalah sebesar 1,655 untuk lintasan menanjak serta 1,706 untuk lintasan mendatar di mana nilai PEI tersebut paling rendah dibandingkan konfigurasi desain sepeda lipat lainnya baik untuk lintasan menanjak maupun mendatar sehingga menunjukkan bahwa desain sepeda tersebut paling ergonomis berdasarkan PEI.
2. Terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi nilai PEI pada pengendara pria saat mengendarai sepeda lipat yaitu posisi tinggi stang, posisi sadel, jarak antara sadel dan stang, serta kondisi lintasan. Terdapat kecenderungan bahwa tinggi stang yang semakin bertambah akan membuat nilai PEI semakin rendah sedangkan tinggi sadel yang semakin bertambah akan membuat nilai PEI semakin tinggi sehingga stang yang semakin tinggi akan membuat pengendara merasa lebih nyaman apabila dilihat dari nilai PEI

tersebut di mana nilai PEI yang semakin rendah menunjukkan bahwa sepeda tersebut paling ergonomis dan nyaman bagi pengendaranya.

3. Desain terbaik yang dapat dikembangkan dari sepeda lipat berpotensi untuk menggantikan sepeda UI dengan kondisi actual apabila ditinjau dari sisi ergonomis bagi pengendara pria. PEI yang dihasilkan dari desain terbaik sepeda lipat sebesar 1,65 lebih rendah dibandingkan dengan PEI sepeda UI kondisi aktual sebesar 1,87 yang menunjukkan sepeda lipat tersebut berpotensi lebih ergonomis dan nyaman bagi pengendara pria dibandingkan dengan sepeda UI.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terhadap pengembangan desain sepeda lipat Departemen Teknik Mesin FT-UI berdasarkan analisis ergonomi terhadap pengendara pria dengan perbandingan PEI adalah sebagai berikut:

1. Menambah ketinggian stang serta mempertimbangkan untuk membuat posisi sadel tetap atau menurunkannya sampai nilai PEI dari pengendara pria mendapatkan nilai tekecil sehingga menunjukkan bahwa postur pengendara menjadi lebih baik.
2. Memperkecil jarak antara stang dan sadel sepeda lipat Departemen Teknik Mesin FT-UI sehingga jangkauan tangan pengendara pria akan menjadi lebih pendek saat ingin memegang stang sepeda tersebut yang membuat nilai postur untuk bagian atas terutama lengan akan menjadi lebih baik.

DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). *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. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: 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.
- Karwowski, W., Marras, W.S. (2003). *Occupational Ergonomic Principles of Work Design*. Boca Raton: CRC Press. Pg 25-1 – 26-12.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual 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
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110*.
- 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. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics.” *Applied Ergonomics* 30.