

**ANALISIS ERGONOMI SEPEDA UI TERHADAP
PENGENDARA WANITA DENGAN METODE
*POSTURE EVALUATION INDEX (PEI) DALAM
VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

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

**LIZA AFRINOTHA
0405077032**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Liza Afrinotha

NPM : 0405077032

Tanda Tangan :

Tanggal : Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Liza Afrinotha

NPM : 0405077032

Departemen : Teknik Industri

Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Sepeda UI terhadap Pengendara Wanita dengan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dalam *Virtual Environment*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Erlinda Muslim, M.E.E (.....)

Penguji : Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE (.....)

Penguji : Akhmad Hidayatno, ST, MBT (.....)

Penguji : Dr. Ir. T. Yuri M.Zagloel, MengSc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

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

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

1. Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE selaku dosen pembimbing utama yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan dukungan untuk menyemangati serta mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini
2. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE selaku dosen pembimbing penelitian yang telah memberikan begitu banyak saran, kritik, dan bantuan lainnya selama penelitian hingga penyusunan skripsi ini
3. Bapak Agung Prehadi beserta keluarga yang telah banyak membantu penulis dari awal hingga akhir penelitian untuk skripsi ini
4. Orang tua, A. Syukri Thaim dan Rasyunah (Alm.) serta kakak-kakak tercinta (Inga Nelly, Dodo Nenny, dan Mbak Ina) atas segala kasih sayang, doa, dukungan, dan motivasi yang selalu diberikan tanpa henti kepada penulis
5. Tim UPT PLK UI (Pak Agung dan Pak Yusuf) yang dengan tangan terbuka bersedia memberikan akses bagi penulis dalam mendapatkan data untuk skripsi ini
6. Bapak Ir.Jachrizar Sumabrata, M.Sc PhD, Bapak Ir.Hendri DS. Budiono, M.Eng, Bapak Dr. Ir. Danardono AS , dan Bapak Anton Widodo yang telah menyediakan waktu untuk berdiskusi dan memberikan masukan kepada penulis
7. Teman-teman seperjuangan (Cindy, Bowo, Ijul, Dhani, Nangke, Muthe, Nyoman) yang menjadi tempat bertukar pikiran serta berbagi suka dan duka selama penelitian dan penyusunan skripsi ini

8. Tri Ramdhani yang setia menemani serta memberikan dukungan, perhatian, dan semangat bagi penulis
9. Lydia Paramita, Shinta Rispari, Khasanah, Widi Ayu Kinanti, Riezka Erlia dan M.Farkhan Rizaputra, sahabat terbaik yang telah banyak membantu dalam memberikan masukan, dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
10. Teman-teman di Teknik Industri angkatan 2005 lainnya yang telah berjuang bersama selama empat tahun terakhir, berbagi kisah suka dan duka serta mimpi-mimpi di masa depan
11. 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
12. Semua pihak yang turut membantu penulis dalam penelitian dan penyusunan skripsi yang tidak mungkin disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Depok, 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 : Liza Afrinotha
NPM : 0405077032
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Analisis Ergonomi Sepeda UI terhadap Pengendara Wanita dengan Metode
Posture Evaluation Index (PEI) dalam *Virtual Environment***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2009

Yang menyatakan

(Liza Afrinotha)

ABSTRAK

Nama : Liza Afrinotha
Departemen : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Ergonomi Sepeda UI terhadap Pengendara Wanita dengan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dalam *Virtual Environment*

Penelitian ini membahas tentang analisis aspek ergonomis sepeda UI dilihat dari postur tubuh pengendara wanita. Analisis tersebut dilakukan dengan metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dalam *virtual environment*. Hasil penelitian ini berupa penilaian terhadap sepeda UI yang ada saat ini dari segi ergonomi dan rekomendasi desain sepeda UI dengan tinggi stang 22 cm dan tinggi sadel 11 cm sebagai desain sepeda UI yang ergonomis. Seluruh metode dan analisis yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan perhitungan dan simulasi pada software JACK 6.0.

Kata Kunci :
Ergonomi, Sepeda UI, PEI, LBA, OWAS, RULA, Jack 6.0

ABSTRACT

Name : Liza Afrinotha
Department : Industrial Engineering
Title : Ergonomic Analysis of UI Bicycle to Female Using Posture Evaluation Index (PEI) Method in Virtual Environment

This study is focused on the ergonomic analysis of the UI bicycle based on the body postures of its female riders. This study uses the Posture Evaluation Index (PEI) method in a virtual ergonomic design of UI bicycle. All the methods and analysis conducted in this research using simulation and calculation on JACK 6.0 software. environment. Results of this research include the assessment of the existing design of UI bicycle from the aspects of ergonomic and design recommendation of UI bicycle with handlebar height 22 cm and saddle height 11 cm as

Key Words :
Ergonomic, UI Bicycle, PEI, OWAS, RULA, Jack 6.0

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
1.3 Rumusan Permasalahan.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Metodologi Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Ergonomi.....	9
2.2 Antropometri.....	11
2.2.1 Penggunaan Persentil.....	16
2.3 <i>Musculoskeletal Disorders</i>	19
2.4 <i>Virtual Environment</i>	21
2.5 <i>Software Jack 6.0</i>	23
2.5.1 <i>Low Back Analysis (LBA)</i>	26
2.5.2 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	31
2.5.3 <i>National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)</i> <i>Lifting Analysis</i>	33
2.5.4 <i>Metabolic Energy Expenditure</i>	34
2.5.5 <i>Fatigue and Recovery Analysis</i>	36
2.5.6 <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i>	37
2.5.7 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i>	40
2.5.8 <i>Manual Material Handling Limits</i>	44
2.5.9 <i>Predetermined Time</i>	45
2.6 Metode PEI (Posture Evaluation Index).....	46
2.7 Sepeda.....	49
2.7.1 Elemen Sepeda.....	52
2.7.2 Gaya Kayuh Sepeda.....	53
BAB 3 PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL	55
3.1 Profil Universitas Indonesia (UI).....	55

3.1.1 Logo UI dan Filosofinya.....	56
3.1.2 Program <i>Green Campus</i> dan Fasilitas Sepeda UI	57
3.2 Pengumpulan Data.....	60
3.2.1 Data Spesifikasi Sepeda UI	60
3.2.2 Peta Jalur Sepeda UI.....	61
3.2.3 Kemiringan Lintasan Menanjak Sepeda UI.....	63
3.2.4 Data Antropometri Mahasiswa UI.....	67
3.3 Perancangan Model	73
3.3.1 Membangun Lingkungan <i>Virtual (Virtual Environment)</i>	74
3.3.2 Membuat Model Manusia (Manekin).....	76
3.3.3 Menyesuaikan Postur Model Manusia (Manekin) dengan Model Sepeda.....	79
3.3.4 Membuat Sistem Animasi (<i>Animation System</i>).....	82
3.3.5 Memberikan Beban (<i>Weights</i>).....	82
3.3.6 Menganalisis Kinerja Model Manusia (Manekin).....	85
3.3.7 Perhitungan Nilai PEI.....	89
3.4 Penentuan Konfigurasi Model	90
3.5 Pengujian Model (<i>Model Testing</i>)	91
BAB 4 ANALISIS.....	95
4.1 Analisis Kondisi Aktual.....	95
4.1.1 Skor <i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	95
4.1.2 Skor <i>Low Back Analysis (LBA)</i>	98
4.1.3 Skor <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i>	101
4.1.4 Skor <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i>	105
4.1.5 Rekapitulasi Skor dan Nilai PEI untuk Konfigurasi 1.....	107
4.2 Analisis Konfigurasi Model Desain Sepeda UI.....	107
4.2.1 Analisis Konfigurasi 2	108
4.2.2 Analisis Konfigurasi 3	109
4.2.3 Analisis Konfigurasi 4.....	111
4.2.4 Analisis Konfigurasi 5	112
4.2.5 Analisis Konfigurasi 6	114
4.2.6 Analisis Konfigurasi 7	116
4.2.7 Analisis Konfigurasi 8	117
4.2.8 Analisis Konfigurasi 9	119
4.3 Analisis Perbandingan	121
4.3.1 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Model Desain Sepeda UI.....	121
4.3.2 Perbandingan Nilai PEI dari Konfigurasi Model Desain Sepeda UI antara Pengendara Wanita dan Pengendara Pria	125
4.3.3 Perbandingan Hasil Konfigurasi Model Desain antara Sepeda UI dan Sepeda Lipat DTM UI untuk Pengendara Wanita.....	127
BAB 5 KESIMPULAN	131
DAFTAR REFERENSI	133

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Deskripsi Persentil	17
Tabel 2.2. Nilai Faktor k untuk Setiap Persentil	18
Tabel 2.3. <i>Horizontal Multiplier</i>	28
Tabel 2.4. <i>Assymetric Multiplier</i>	28
Tabel 2.5. <i>Vertical Multiplier</i>	29
Tabel 2.6. <i>Distance Multiplier</i>	29
Tabel 2.7. <i>Frecuency Multiplier</i>	30
Tabel 2.8. Bobot Nilai dalam RULA	42
Tabel 2.9. Koefisien Gesek Permukaan Karet dengan Aspal dan Semen.....	54
Tabel 3.1. Data Spesifikasi Sepeda UI.....	61
Tabel 3.2. Rekapitulasi Kemiringan Lintasan Menanjak pada Jalur Sepeda UI... 64	
Tabel 3.3. Rekapitulasi Data Antropometri Mahasiswi UI.....	71
Tabel 3.4. Diagram Kapabilitas Hasil Analisis SSP	89
Tabel 3.5. Rekapitulasi Skor LBA, OWAS, RULA	89
Tabel 3.6. Konfigurasi Model yang Akan Dibuat.....	91
Tabel 4.1. Diagram Kapabilitas SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak	97
Tabel 4.2. Diagram Kapabilitas SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar	98
Tabel 4.3. Deskripsi Postur pada Kode OWAS	101
Tabel 4.4. Kategori Gerakan untuk Setiap Kombinasi Kode OWAS	102
Tabel 4.5. Kategori Gerakan OWAS untuk Mengevaluasi Postur Kerja.....	102
Tabel 4.6. Skor OWAS untuk Konfigurasi 1	103
Tabel 4.7. <i>Grand Score</i> dalam RULA	105
Tabel 4.8. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 1	107
Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 2	109
Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 3	110
Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 4	112
Tabel 4.12 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 5	113
Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 6	115
Tabel 4.14 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 7	117
Tabel 4.15. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 8	118
Tabel 4.16 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 9	120
Tabel 4.17 Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi Model Desain Sepeda UI	121
Tabel 4.18 Rekapitulasi nilai PEI untuk Pengendara Pria	125
Tabel 4.19 Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi Model Desain.....	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram Keterkaitan Masalah “Analisis Ergonomi Sepeda UI terhadap Pengendara Wanita dengan Metode <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI) dalam <i>Virtual Environment</i> ”	4
Gambar 1.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian “Analisis Ergonomi Sepeda UI terhadap Pengendara Wanita dengan Metode <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI) dalam <i>Virtual Environment</i> ”	7
Gambar 2.1. Antropometri Statis untuk Orang yang Duduk	12
Gambar 2.2. Dimensi Jarak Ruangan (<i>Clearance Dimension</i>)	13
Gambar 2.3. Daerah Jangkauan (<i>Zone of Convenient Reach</i>) Manusia	14
Gambar 2.4. Pengukuran Antropometri	15
Gambar 2.5. Distribusi Frekuensi Tinggi Tubuh Pria di Amerika	16
Gambar 2.6. Kubus Zelter dalam Konsep <i>Virtual Reality</i>	22
Gambar 2.7. Lingkungan (<i>Environment</i>) pada <i>Software Jack 6.0</i>	24
Gambar 2.8. Model Manusia (Manekin) dalam <i>Software Jack 6.0</i>	25
Gambar 2.9. Tampilan <i>Low Back Analysis</i> pada <i>Software Jack 6.0</i>	30
Gambar 2.10. Model Biomekanika untuk Memprediksi	32
Gambar 2.11. Tampilan <i>Static Strength Prediction</i> pada <i>Software Jack 6.0</i>	33
Gambar 2.12. Tampilan <i>NIOSH Lifting Analysis</i> pada <i>Software Jack 6.0</i>	34
Gambar 2.13. Tampilan <i>Metabolic Energy Expenditure</i> pada <i>Software Jack 6.0</i>	35
Gambar 2.14. Tampilan <i>Fatigue and Recovery Analysis</i> pada <i>Software Jack 6.0</i>	37
Gambar 2.15. Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh	39
Gambar 2.16. Tampilan OWAS pada <i>Software Jack 6.0</i>	40
Gambar 2.17. Pengelompokan Tubuh dalam Metode RULA	41
Gambar 2.18. Tampilan RULA pada <i>Software Jack 6.0</i>	43
Gambar 2.19. Tampilan <i>Manual Material Handling Limits</i>	44
Gambar 2.20. Tampilan <i>Predetermined Time</i> pada <i>Software Jack 6.0</i>	45
Gambar 2.21. Diagram Alir Metode PEI	46
Gambar 2.22. <i>Hobby horse</i>	50
Gambar 2.23. Sepeda Buatan Macmillan	50
Gambar 2.24. Evolusi Sepeda dari Waktu ke Waktu	51
Gambar 2.25. Elemen-Elemen Sebuah Sepeda	52
Gambar 2.26. Kerangka (<i>Frame</i>) Sepeda	53
Gambar 2.27. Sistem Gaya pada Roda dan Gir Sepeda	55
Gambar 3.1. Logo Universitas Indonesia	56
Gambar 3.2. Sepeda UI	58
Gambar 3.3. Salah Satu Lintasan pada Jalur Sepeda UI	59
Gambar 3.4. Spesifikasi Sepeda UI	60
Gambar 3.5. Peta Jalur Sepeda UI	62
Gambar 3.6. <i>Theodolite</i>	63
Gambar 3.7 Model Lintasan Pusgiwa	64
Gambar 3.8 Model Lintasan Menara Air	65
Gambar 3.9 Model Lintasan Balai Rung - BNI	65
Gambar 3.10 Model Lintasan Balai Rung – Rektorat	65

Gambar 3.11 Model Lintasan Fakultas Ekonomi	66
Gambar 3.12 Model Lintasan Hollywood UI 1	66
Gambar 3.13 Model Lintasan Hollywood UI 2	66
Gambar 3.14 Model Lintasan Resimen Mahasiswa (Menwa).....	67
Gambar 3.15 Model Lintasan RM. Mang Engking.....	67
Gambar 3.16 Dimensi Tubuh yang Diukur untuk Antropometri Mahasiswi UI ..	68
Gambar 3.17. Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan Mahasiswi UI.....	69
Gambar 3.18. Hasil Uji Normalitas Data Berat Badan Mahasiswi UI.....	70
Gambar 3.19. Model Sepeda UI dalam <i>Software</i> SolidWorks	73
Gambar 3.20. Model Sepeda UI dalam <i>Software</i> Jack 6.0	75
Gambar 3.21. Lingkungan <i>Virtual (Virtual Environment)</i>	76
Gambar 3.22. Kotak Dialog <i>Create Human</i>	77
Gambar 3.23. Kotak Dialog <i>Advanced Human Scaling</i>	78
Gambar 3.24. Tahapan Pembuatan Model Manusia dalam <i>Software</i> Jack 6.0	79
Gambar 3.25. Penyesuaian Postur Model Manusia (Manekin).....	80
Gambar 3.26. Tahapan dalam Membuat <i>Joint</i>	80
Gambar 3.27. Kotak Dialog <i>Create Joint</i>	81
Gambar 3.28. Proses Membuat <i>Constraint</i> pada Kaki.....	81
Gambar 3.29. Kotak Dialog <i>Animation System</i>	82
Gambar 3.30. <i>Command LoadsAndWeights</i>	83
Gambar 3.31. Kotak Dialog <i>LoadAndWeights</i>	85
Gambar 3.32. Tahapan dalam Menganalisis Kinerja Model Manusia (Manekin)	86
Gambar 3.33. Hasil Analisis SSP.....	87
Gambar 3.34. Hasil Analisis LBA	87
Gambar 3.35. Hasil Analisis OWAS.....	88
Gambar 3.36. Hasil Analisis RULA	88
Gambar 3.37. Postur Tubuh Pengendara Wanita dalam Konfigurasi Model.....	92
Gambar 3.38. Postur Tubuh Pengendara dalam Kondisi Sebenarnya	92
Gambar 3.39. Proses Validasi Konfigurasi Model.....	93
Gambar 3.40. Hasil Analisis LBA Setelah Pemberian Tambahan Beban	93
Gambar 4.1. Skor SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak	96
Gambar 4.2. Skor SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar.....	97
Gambar 4.3. Skor LBA untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak.....	100
Gambar 4.4. Skor LBA untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar	100
Gambar 4.5. Skor OWAS untuk Konfigurasi 1	104
Gambar 4.6. Skor RULA untuk Konfigurasi 1	106
Gambar 4.7. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 2.....	108
Gambar 4.8. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 3.....	110
Gambar 4.9. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 4.....	111
Gambar 4.10. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 5.....	113
Gambar 4.11. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 6.....	114
Gambar 4.12. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 7.....	116
Gambar 4.13. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 8.....	118
Gambar 4.14. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 9.....	119
Gambar 4.15. Grafik Nilai PEI Seluruh Konfigurasi Model Desain Sepeda UI.	122
Gambar 4.16. Postur Tubuh Pengendara Wanita Saat Bersepeda Menggunakan Desain Konfigurasi 3.....	124

Gambar 4.17. Postur Tubuh Pengendara Wanita Saat Bersepeda Menggunakan Desain Konfigurasi 7.....	124
Gambar 4.18. Grafik Perbandingan Nilai PEI antara Pengendara Wanita dan Pria	126
Gambar 4.19. Desain Sepeda Lipat DTM UI yang Ergonomis	128



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1: Hasil Pengukuran Kemiringan Lintasan Menanjak Jalur Sepeda UI
- Lampiran 2: Data Antropometri Mahasiswi UI
- Lampiran 3: Hasil Analisis Jack TAT



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 dan metodologi yang digunakan dalam melakukan penelitian.

1.1 Latar Belakang Masalah

Sepeda merupakan salah satu alternatif alat transportasi yang hemat energi. Hal ini disebabkan karena sepeda termasuk moda transportasi yang tidak bermotor (*non-motorized transportation* atau NMT) sehingga tidak membutuhkan bahan bakar minyak (BBM)¹.

Penggunaan sepeda sebagai alternatif moda 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, Holste, dan Lebo, *Non-motorized transport: confronting poverty through affordable mobility*, 1994, <<http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/publicat/td-ut4.htm>>, (accessed 10 Feb 2009)

² Perangi pemanasan global dengan bersepeda, *Monitor Depok*, 2008, <http://www.ui.edu/download/kliping/111108/Perangi_Pemanasan_dengan_Bersepeda.pdf>, (accessed 10 Feb 2009)

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*)³. 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*).

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 terhubung⁴. Jalur sepeda kuning UI dilengkapi dengan stasiun, pos, tempat parkir, *water contain* (pengisian air minum) dan banyak unit sepeda sekaligus. Fasilitas sepeda yang disediakan berjumlah 1000 unit dan dapat digunakan oleh mahasiswa UI dengan sistem *free of charge* atau gratis.

Namun, penyediaan fasilitas sepeda oleh UI tersebut belum didasari dengan penelitian ilmiah yang berkaitan dengan ergonomi. Hal inilah yang kemudian melatarbelakangi perlunya untuk dilakukan penelitian terhadap sepeda kuning UI.

Ergonomi adalah suatu ilmu yang mempelajari interaksi manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai sehingga dapat berperan untuk menyelesaikan masalah ketidakserasian manusia dengan peralatan yang dipakai⁵. Analisis aspek ergonomi yang akan dilakukan terhadap sepeda kuning UI mempertimbangkan tiga komponen penting dalam desain sepeda yang berhubungan erat dengan pengendaranya, yaitu stang (*handlebar*), bangku

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>, (accessed 10 Feb 2009)

⁴ Dodi Esyandi, Sepeda akan jadi kendaraan wajib di UI. *Bisnis Indonesia*. 2008.

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

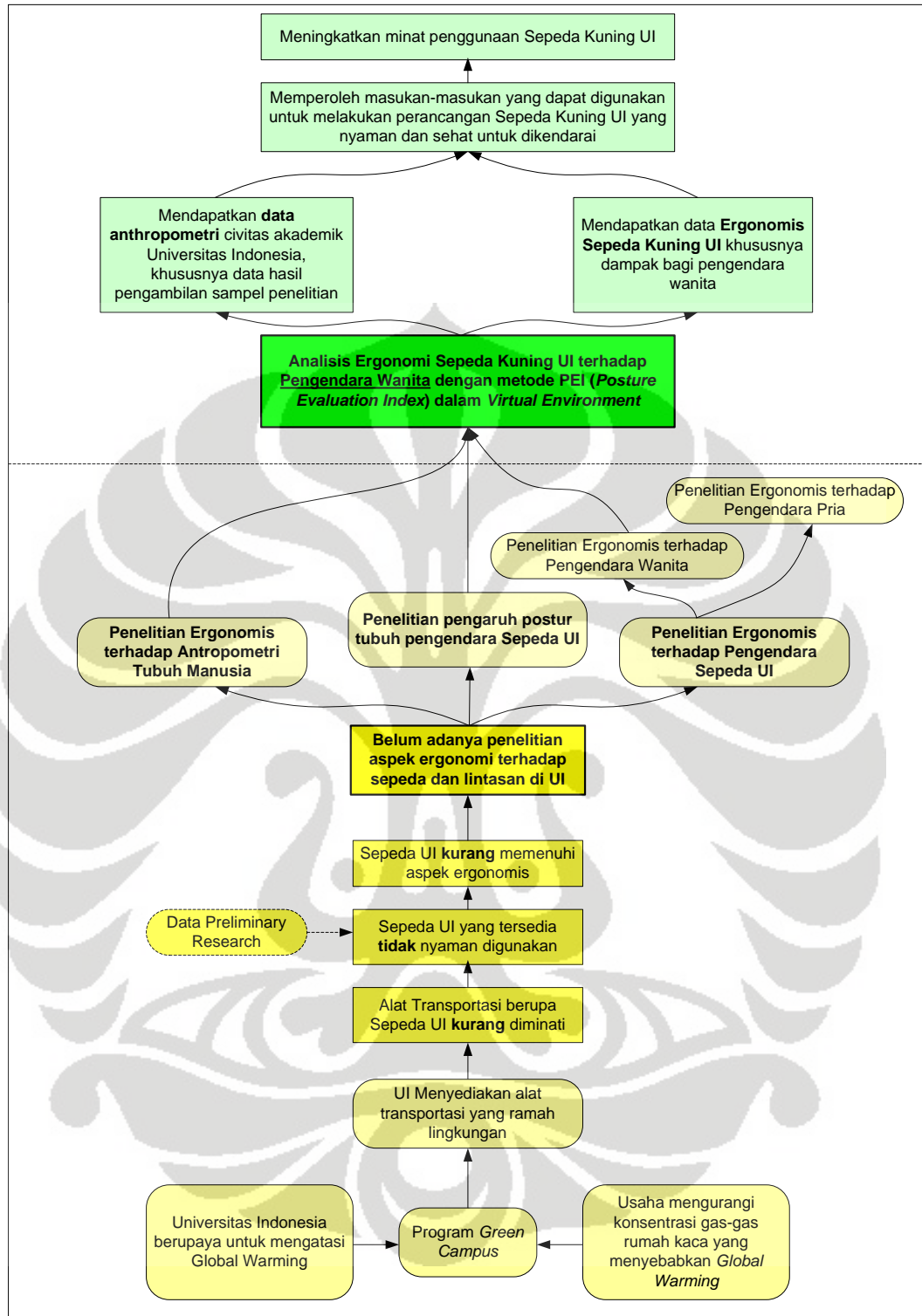
(*saddle*), dan pedal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis postur tubuh seorang pengendara khususnya pengendara wanita saat mengendarai sepeda UI dalam jalur yang disediakan.

Salah satu cara untuk melakukan analisis ini adalah dengan menggunakan bantuan *software human modeling and simulation* yang bernama Jack 6.0. Laboratorium Faktor Manusia (*Ergonomic Center*) milik Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia merupakan laboratorium pertama di Indonesia yang memiliki *software* canggih ini. Namun, *software* ini belum dimanfaatkan sehingga utilitasnya masih rendah.

Dengan bantuan *software* Jack 6.0, akan dilakukan perhitungan nilai PEI (*Posture Evaluation Index*) untuk menilai postur tubuh pengendara wanita sehingga dapat diketahui apakah desain sepeda UI yang ada saat ini sudah ergonomis atau belum bagi postur tubuh pengendara wanita.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

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



Gambar 1.1. Diagram Keterkaitan Masalah “Analisis Ergonomi Sepeda UI terhadap Pengendara Wanita dengan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dalam *Virtual Environment*”

1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah perlunya dilakukan analisis terhadap sepeda UI terutama dalam aspek ergonomi yang berpengaruh terhadap postur tubuh pengendara khususnya pengendara wanita.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis aspek ergonomi dari sepeda UI yang telah ada terutama mengenai dampaknya terhadap ketegangan otot tubuh pada pengendara wanita.
2. Membuat simulasi permodelan virtual dari proses mengendarai sepeda UI yang dapat dimanfaatkan untuk analisis kondisi spesifikasi sepeda yang ergonomis
3. Memberikan hasil berupa rekomendasi rancangan desain sepeda UI yang telah memenuhi standar ergonomi dan memberikan kenyamanan bagi pengendaranya dari segi postur tubuh.

1.5 Batasan Masalah

1. Objek penelitian adalah sepeda UI yang sampai saat ini baru beroperasi sekitar 30% dari jumlah keseluruhan.
2. Penelitian aspek ergonomi sepeda kuning UI hanya dilakukan pada pengendara wanita.
3. Pengukuran antropometri dilakukan terhadap mahasiswi S1 reguler UI yang masih aktif.
4. Jalur sepeda yang dipilih adalah jalur sepeda kuning UI yang telah dibangun.
5. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa rekomendasi rancangan desain sepeda kuning UI yang merupakan analisis dengan menggunakan metode PEI (*Posture Evaluation Index*) dalam *virtual environment* berdasarkan data-data observasi langsung di lapangan.

1.6 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan, maka keseluruhan kegiatan penelitian dirancang sesuai dengan diagram alir seperti yang terlihat pada gambar 1.2. Secara umum, metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Tahap Pendahuluan

- a. Persiapan dan koordinasi riset
- b. 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 pengukuran kemiringan lintasan menanjak pada jalur sepeda UI, serta mengumpulkan data antropometri tubuh mahasiswi UI sebagai pengguna sepeda.

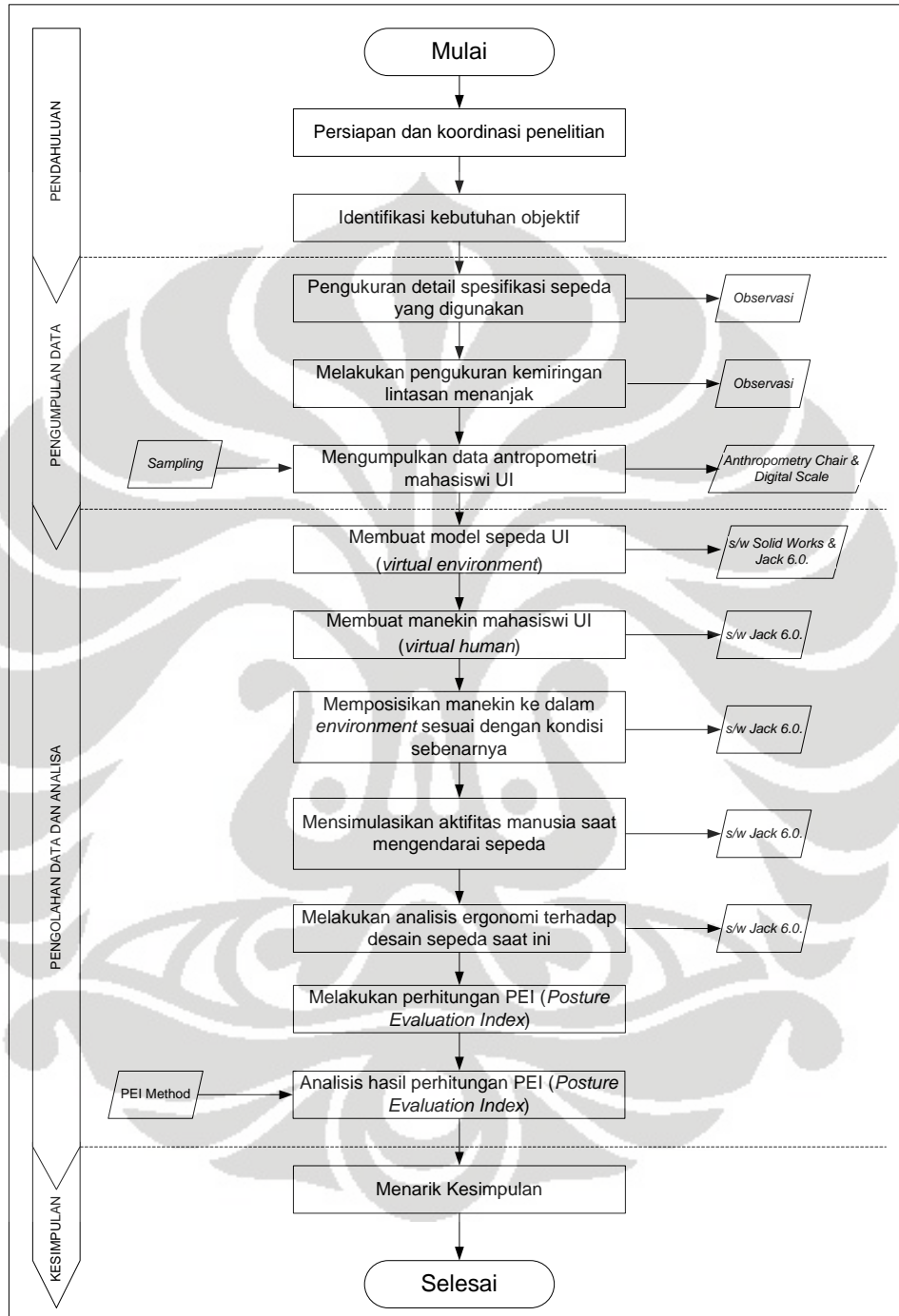
3. Tahap Pengolahan dan Analisis Data

- a. Membuat model sepeda UI dan lintasan jalur sepeda UI (*virtual environment*) dengan menggunakan *software* Solidwork dan Jack 6.0
- b. Membuat manekin mahasiswi UI (*virtual human*) sebagai pengendara sepeda sesuai data antropometri yang diperoleh
- c. Memposisikan manekin ke dalam *environment* sesuai dengan kondisi sebenarnya
- d. Mensimulasikan aktivitas manusia saat mengendarai sepeda dengan menggunakan *software* Jack 6.0
- e. Melakukan analisis ergonomi terhadap desain sepeda saat ini dengan bantuan *software* Jack 6.0
- f. Melakukan perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)
- g. Menganalisis hasil perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*)

4. Tahap Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat maka akan dapat disimpulkan desain sepeda kuning UI yang nyaman dan ergonomis sehingga dapat

meningkatkan kenyamanan pengendara dan membantu meningkatkan daya guna dari sepeda kuning UI itu sendiri.



Gambar 1.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian “Analisis Ergonomi Sepeda UI terhadap Pengendara Wanita dengan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dalam *Virtual Environment*”

1.7 Sistematika Penulisan

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

Bab 1 adalah bab pendahuluan. Bab satu berisikan tentang latar belakang permasalahan, pokok permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan permasalahan, metodologi penelitian yang digunakan serta sistematika penulisan laporan.

Bab 2 adalah bab landasan teori. Bagian ini berisikan teori-teori yang berkaitan dengan ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorder*, dan *virtual environment*. Bab 3 adalah bab pengumpulan data dan perancangan model. Terdiri dari berbagai data yang dikumpulkan selama penelitian berlangsung, seperti data antropometri pengendara sepeda, yaitu mahasiswi UI, dan data spesifikasi sepeda UI, serta perancangan model berdasarkan data yang ada dengan menggunakan *software* Jack.

Bab 4 adalah bab analisis, dijelaskan mengenai analisis dari perancangan model yang dibuat. Berdasarkan analisis yang dilakukan, maka dibuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Kesimpulan ini dituangkan dalam bab terakhir penulisan laporan penelitian yaitu bab 5.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dibahas teori-teori yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan, di antaranya ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorders*, dan *virtual environment*.

2.1 Ergonomi

Istilah ergonomi pertama kali ditemukan oleh Wojciech Jastrzebowski dalam sebuah surat kabar Polandia pada tahun 1857. Kata ergonomi berasal dari dua kata dalam bahasa Yunani yaitu “*ergo*” (kerja) dan “*nomos*” (aturan)⁶. Sehingga ergonomi sering diartikan sebagai ilmu yang mempelajari praktek desain suatu pekerjaan yang disesuaikan dengan pekerjaannya, dan bukan memaksa pekerja untuk menyesuaikan diri terhadap pekerjaan tersebut.

Secara garis besar, ergonomi dapat didefinisikan sebagai suatu ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan mesin serta faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi tersebut. Ergonomi bertujuan untuk meningkatkan performa dari sistem dengan cara meningkatkan kualitas interaksi antara manusia dan mesin yang digunakan. Hal ini bisa dilakukan dengan “mendesain ke dalam” sebuah antar muka (*interface*) yang lebih baik atau dengan “mendesain ke luar” faktor-faktor yang ada di lingkungan (*environment*), kegiatan kerja (*task*), atau organisasi (*organization*)⁷.

Menurut The International Ergonomics Association (2000), definisi dari ergonomi adalah disiplin ilmu yang memperhatikan interaksi antara manusia dan elemen-elemen lain dari suatu sistem, dan pekerjaan yang menggunakan teori, prinsip, data, dan metode untuk merancang suatu desain yang optimal bagi manusia dan kinerja sistem secara umum⁸.

The International Ergonomics Association (IEA) membagi ergonomi menjadi tiga, yaitu:

⁶ Martin Helander, *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). Taylor & Francis e-Library. London, 2006, hal.3.

⁷ R.S Bridger, *Introduction to ergonomics*. Taylor & Francis Group, London, 2003, hal.1.

⁸ Martin Helander, *Op.Cit*, hal.6.

- ergonomi fisik (*physical ergonomics*) yang mempelajari anatomi tubuh manusia, antropometri, fisiologis dan biomekanika yang berhubungan dengan aktivitas fisik manusia
- ergonomi kognitif (*cognitive ergonomics*) yang mempelajari proses mental manusia, seperti persepsi, memori, dan respon motorik yang berpengaruh terhadap interaksi antara manusia dan elemen-elemen lain dari sistem
- ergonomi organisasi (*organizational ergonomics*) yang mempelajari optimasi dari sistem sosioteknik, termasuk struktur, kebijakan, dan proses dalam suatu organisasi

Implementasi ilmu ergonomi dalam desain sistem seharusnya dapat membuat sistem kerja menjadi lebih baik melalui eliminasi aspek-aspek yang tidak diharapkan, tidak terkontrol, dan tidak terukur, seperti⁹:

- ketidakefisienan
- kelelahan (*fatigue*)
- insiden, cedera, dan kesalahan
- kesulitan dalam penggunaan (*user difficulties*)
- moral yang rendah dan apatisme (*low morale and apathy*)

Ilmu ergonomi mempelajari beberapa hal yang meliputi:

- lingkungan kerja, meliputi kebersihan, tata letak, suhu, pencahayaan, sirkulasi udara, desain peralatan, dan sebagainya.
- persyaratan fisik dan psikologis (mental) pekerja untuk melakukan suatu pekerjaan, misalnya pendidikan, postur tubuh, pengalaman kerja, umur, dan lainnya.
- bahan-bahan atau peralatan kerja yang berisiko menimbulkan kecelakaan kerja seperti pisau, palu, barang pecah belah, zat kimia, dan lain-lain.
- interaksi antara pekerja dengan peralatan kerja yang meliputi kenyamanan kerja, kesehatan dan keselamatan kerja, kesesuaian ukuran alat kerja dengan pekerja, standar operasional prosedur, dan sebagainya. Sasaran dari ilmu ergonomi adalah peningkatan prestasi kerja yang tinggi dalam kondisi aman, sehat, nyaman, dan tenteram.

⁹ R.S Bridger, *Op.Cit*, hal.2

2.2 Antropometri

Antropometri adalah cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari pengukuran tubuh manusia, khususnya ukuran, bentuk, kekuatan, dan kapasitas kerja tubuh. Antropometri berasal dari bahasa Yunani, yaitu “*anthropos*” (manusia) dan “*metron*” (mengukur). Data antropometri digunakan dalam kajian ergonomi untuk menentukan dimensi fisik dari tempat kerja, peralatan, perabotan, dan pakaian yang bertujuan untuk memastikan bahwa ketidaksesuaian secara fisik antara dimensi peralatan dan produk dengan dimensi yang berkaitan dengan pengguna dapat dihindari¹⁰.

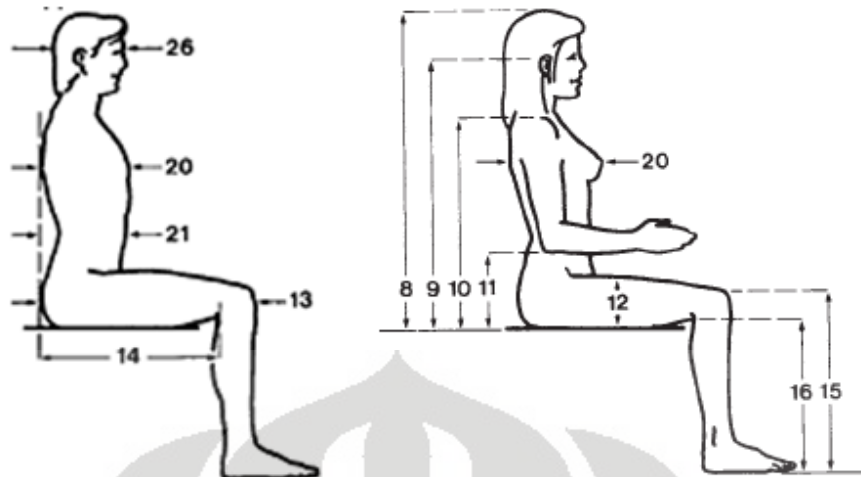
Pengertian antropometri menurut Stevenson (1989) dan Eko Nurmianto (1991) adalah kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia mencakup ukuran, bentuk, dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain. Data antropometri akan menentukan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

Pengukuran data antropometri dilakukan dalam dua cara, yaitu:

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

Pengukuran dilakukan terhadap berbagai posisi standar tubuh dan tidak bergerak (tetap tegak sempurna). Istilah lain dari pengukuran ini adalah *static anthropometry*. Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap antara lain meliputi berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri maupun duduk, ukuran kepala, tinggi/panjang lutut pada saat berdiri maupun duduk, panjang lengan, dan sebagainya. Ukuran tubuh diambil dengan persentil tertentu seperti 5th – 9th persentil.

¹⁰ *Ibid*, hal.58



Gambar 2.1. Antropometri Statis untuk Orang yang Duduk

Sumber: Pheasant, 2003, hal.31 & 34

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

Pengukuran dilakukan terhadap posisi tubuh pada saat berfungsi melakukan gerakan-gerakan tertentu yang berkaitan dengan kegiatan yang harus diselesaikan. Hal pokok yang ditekankan dalam pengukuran dimensi fungsional tubuh adalah mendapatkan ukuran tubuh yang nantinya akan berkaitan erat dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan tubuh untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu. Istilah lain dari pengukuran ini adalah *dynamic anthropometry*. Antropometri dalam posisi tubuh melakukan fungsinya yang dinamis banyak diaplikasikan dalam proses perancangan fasilitas maupun ruang kerja. Sebagai contoh, perancangan kursi mobil dimana posisi tubuh pada saat melakukan gerakan mengoperasikan kemudi, tangkai pemindah gigi, pedal serta jarak antara manusia dengan atap mobil dan *dashboard*.

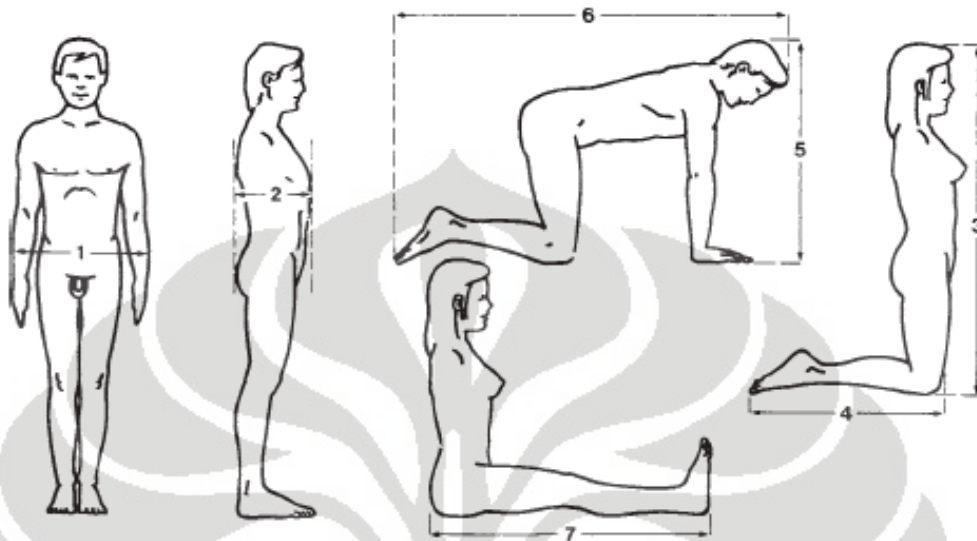
Dalam antropometri, ada empat konstrain utama yang harus diperhatikan, yaitu¹¹:

1. Jarak ruangan (*clearance*)

Dalam merancang stasiun kerja, kita perlu memperhatikan jarak antar ruangan. Lingkungan kerja harus menyediakan ruang akses dan sirkulasi

¹¹ Stephen Pheasant, *Bodyspace: anthropometry, ergonomics and the design of work*. Taylor & Francis e-Library, London, 2003, hal.22-23

yang memadai. Jarak ruangan merupakan konstrain satu arah (*one-way constraint*) dan menentukan dimensi minimum yang dapat diterima oleh sebuah objek.



Gambar 2.2. Dimensi Jarak Ruang (*Clearance Dimension*) dalam Berbagai Posisi

Sumber: Pheasant, 2003, hal.47

Keterangan gambar 2.3

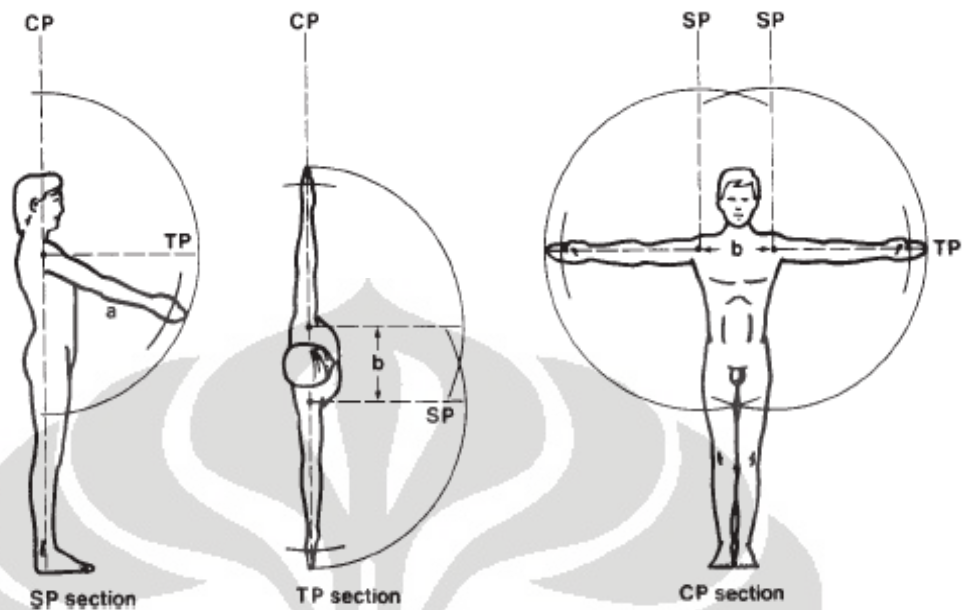
Dimension

1. Maximum body breadth
2. Maximum body depth
3. Kneeling height
4. Kneeling leg length
5. Crawling height
6. Crawling length
7. Buttock-heel length

Sumber: Pheasant, 2003, hal.47 (diolah)

2. Jangkauan (*reach*)

Konstrain jangkauan (*reach constraint*) menentukan dimensi maksimum yang dapat diterima oleh suatu objek. Jangkauan juga merupakan konstrain satu arah (*one-way constraint*) dan ditentukan oleh anggota populasi yang kecil seperti 5th persentil.



Gambar 2.3. Daerah Jangkauan (*Zone of Convenient Reach*) Manusia

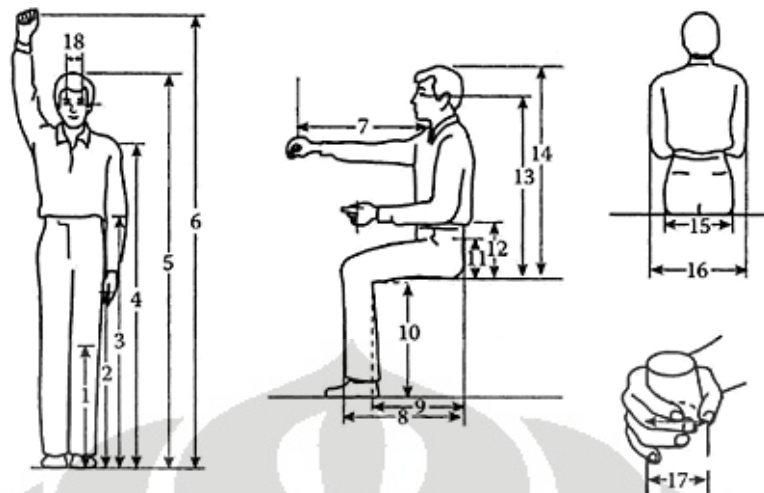
Sumber: Pheasant, 2003, hal.53

3. Postur tubuh (*posture*)

Postur merupakan konstrain dua arah (*two-way constraint*) sehingga lebih kompleks daripada jarak ruangan dan jangkauan. Postur seseorang saat bekerja ditentukan oleh hubungan antara dimensi tubuh dan stasiun kerjanya.

4. Kekuatan (*strength*)

Konstrain ini memperhatikan penggunaan gaya dalam operasi control dan pekerjaan fisik lainnya. Konstrain kekuatan digunakan untuk menentukan tingkat gaya yang dapat diterima oleh pengguna yang lemah.



Gambar 2.4. Pengukuran Antropometri

Sumber: Helander, 2006, hal.154

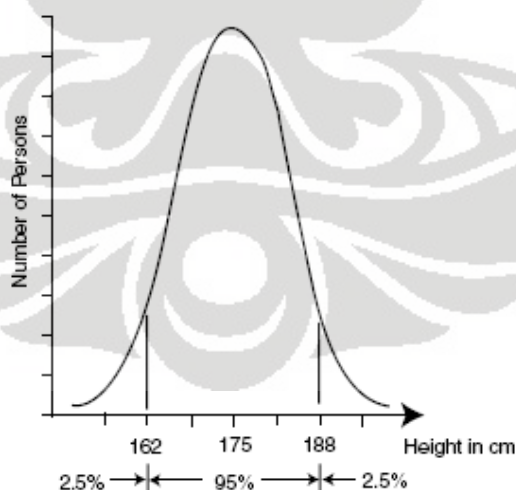
Keterangan gambar 2.4 adalah sebagai berikut:

- 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*)

2.2.1 Penggunaan Persentil

Sebagian besar dimensi tubuh terdistribusi secara normal. Setiap data pengukuran biasanya berada dalam kurva “*bell-shape*”. Hanya sedikit orang yang benar-benar pendek atau benar-benar tinggi, tapi sebagian besar lainnya berada di sekitar pusat distribusi atau rata-rata (*mean*). Gambar 2.5 menunjukkan distribusi dari tinggi tubuh pria di Amerika. Pada gambar dapat dilihat bahwa hanya 2,5% populasi yang tinggi tubuhnya lebih rendah daripada tinggi tubuh rata-rata yaitu 162 cm dan 2,5% lainnya mempunyai tinggi tubuh yang melebihi 188 cm. Dengan kata lain dapat disebutkan bahwa sekitar 95% dari populasi berada dalam kisaran tinggi 162 cm sampai dengan 188 cm, karena nilai persentil 2,5 adalah 162 cm dan nilai persentil 97,5 adalah 188 cm¹².



Gambar 2.5. Distribusi Frekuensi Tinggi Tubuh Pria di Amerika

Sumber: Marras & Karwowski, 2006, hal.9-4

¹² W.S Marras dan W. Karwowski, *Fundamental and assessment tools for occupational ergonomics*, Taylor & Francis Group, London, 2006, hal.9-4

Pengukuran antropometri biasanya dinyatakan dalam persentil. Yang paling banyak digunakan adalah persentil 5, persentil 50, dan persentil 95¹³.

Tabel 2.1. Deskripsi Persentil

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

Sumber: Helander, 2006, hal.149

Dalam perhitungan persentil, ada dua cara yang dapat digunakan yaitu pertama, dengan langsung melihat distribusi data, dan kedua, dengan menggunakan grafik (pengukuran, perhitungan, atau perkiraan) nilai persentil¹⁴. Oleh karena kebanyakan data antropometri terdistribusi secara normal, maka pendekatan yang lebih mudah digunakan adalah cara kedua yang melibatkan standar deviasi, S . Perhitungan persentil, p , dengan pendekatan ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$p = m + k x S \dots\dots\dots (2.1)$$

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

Jika persentil yang diinginkan di atas persentil 50, maka faktor k , bertanda positif. Sebaliknya, jika persentil yang diinginkan berada di bawah persentil 50, maka faktor k , bernilai negatif¹⁵.

¹³ Martin Helander. *Op.Cit.*

¹⁴ W.S Marras dan W. Karwowski, *Op.Cit.*

¹⁵ *Ibid.*

Tabel 2.2. Nilai Faktor k untuk Setiap PersentilTABLE 9.2 Percentile Values with their *k* factors

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

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

2.3 Musculoskeletal Disorders

Musculoskeletal disorders adalah gangguan yang terjadi pada bagian muskuloskeletal manusia. 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 Injuries*). 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 muskuloskeletal yaitu:

- 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 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, yaitu¹⁶:

- 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 (fleksinya ke depan) 30-40⁰, fleksi siku atau ekstensi >20⁰, 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.

¹⁶ Cermin Dunia Kedokteran No.136, 2002, hal. 19.

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*

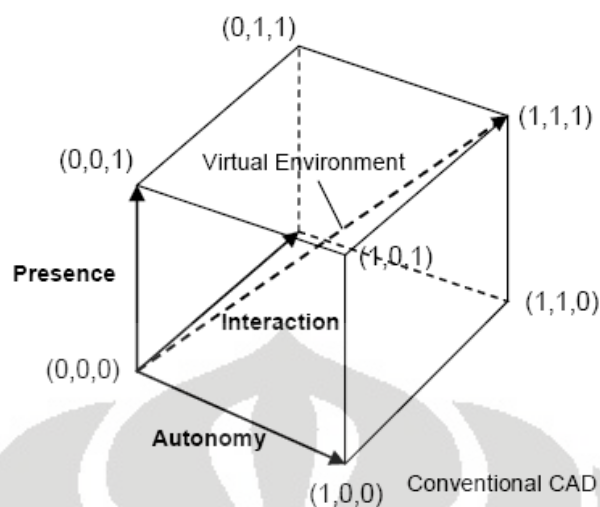
Perkembangan teknologi grafis dan *software* komputer yang begitu cepat memungkinkan dibuatnya gambar-gambar digital, yang merupakan visualisasi dari kondisi lingkungan sebenarnya. Perkembangan ini telah mengubah proses perancangan dengan komputer, dari dua dimensi menjadi tiga dimensi, sehingga visualisasi 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 publik¹⁷.

Istilah *virtual reality* menggambarkan sesuatu yang walaupun tidak nyata dalam hal fakta, namun nyata dalam hal efek dan dapat dipertimbangkan sebagai fakta untuk tujuan tertentu¹⁸. Dalam *virtual reality* terdapat tiga buah komponen, yaitu otonomi, keberadaan, dan interaksi. Ketiga komponen tersebut berada pada nilai maksimalnya dalam kubus Zeltzer¹⁹. Gambar di bawah ini menunjukkan dimensi dari *virtual reality*:

¹⁷ R. Kalawsky, *The science of virtual reality and virtual environments*. Addison-Wesley Publishing Company, 1993, hal.396.

¹⁸ Wilson, J.R. *Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities*. *Applied Ergonomics*, 1997, hal.1057-1077.

¹⁹ R. Kalawsky, *Op.Cit*, hal.43.



Gambar 2.6. Kubus Zeltzer dalam Konsep *Virtual Reality*

Sumber: Kalawsky, 1993, hal.43

Menurut Zeltzer pada tahun 1992²⁰:

- Otonomi (O) mengacu pada pengukuran kualitatif dari kemampuan objek virtual untuk bereaksi terhadap kejadian dan stimuli. Angka 0 berlaku apabila tidak ada reaksi yang muncul dan angka 1 berlaku apabila otonomi berada dalam kondisi maksimum.
- Interaksi (I) mengacu pada tingkat aksesibilitas terhadap parameter atau variabel dari sebuah objek. Angka 0 diberikan pada kontrol variabel yang tidak dilakukan secara langsung (*non-real time*), sedangkan angka 1 diberikan jika variabel dapat dimanipulasi secara langsung (*real time*) ketika program sedang dijalankan.
- Keberadaan (K) mengacu pada tingkat keberadaan dengan suatu ukuran ketelitian dari sensor *input* dan saluran *output*. Tingkat keberadaan sangat bergantung pada kebutuhan dari pekerjaan yang akan dilakukan.

Dalam *virtual reality*, titik (1,1,1) sebagai (O,I,K) dalam kubus Zeltzer menunjukkan kondisi dimana simulasi dapat benar-benar merepresentasikan dunia nyata sehingga akan sulit dibedakan antara dunia nyata dengan simulasi tersebut²¹.

²⁰ Timo Määttä, *Virtual environmentsin machinery safety analysis*. VTT Technical Research Centre of Finland, Finlandia, 2003, hal.44.

²¹ R. Kalawsky, *Op.Cit.*

Titik (0,1,0) mengindikasikan bahwa pengguna dapat mengatur semua variabel dari objek atau model secara *real time* selama program berjalan. Titik (0,1,1) merepresentasikan sebuah situasi dimana terdapat tingkat otonomi dan keberadaan yang tinggi, tetapi dengan tingkat interaksi yang rendah. Di dunia ini, seorang manusia dapat menjadi peneliti pasif dengan kebebasan yang dia miliki dilihat dari sudut pandangnya, tetapi tetap memungkinkan “mencelupkan” dirinya pada lingkungan virtual²².

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*²³.

Virtual environment digunakan dalam sejumlah pekerjaan desain teknik, misalnya *workplace design*, *assembly planning*, perencanaan dan penilaian ergonomi, serta dalam pendidikan dan pelatihan *safety engineering and maintenance*²⁴.

2.5 Software Jack 6.0

Software Jack 6.0 merupakan *software* permodelan dan simulasi manusia (*human modeling and simulation*) yang membantu dalam peningkatan aspek ergonomi dari desain produk dan stasiun kerja (*workplace*). *Software* ini memungkinkan pengguna untuk memposisikan model manusia (manekin) secara akurat dalam lingkungan *virtual (virtual environment)*, memberikan tugas kepada mereka dan menganalisis kinerja mereka. Model manusia (manekin) dalam *software Jack* dapat memberikan informasi kepada pengguna tentang apa yang dapat mereka lihat dan jangkauan, seberapa nyaman mereka, kapan dan mengapa

²² Timo Määttä, *Op.Cit.*

²³ *Ibid*, hal.48.

²⁴ *Ibid*.

mereka merasakan sakit, kapan mereka merasa lelah, dan informasi ergonomi lainnya. Informasi-informasi yang diperoleh dari *software* Jack tersebut dapat digunakan untuk merancang produk yang lebih aman dan ergonomis, serta proses kerja yang lebih cepat dengan biaya yang minimum.

Software Jack 6.0 mempunyai beberapa kegunaan di antaranya adalah sebagai berikut:

- Membuat dan menggambarkan *digital mock-up* dari sebuah desain
- Membuat analisis ergonomi dari desain yang dibuat
- Mempelajari manusia dalam tempat kerja yang disimulasikan
- Melakukan evaluasi terhadap operasi pemeliharaan
- Menjadi alat bantu dalam proses pelatihan

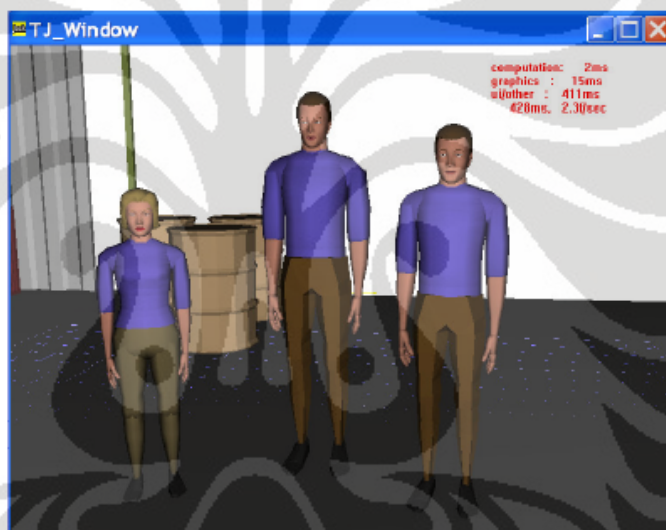
Software Jack 6.0 bekerja dengan menggunakan figur yang merepresentasikan manusia sesungguhnya di dunia nyata. Fokus dari pengembangan yang dilakukan oleh *software* Jack 6.0 adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat yang tersedia dalam sistem apapun. Kemampuan terbaik dari *software* Jack 6.0 adalah mampu mengisi lingkungan (*environment*) dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata.



Gambar 2.7. Lingkungan (*Environment*) pada *Software* Jack 6.0

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.15

Model manusia (manekin) dalam *software* Jack 6.0 beraksi seperti layaknya manusia sungguhan, misalnya mampu melakukan kegiatan berjalan dan dapat diperintahkan untuk mengangkat sebuah benda. Model manusia (manekin) ini juga memiliki “kekuatan” yang apabila telah melebihi batasnya, maka *software* Jack akan memberikan informasi kepada penggunanya. Selain itu, pengguna *software* Jack dapat memodelkan pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran tubuh berdasarkan populasi yang telah divalidasi. *Software* Jack 6.0 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) 1988 untuk membuat model manusia (manekin) standar. Namun, pengguna dapat menyesuaikan antropometri model manusia (manekin) tersebut sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2.8. Model Manusia (Manekin) dalam *Software* Jack 6.0

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.82

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

1. Membangun sebuah lingkungan *virtual* (*virtual environment*)
2. Membuat model manusia (manekin)
3. Memosisikan 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 juga dilengkapi dengan fasilitas *Task Analysis Toolkits* (TAT) yang dapat membantu dalam proses analisis performa model manusia yang telah dibuat. *Jack Task Analysis Toolkits* (TAT) adalah sebuah modul tambahan dalam *software Jack 6.0* yang dapat memperkaya kemampuan pengguna untuk menganalisis aspek ergonomi dan faktor manusia dalam desain kerja. Dengan TAT, para pengguna dapat menempatkan model manusia (manekin) ke dalam berbagai macam lingkungan (*environment*) untuk melihat bagaimana model manusia (manekin) tersebut melakukan tugas yang diberikan. TAT akan menaksir risiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi serta memberikan intervensi untuk mengurangi risiko. Modul ini dapat menunjukkan batasan maksimal kemampuan pekerja dalam mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membengkokkan benda ketika melakukan pekerjaan. Selain itu, TAT juga dapat menunjukkan kegiatan-kegiatan yang tidak produktif dan rentan menjadi penyebab cedera atau kelelahan. *Jack TAT* terdiri dari:

1. *Low back analysis tool*
2. *Static strength prediction*
3. *National institute for occupational safety and health (NIOSH) lifting analysis*
4. *Metabolic energy expenditure*
5. *Fatigue and recovery analysis*
6. *Ovako working posture analysis (OWAS)*
7. *Rapid upper limb assessment (RULA)*
8. *Manual material handling limits*
9. *Predetermined time analysis*

2.5.1 *Low Back Analysis (LBA)*

Low Back Analysis merupakan alat untuk mengevaluasi kekuatan tulang belakang model manusia, terkait dengan setiap postur yang diberikan kepadanya. *Low Back Analysis* mengevaluasi gerakan-gerakan yang berhubungan dengan pekerjaan yang dibebankan kepada model manusia berdasarkan standar NIOSH (*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 belakang²⁵.

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):

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM \dots\dots\dots (2.2)$$

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

²⁵ Di Gironimo, Monacellia, dan Patalano, *A design methodology for maintainability of automotive components in virtual environment*, 2004, hal.4.

Tabel 2.3. Horizontal Multiplier

H	HM	H	HM
in		cm	
≤ 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 2.4. Assymetric 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 2.5. Vertical Multiplier

V in	VM	V cm	VM
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 2.6. Distance Multiplier

D in	DM	D cm	DM
≤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		

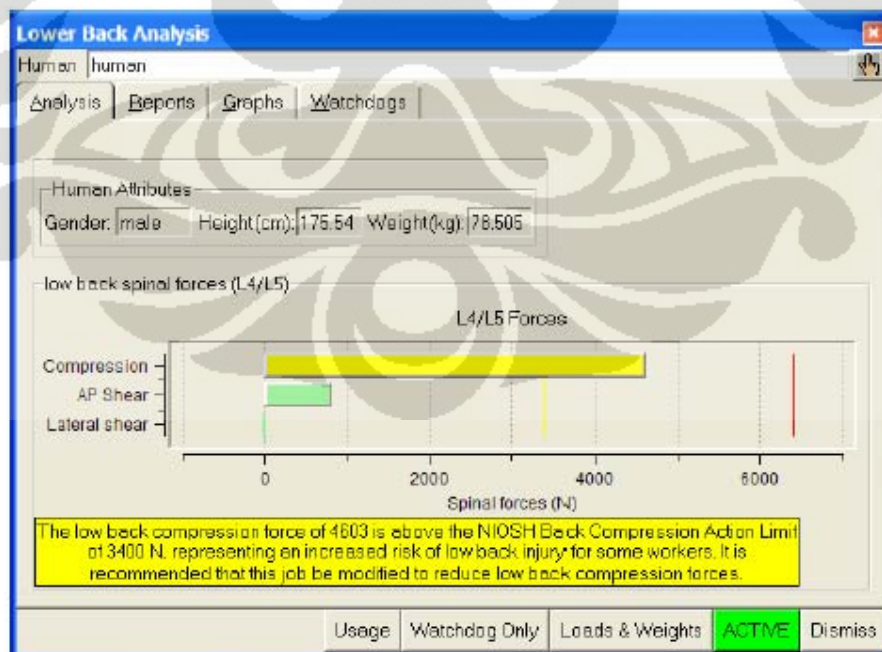
Sumber: NIOSH Document, 1998

Tabel 2.7. Frequency Multiplier

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

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

Sumber: NIOSH Document, 1998



Gambar 2.9. Tampilan *Low Back Analysis* pada Software Jack 6.0

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

2.5.2 Static Strength Prediction (SSP)

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 adalah²⁶:

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

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:

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

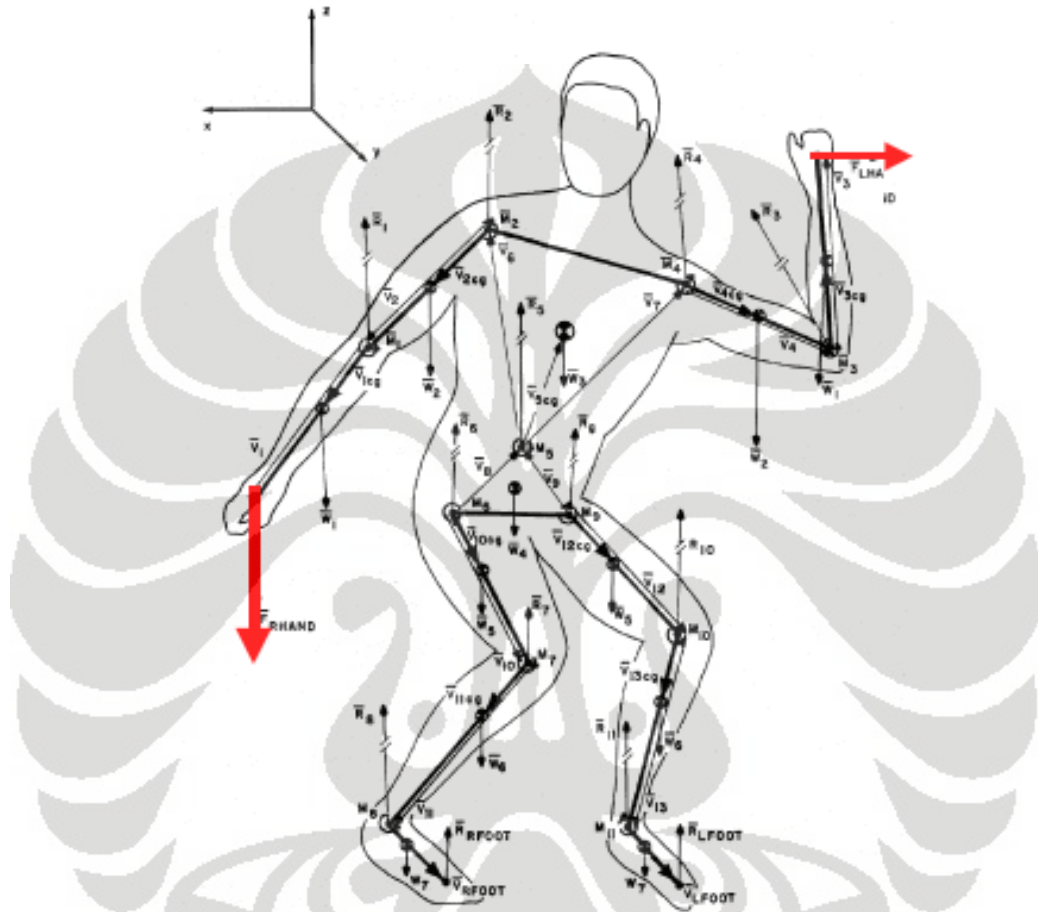
dimana M_j adalah gaya eksternal di setiap persendian dan S_j adalah gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Nilai dari M_j dipengaruhi oleh tiga faktor:

- 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

²⁶ Don B. Chaffin, G. Lawton, dan Louise G. Johnson, *Some biomechanical perspectives on musculoskeletal disorders: causation and prevention*, University of Michigan, 2003.

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 2.10 adalah model biomekanika manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan suatu aktivitas.



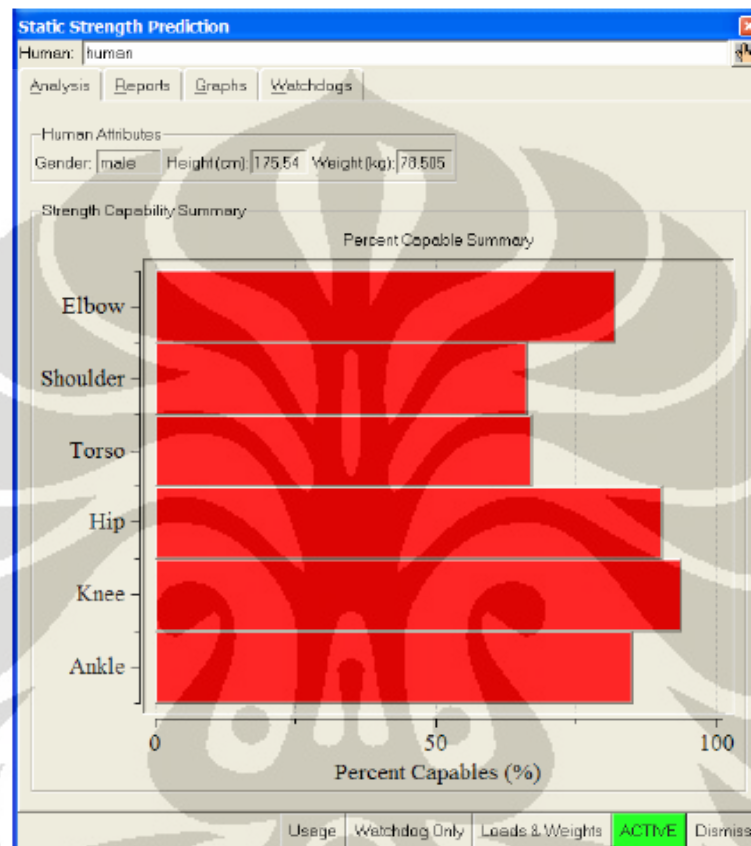
Gambar 2.10. Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya pada Persendian

Sumber: Chaffin, Lawton dan Johnson, 2003

Fungsi dari SSP adalah:

- Membantu dalam menganalisis pekerjaan penanganan material (*material handling*) yang melibatkan kegiatan mengangkat, menurunkan, mendorong, dan menarik yang membutuhkan gaya yang kompleks pada tangan dan batang tubuh

- Memperkirakan persentase pria dan wanita yang mempunyai kekuatan statis dalam melakukan pekerjaan yang diberikan
- Mengevaluasi pekerjaan secara langsung (*real time*), dan menandai postur yang memiliki kebutuhan melebihi NIOSH atau batasan kemampuan yang ditentukan



Gambar 2.11. Tampilan *Static Strength Prediction* pada *Software Jack 6.0*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.12

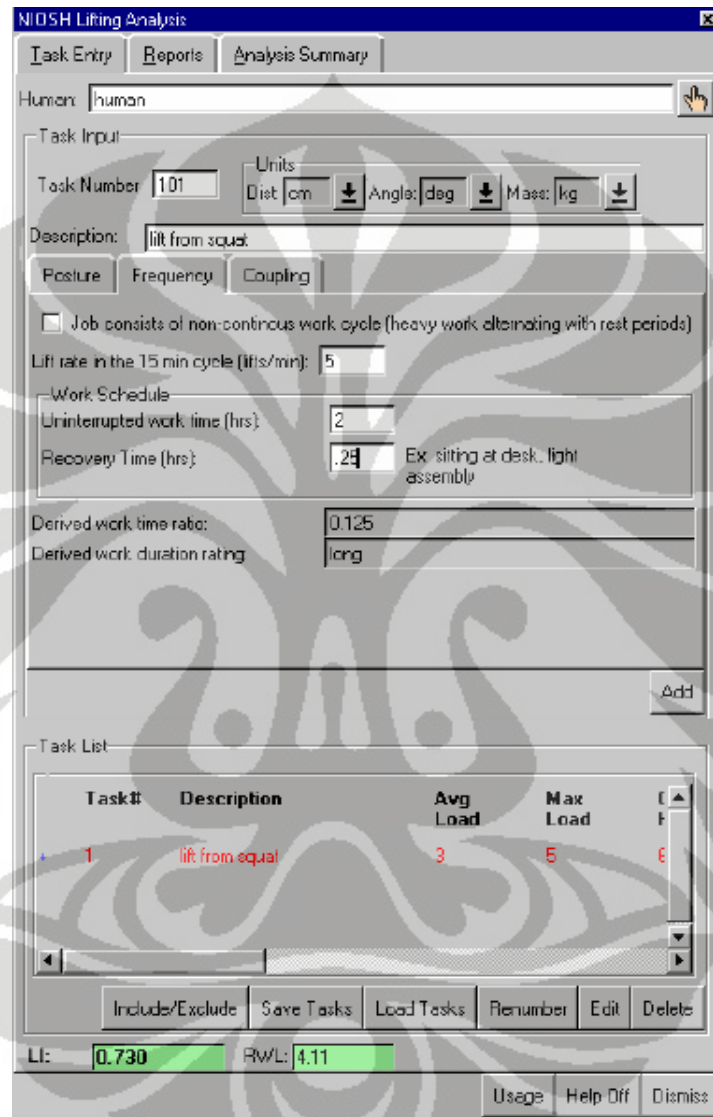
2.5.3 *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Lifting Analysis*

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Lifting Analysis digunakan untuk mengevaluasi kegiatan model manusia (manekin) dalam mengangkat sebuah benda, baik simetris maupun tidak simetris, berdasarkan persamaan NIOSH yang ada. Fungsi dari NIOSH adalah:

- Memberikan informasi mengenai beban yang diharapkan dalam kondisi postur yang ada dimana sebagian besar pekerja dapat melakukan aktivitas mengangkat dalam waktu yang diberikan

- Memberikan perkiraan relatif dari tingkat tekanan fisik yang berhubungan dengan aktivitas mengangkat

Hasil dari NIOSH Lifting Analysis dapat digunakan untuk merancang pekerjaan yang melibatkan kegiatan mengangkat benda yang memiliki risiko cedera minimum.



Gambar 2.12. Tampilan *NIOSH Lifting Analysis* pada *Software Jack 6.0*

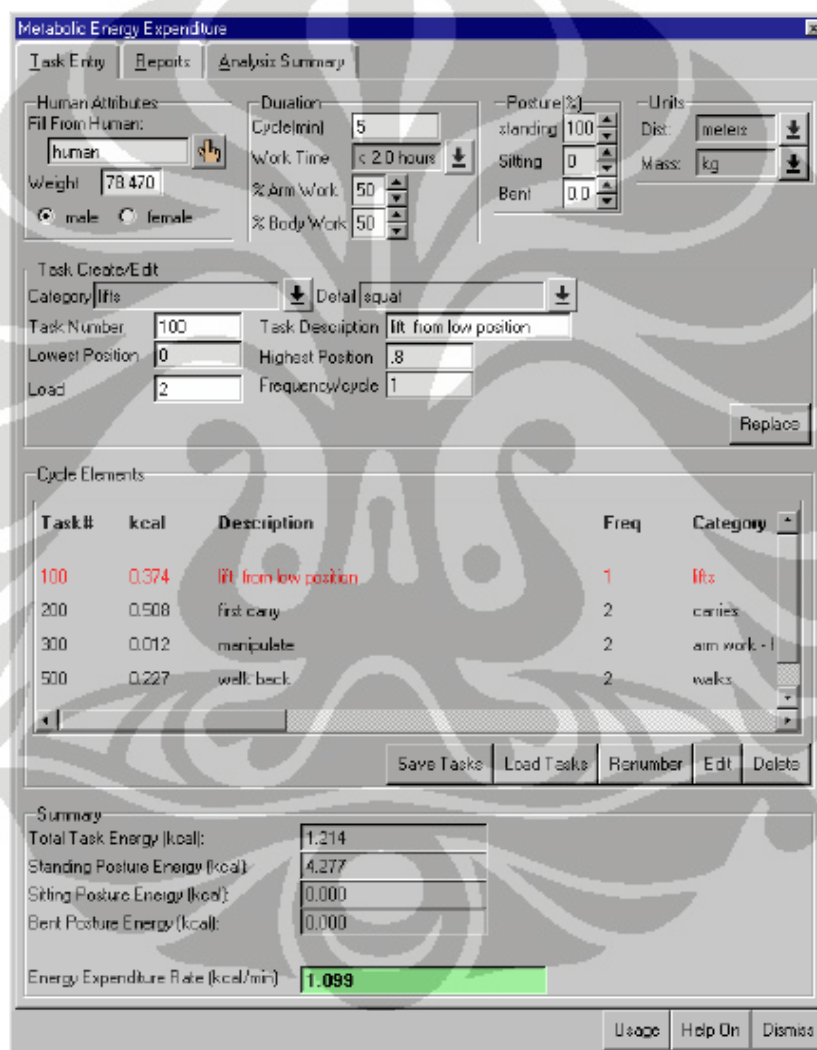
Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.20

2.5.4 *Metabolic Energy Expenditure*

Metabolic energy expenditure digunakan untuk memprediksi jumlah energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan

karakteristik pekerja dan rangkaian kegiatan yang akan dilakukan. Dengan *metabolic energy expenditure*, pengguna dapat:

- Memutuskan apakah pekerjaan yang diberikan sesuai dengan NIOSH atau pedoman spesifik untuk pengeluaran energi metabolis atau menyebabkan pekerja mengalami cedera dan kelelahan
- Mengidentifikasi variabel-variabel pekerjaan yang merepresentasikan peluang terbaik untuk mengurangi pengeluaran energi yang dibutuhkan oleh suatu pekerjaan secara umum



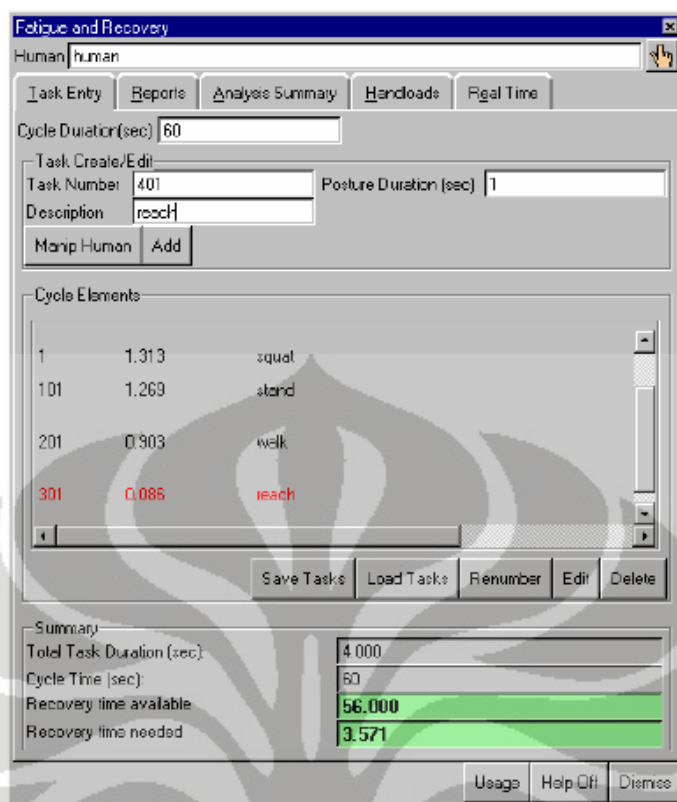
Gambar 2.13. Tampilan *Metabolic Energy Expenditure* pada Software Jack 6.0

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.25

2.5.5 *Fatigue and Recovery Analysis*

Fatigue and recovery analysis, digunakan untuk memperkirakan apakah waktu pemulihan (*recovery time*) yang diberikan dapat mencegah pekerja mengalami kelelahan (*fatigue*). Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Rohmert dan Laurig, *fatigue and recovery analysis* memperhitungkan waktu pemulihan (*recovery time*) yang dibutuhkan untuk suatu pekerjaan dan membandingkannya dengan waktu istirahat (*rest time*) yang ada. Jika waktu istirahat (*rest time*) kurang dari waktu pemulihan (*recovery time*), maka pekerja dianggap memiliki risiko kelelahan (*fatigue*). Dengan *fatigue and recovery analysis*, pengguna dapat:

- Merancang pekerjaan manual untuk meminimalisir risiko kelelahan pada pekerja
- Menganalisis kelelahan yang dialami oleh pekerja dalam postur statis atau secara berkelanjutan dalam simulasi langsung (*real-time simulation*)
- Mengevaluasi metode kerja alternatif dalam melakukan perencanaan pekerjaan manual dan peralatan yang dibutuhkan untuk fasilitas baru
- Mengidentifikasi pekerjaan yang membutuhkan waktu pemulihan (*recovery time*) paling banyak dan menentukan peluang terbesar untuk meminimalisir risiko kelelahan



Gambar 2.14. Tampilan *Fatigue and Recovery Analysis* pada *Software Jack 6.0*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.31

2.5.6 *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*

Menurut Karhu (1977), *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengatur postur tubuh pekerja yang tidak baik dalam industri²⁷.

Prinsip dari OWAS adalah menganalisis dan mengelompokkan postur tubuh saat bekerja (*working posture*). McAtamney dan Hignett (1997) menyatakan bahwa OWAS menunjukkan validitas yang konvergen apabila dibandingkan dengan metode analisis postur tubuh saat bekerja (*working posture*) lainnya seperti *Rapid Entire Body Assessment (REBA)*²⁸.

OWAS merupakan metode sederhana yang digunakan untuk verifikasi tingkat kenyamanan dikaitkan dengan postur tubuh seseorang saat bekerja (*working posture*) dan juga digunakan sebagai evaluasi terhadap tingkat urgensi yang harus diberikan kepada gerakan yang diperbaiki. Metode ini dikembangkan pada industry metalurgi Finn sekitar tahun 1970-an. Metode OWAS digunakan

²⁷ Rupesh Kumar, *Op.Cit.*, hal.20.

²⁸ *Ibid*, hal.21.

untuk menilai posisi tulang belakang, lengan, dan kaki secara bersamaan selama melakukan pekerjaan tertentu. Aktivitas yang akan dinilai harus diobservasi selama 30 detik. Pengumpulan data dan analisis yang dilakukan memungkinkan kita untuk melakukan perancangan ulang terhadap prosedur kerja yang bertujuan untuk mengurangi atau mengeliminasi postur yang kemungkinan besar berbahaya. Dalam OWAS, aktivitas-aktivitas dikelompokkan menggunakan empat kelas utama, yaitu tidak berbahaya (*no harmful effect*), sedikit berbahaya (*a limited harmful effect*), berbahaya (*recognized harmful effect on wealth*), dan sangat berbahaya (*highly harmful effect on wealth*)²⁹. Pengelompokan ini adalah berdasarkan estimasi para ahli dengan mempertimbangkan risiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem muskuloskeletal³⁰.

²⁹ Di Gironimo, Monacellia dan Patalano, *A design methodology for maintainability of automotive components in virtual environment*, 2004, hal.4.

³⁰ W. Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, Taylor and Francis: New York, 2001, hal.3299.

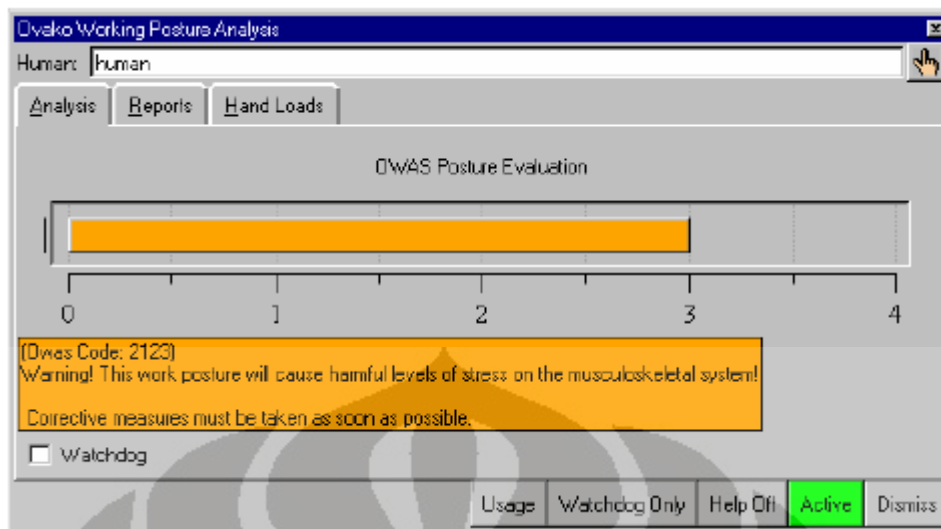


Gambar 2.15. Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

Sumber: Karwowski, 2001, hal.3299

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

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



Gambar 2.16. Tampilan OWAS pada *Software Jack 6.0*

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

2.5.7 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

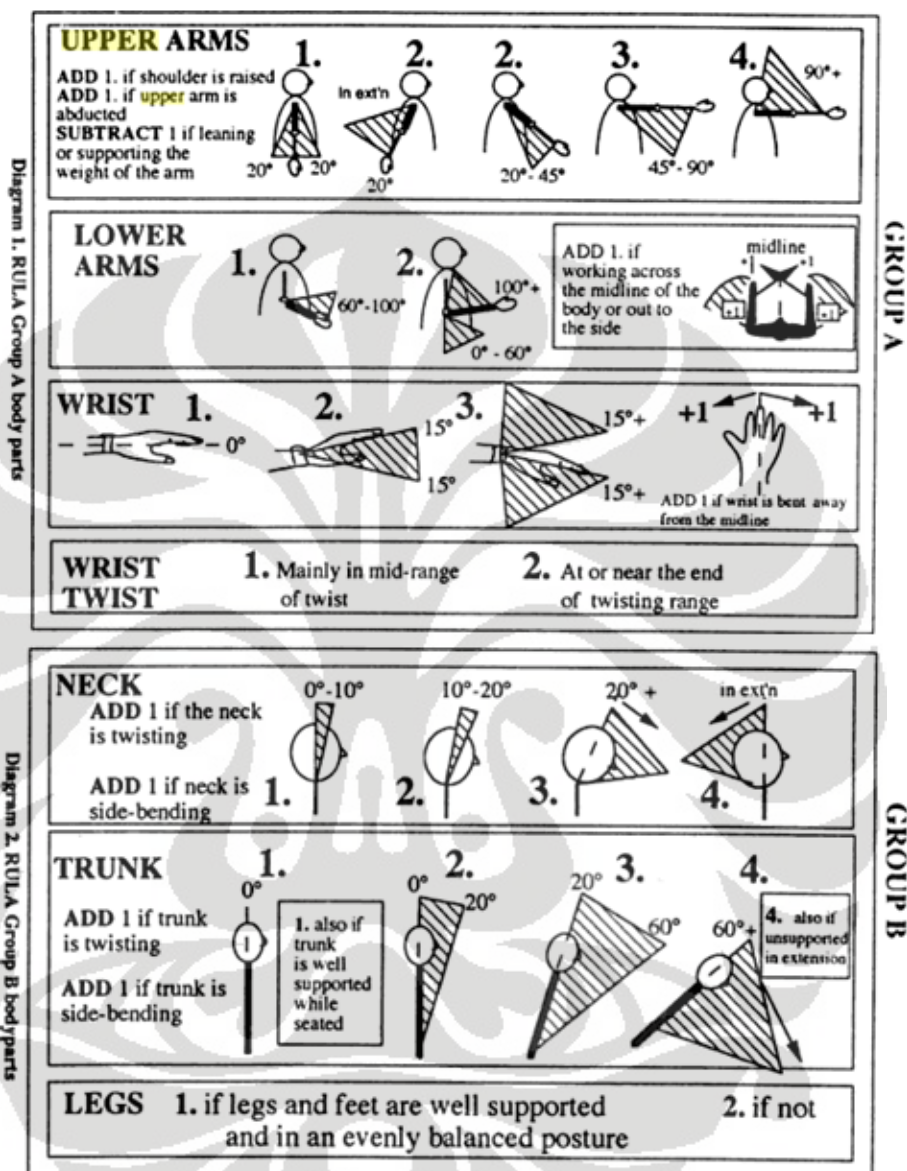
RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) adalah metode peninjauan yang dikembangkan dan berfokus pada penelitian ergonomi pada tempat kerja dimana pekerjaan yang dilakukan pada akhirnya dapat memberikan efek gangguan pada anggota tubuh bagian atas. RULA adalah alat penyaringan yang menilai pembebanan keseluruhan tubuh dengan memperhatikan bagian leher, batang tubuh dan anggota tubuh bagian atas, yang dilihat dari sisi biomekanika dan perawakan manusia (McAtamnet & Corlett, 1993, p.91-99).

RULA digunakan untuk mengevaluasi manusia dari segi postur tubuh yang dimiliki, kekuatan dan aktivitas otot yang memberikan efek berbahaya bagi kesehatan, dikarenakan melakukan pekerjaan berulang sehingga menimbulkan ketegangan pada otot. Pendekatan yang digunakan dalam metode RULA biasanya menggunakan pembobotan, dimana semakin tinggi bobot yang diberikan menunjukkan risiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan (Lueder, 1996).

RULA ditetapkan sebagai alat ergonomi yang mampu mengevaluasi gangguan yang dapat terjadi pada tubuh bagian atas. Metode RULA terdiri dari dua hal yaitu:

- Mengukur risiko cedera pada tubuh bagian atas terhadap postur kerja dan penggunaan otot, berat beban, durasi, serta frekuensi kerja

- Menempatkan suatu skor penilaian yang mengindikasikan derajat intervensi yang dibutuhkan untuk mengurangi risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas.



Gambar 2.17. Pengelompokan Tubuh dalam Metode RULA

Sumber: Karwowski, 2001, hal.1462

Pendekatan yang dilakukan pada teknik evaluasi ini biasanya menggunakan pembobotan, dimana semakin tinggi bobot yang diberikan menjelaskan resiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan³¹.

³¹ R. Lueder, A Propose RULA for Computer Users, *Occupational and Environmental Health*, UC Berkeley Center, San Fransisco, 1996.

RULA memberikan output atau hasil evaluasi berupa bobot nilai. Bobot nilai ini mampu mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi resiko cedera. Berikut bobot nilai hasil evaluasi dalam RULA.

Tabel 2.8. 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

Dalam RULA, ada enam faktor yang mempengaruhi penilai risiko, antara lain³²:

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.

³² E. Occhipinti, dan D. Colombini, Assessment of Exposure to Repetitive Upper Limb Movement: an IEA Consensus Document, *TU TB Newsletter*, 1999, hal.11-12.

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.

Gambar 2.18. Tampilan RULA pada *Software Jack 6.0*

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

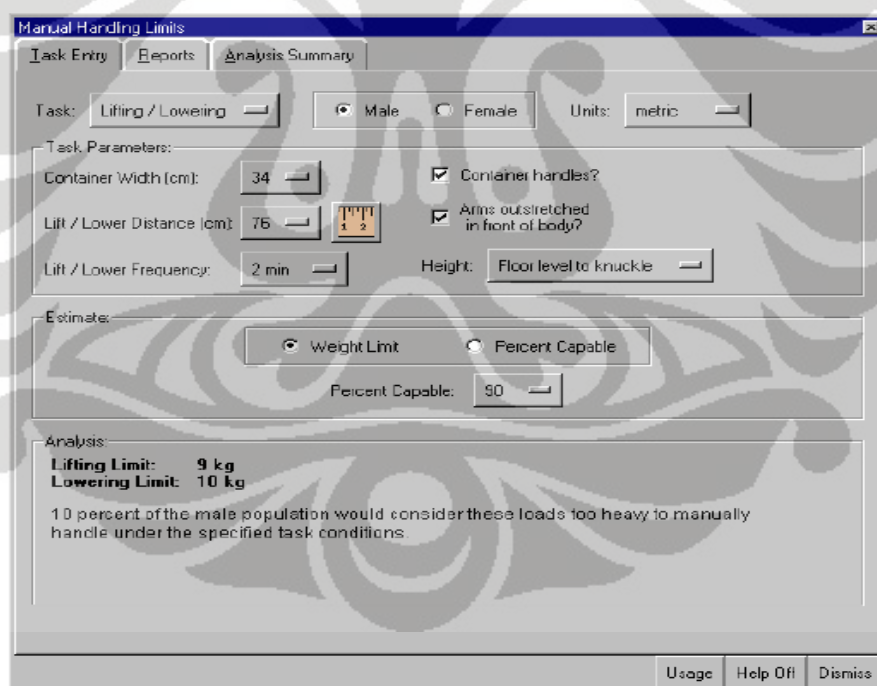
Metode RULA dapat digunakan untuk tiga hal yaitu: mengidentifikasi secara cepat potensi beban kerja yang memungkinkan cedera pada tubuh bagian atas, sebagai panduan desain untuk manual kerja yang baru, ataupun sebagai

pedoman perancangan ulang manual kerja yang telah ada, serta sebagai bahan identifikasi skala prioritas dari postur kerja yang paling membutuhkan modifikasi secara ergonomi.

2.5.8 *Manual Material Handling Limits*

Manual material handling limits digunakan untuk mengevaluasi dan merancang kegiatan kerja yang berkaitan dengan proses penanganan material (*material handling*) sehingga tingkat risiko cedera dapat dikurangi. *Manual material handling limits* memungkinkan pengguna untuk:

- Menentukan beban atau tekanan maksimum yang dapat diterima oleh pekerja pria dan wanita saat melakukan proses penanganan material (*material handling*)
- Melakukan identifikasi terhadap persentase pekerja pria dan wanita yang dapat melakukan pekerjaan penanganan material (*material handling*) dengan beban atau gaya yang diberikan



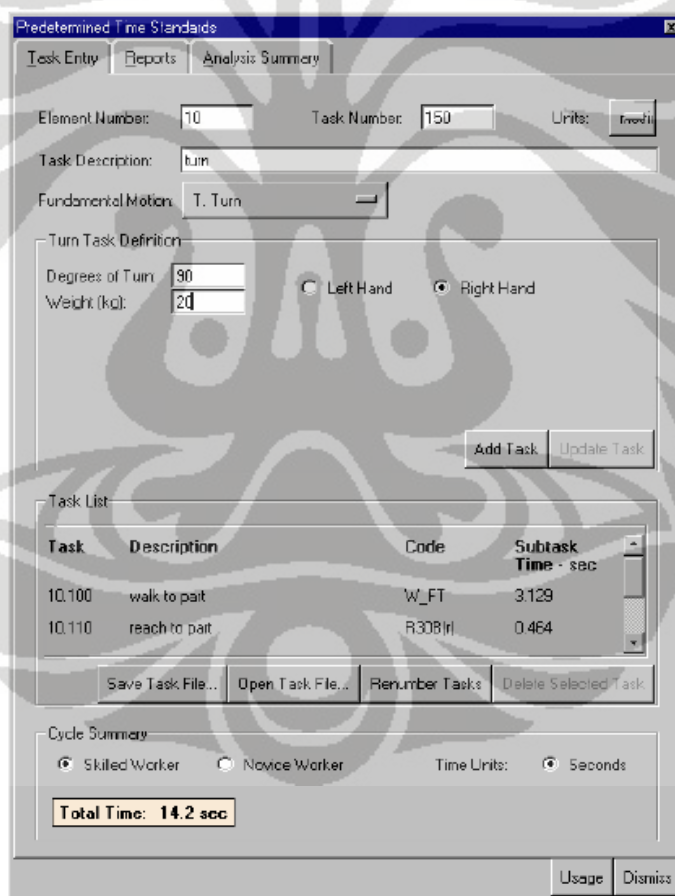
Gambar 2.19. Tampilan *Manual Material Handling Limits* dalam Software Jack 6.0

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.45

2.5.9 Predetermined Time

Predetermined Time digunakan untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan oleh model manusia (manekin) untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan sistem *method time measurement* (MTM-1). Dengan *tool* ini, pengguna dapat:

- Merancang pekerjaan untuk siklus waktu optimal
- Melakukan evaluasi terhadap metode kerja alternatif dalam perencanaan pekerjaan
- Melakukan identifikasi terhadap pergerakan dalam pekerjaan dan variabel-variabel pergerakan yang merepresentasikan peluang terbaik untuk mengurangi waktu total yang dibutuhkan untuk melakukan suatu pekerjaan



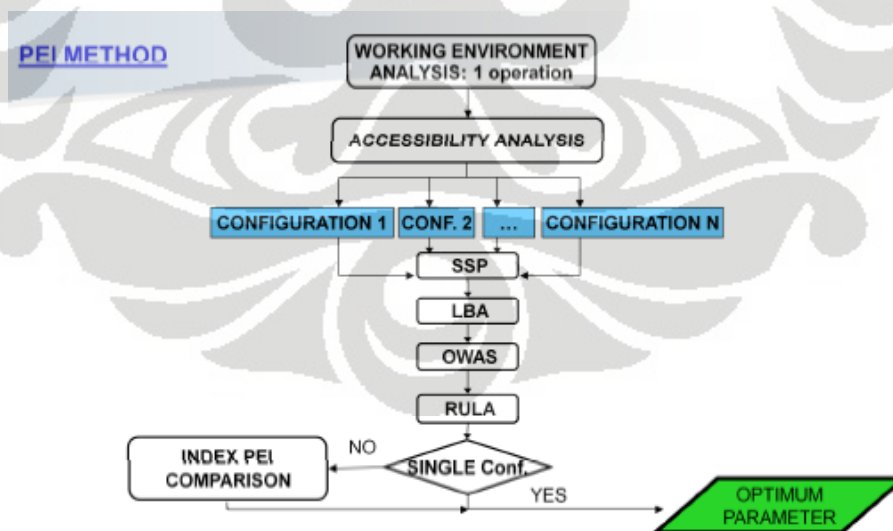
Gambar 2.20. Tampilan *Predetermined Time* pada *Software Jack 6.0*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.49

2.6 Metode PEI (Posture Evaluation Index)

Suatu operasi pekerjaan dapat diuraikan menjadi sejumlah sub-operasi yang lebih sederhana dan setiap sub-operasi yang lebih sederhana tersebut dapat dikerjakan dengan postur kerja tertentu. Dengan adanya software pemodelan manusia maka akan sangat memungkinkan untuk menguraikan suatu operasi menjadi sub-operasi sehingga didapatkan rangkaian postur dan gerakan tulang sendi dari sebuah manusia digital. Sebuah operasi tidak bisa diidentifikasi melalui satu postur tunggal atau satu gerakan tulang sendi tunggal, melainkan harus dilihat sebagai rangkaian gerakan yang konsisten dan harmonis yang diasumsikan oleh operator. Dalam rangkaian gerakan operasi tersebut maka akan didapatkan satu *critical posture* yang berbahaya karena berpotensi menimbulkan *musculoskeletal disorders*.

Critical posture dari setiap rangkaian gerakan akan sangat menentukan tingkat kenyamanan seseorang ketika bekerja. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana cara menentukan *critical posture* yang tepat sehingga tingkat kenyamanan pekerja dapat ditingkatkan. Untuk mengatasi hal ini maka diajukan sebuah metode yang disebut dengan *Posture Evaluation Index (PEI)*. *Posture Evaluation Index (PEI)* merupakan suatu metode untuk melakukan analisis ergonomi yang dikembangkan berdasarkan aplikasi “*Task Analysis Toolkit*” yang dimiliki oleh software Jack 6.0.



Gambar 2.21. Diagram Alir Metode PEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

Tahapan- tahapan dalam metode PEI adalah sebagai berikut:

1. Analisis lingkungan kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan alternatif-alternatif pergerakan yang memungkinkan. Secara umum, pada fase ini peneliti harus mencoba untuk memahami faktor-faktor yang akan berkontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil, mencakup: rute alternatif, postur dan kecepatan eksekusi pekerjaan. Dalam simulasi di *virtual environment*, sangatlah penting melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternatif gerakan. Hal ini bertujuan untuk melakukan verifikasi terhadap kelayakan tugas yang dilakukan operator. Di antara seluruh fase dalam metode PEI, fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena pada fase ini peneliti harus membuat *real-time simulation* dalam jumlah yang sangat banyak dengan adanya kemungkinan beberapa simulasi yang telah dibuat tersebut tidak akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

2. Analisis jangkauan dan aksesibilitas

Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu memerlukan studi pendahuluan untuk mengevaluasi aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Misalkan, pada saat operator melakukan kegiatan mengangkat, terdapat kemungkinan rak tempat meletakkan benda terlalu tinggi sehingga tidak dapat dijangkau oleh operator, akibatnya operator tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang tidak memuaskan pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Dari analisa lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas, konfigurasi yang akan dianalisa pada fase berikutnya dapat ditentukan. Jika jumlah konfigurasi yang dilaksanakan terlalu banyak, maka prosedur *Design of Experiment* (DOE) dapat diterapkan.

3. *Static Strength Prediction (SSP)*

Pada tahapan ini akan dinilai apakah pekerjaan yang dilakukan dapat dipertimbangkan dalam analisis selanjutnya. Pekerjaan tersebut dipertimbangkan untuk tahap analisis selanjutnya jika nilai skor SSP yang dikeluarkan *software* Jack 6.0 minimal 90%. Pekerjaan yang memiliki skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut (hasil wawancara dengan Adelaide Marzano salah satu anggota dari tim pengembang metode PEI dan WEI, 11 Mei 2009).

4. *Low Back Analysis (LBA)*

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

5. *Ovako Working Posture (OWAS)*

Pada tahap ini maka akan dievaluasi tingkat kenyamanan pekerja ketika melakukan suatu pekerjaan. Analisa yang dikeluarkan oleh OWAS juga memberikan rekomendasi perlunya perbaikan postur kerja atau tidak. Indeks tingkat kenyamanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan yang ada pada OWAS yaitu 4.

6. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Pada Tahap ini akan dievaluasi kualitas postur tubuh bagian atas serta diidentifikasi risiko kerusakan atau gangguan pada tubuh bagian atas. Indeks RULA yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimum RULA yaitu 7.

7. Perhitungan skor PEI

PEI mengintegrasikan hasil dari LBA (*Low Back Analysis*), OWAS, (*Ovako Working Postur Analysis System*), dan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment Analysis*) yang dikeluarkan oleh *software* Jack 6.0. PEI menjumlahkan tiga variable dimensional I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 didapatkan dengan menormalisasi skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia. Nilai batas aman yang digunakan dalam metode ini merujuk pada nilai yang dikeluarkan oleh NIOSH yaitu

sebesar 3400 N. Variabel I_2 dan I_3 adalah sama dengan indeks OWAS dinormalisasi dengan nilai maksimumnya (4) dan indeks RULA dinormalisasi dengan angka 7 (batas maksimum tingkat ketidaknyamanan bagian tubuh atas manusia). Namun khusus untuk I_3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* “ m_r ”. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut³³:

$$PEI = I_1 + I_2 + I_3 \cdot m_r \quad (2.4)$$

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

2.7 Sepeda

Sepeda merupakan kendaraan yang digerakkan oleh pedal yang dikayuh oleh manusia dengan dua roda (depan dan belakang) yang disambungkan dengan rangka.

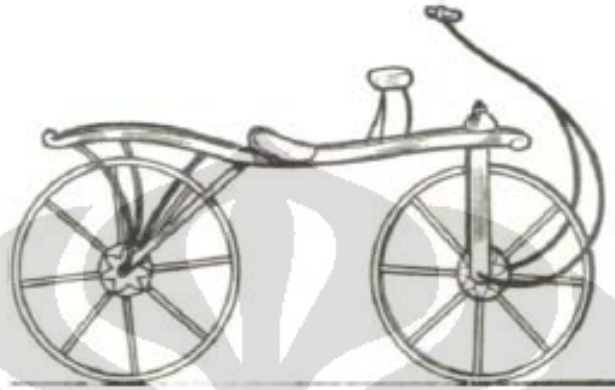
Sebagai bentuk transportasi yang paling lazim di dunia, bersepeda kini mulai “naik daun”, sejalan dengan usaha pemerintah di beberapa negara untuk menggalakkan aktivitas bersepeda melalui program khusus. Jumlah sepeda di dunia saat ini lebih dari 800 juta, hampir dua kali lipat dari jumlah kendaraan umum. Namun, untuk lebih menggalakkan aktivitas bersepeda, negara-negara seperti Belanda, Denmark, Belgia, dan Jerman mengembangkan jaringan jalan untuk sepeda, masing-masing dengan hak guna jalan yang terpisah dari jalan mobil. Tempat parkir yang terpisah, penyewaan sepeda dengan uang jaminan yang akan dikembalikan, bahkan garansi khusus sepeda, semuanya diusahakan untuk meningkatkan minat masyarakat dalam bersepeda³⁴.

Evolusi sepeda dimulai pada tahun 1817 di Jerman saat Baron Karl von Drais menemukan mesin berjalan (*running machine*) yang dapat membantunya mengelilingi taman raya lebih cepat. Kendaraan ini terdiri dari dua buah roda berukuran sama yang sejajar dan dipasang pada kerangka (*frame*) yang terbuat dari kayu serta digerakkan dengan cara mendorong kaki terhadap tanah. Alat yang

³³ Di Gironimo, Monacellia, dan Patalano, *A design methodology for maintainability of automotive components in virtual environment*, 2004, hal.4.

³⁴ B.J. Joyodiharjo, *Desain sepeda alternatif untuk komunitas pekerja kantor yang bersepeda*. Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2007.

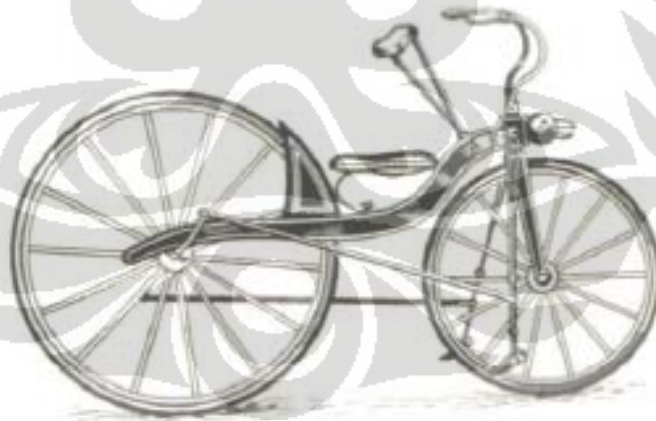
dikenal juga dengan sebutan “Draisienne” atau Kuda Hobi (*Hobby Horse*) ini tidak begitu praktis untuk digunakan sebagai alat transportasi selain pada jalan setapak yang terawat baik, misalnya di taman atau kebun.



Gambar 2.22. *Hobby horse*

Sumber: Kocabiyik, 2004, hal.106

Pada tahun 1839, Kirkpatrick Macmillan menciptakan sebuah sepeda dengan roda belakang yang digerakkan oleh transmisi pedal. Secara teknis, sepeda ini dapat bergerak dengan kecepatan rata-rata delapan mil per jam.



Gambar 2.23. Sepeda Buatan Macmillan

Sumber: Kocabiyik, 2004, hal.113

Pemunculan kendaraan roda dua berikutnya adalah pada tahun 1865, dimana pedal diterapkan secara langsung pada roda depan. Namun, karena rangkanya masih terbuat dari kayu dan kondisi jalan pada masa itu yang masih

bergelombang, maka kendaraan ini tidak banyak digunakan. Selanjutnya, pada tahun 1870 muncul kendaraan metal pertama dimana pedal masih disambungkan dengan roda depan secara langsung dan tidak ada mekanisme *freewheeling* sama sekali. Roda depan dibuat dengan ukuran besar karena menurut pembuatnya semakin besar roda, maka semakin jauh kendaraan dapat bergerak dengan satu rotasi pedal. Kendaraan inilah yang pertama kali disebut *bicycle*.



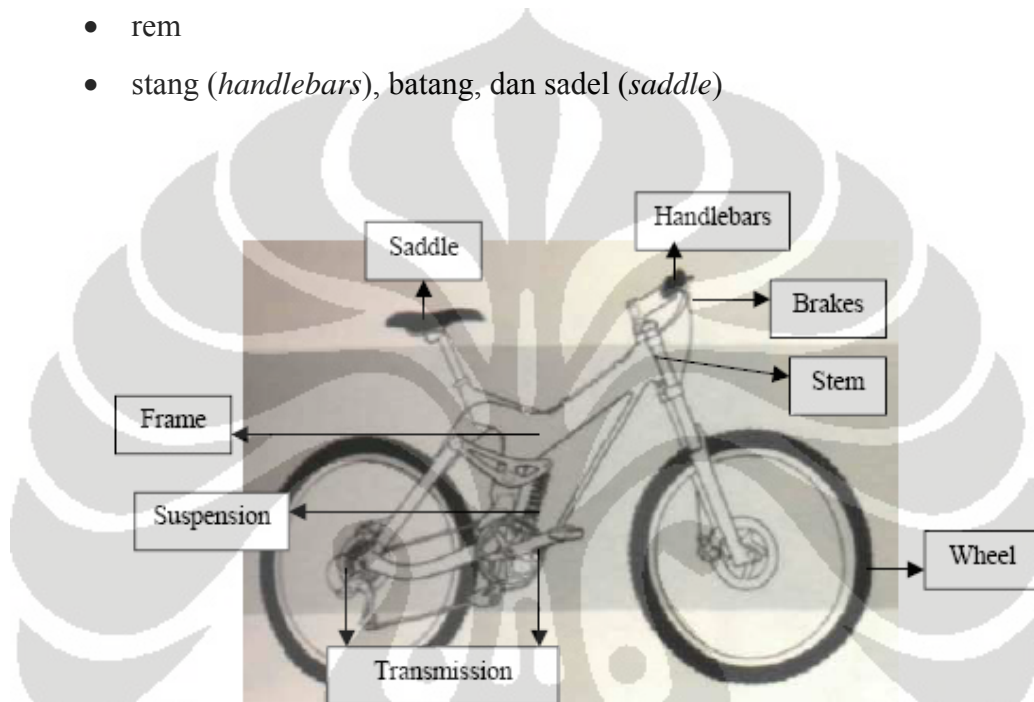
Gambar 2.24. Evolusi Sepeda dari Waktu ke Waktu

Sumber: Kocabiyik, 2004, hal.112

2.7.1 Elemen Sepeda

Sebuah sepeda terdiri dari:

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

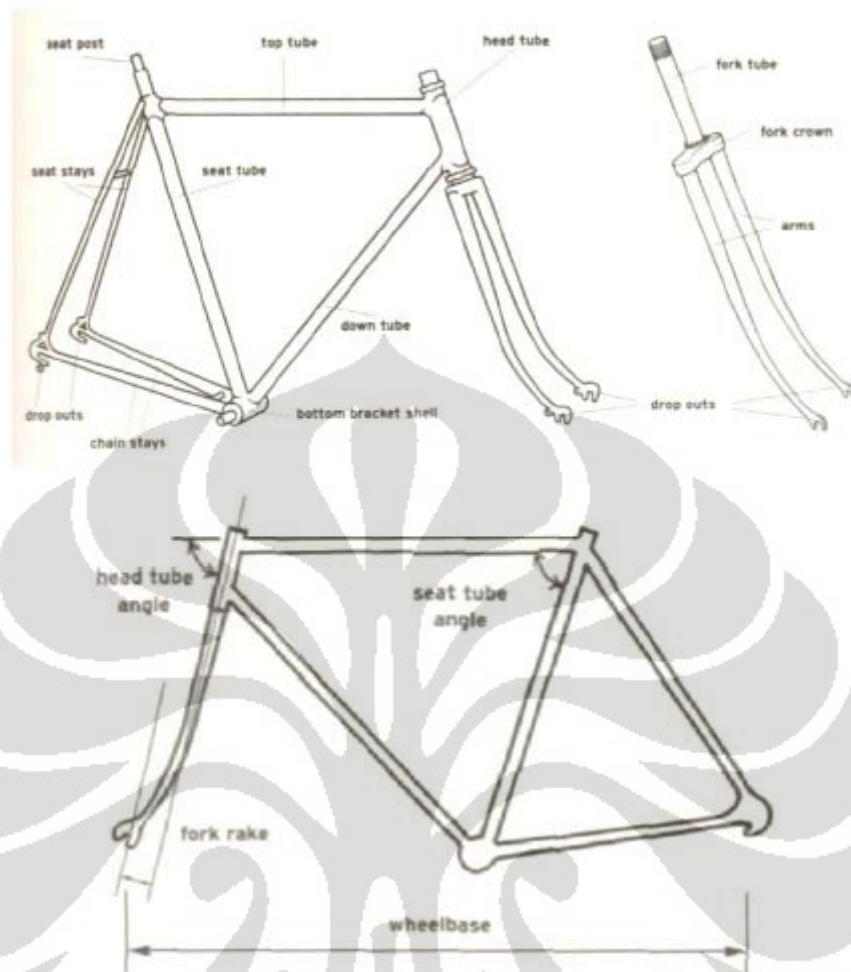


Gambar 2.25. Elemen-Elemen Sebuah Sepeda

Sumber: Kocabiyik, 2004, hal.128

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

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



Gambar 2.26. Kerangka (*Frame*) Sepeda

Sumber: Kocabiyik, 2004, hal.128

2.7.2 Gaya Kayuh Sepeda

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

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

bergesekan, maka koefisien geseknya semakin kecil. Gaya gesek terbagi menjadi dua, yaitu gaya gesek kinetik (f_k) dan gaya gesek statis (f_s)³⁵. Gaya gesek kinetik (f_k) bekerja pada saat benda mulai bergerak dan dipengaruhi oleh koefisien gesek kinetik (μ_k). Gaya gesek statis (f_s) bekerja pada saat kedua permukaan benda yang bersentuhan relatif diam satu sama lain atau ketika benda hampir bergerak dan dipengaruhi oleh koefisien gesek statis (μ_s). Salah satu contoh gaya gesek statis adalah gaya gesek yang terjadi antara ban sepeda dengan permukaan jalan. Secara matematis, gaya gesek dirumuskan sebagai berikut:

$$f_k = \mu_k \times N \dots\dots\dots (2.5)$$

$$f_s = \mu_s \times N \dots\dots\dots (2.6)$$

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

Tabel 2.9. Koefisien Gesek Permukaan Karet dengan Aspal dan Semen

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

Sumber: Carvill, 1993, hal.86

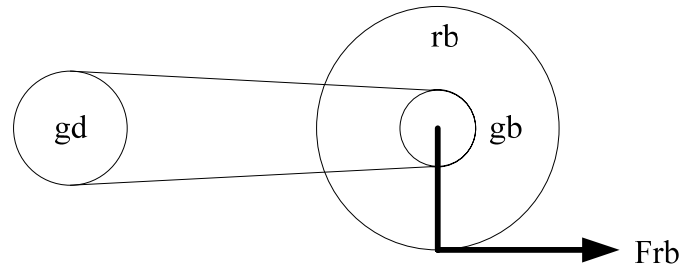
Dengan demikian, besar gaya penggerak roda belakang (F_{rb}) adalah:

$$F_{rb} = F_{sepeda} + f_s \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana $F_{sepeda} = \text{massa sepeda } (M) \times \text{percepatan sepeda } (a) \dots\dots\dots (2.8)$

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

³⁵ Unit Pelaksana Pendidikan Ilmu Pengetahuan Dasar. *Handout fisika*. Universitas Indonesia, Depok, 2005.



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:

$$F_p = (F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}) / (R_{gb} \times L_{tp}) \dots \dots \dots (2.9)$$

BAB 3

PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL

Bab ketiga dalam penelitian ini membahas tentang pengumpulan data dan perancangan model untuk melakukan analisis terhadap sepeda UI dari aspek ergonomi. Data yang dikumpulkan merupakan data-data yang dibutuhkan untuk merancang model dengan menggunakan bantuan *software* Jack 6.0 berupa data spesifikasi sepeda UI, peta jalur dan kemiringan lintasan sepeda UI, serta data antropometri mahasiswi UI. Perancangan model dilakukan terhadap setiap konfigurasi yang telah ditentukan yang bertujuan untuk mendapatkan desain sepeda UI yang ergonomis bagi pengendara wanita.

3.1 Profil Universitas Indonesia (UI)

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.

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.

Pada tahun 2000, Universitas Indonesia menjadi salah satu perguruan tinggi dengan status badan hukum di Indonesia. Hal ini mengawali implementasi gagasan otonomi kampus yang meliputi dua hal, yaitu otonomi dalam hal pengembangan akademik dan otonomi dalam pengelolaan keuangan. Otonomi tersebut memberikan ruang bagi Universitas Indonesia untuk berkembang dan memainkan peranan yang mendasar di era masyarakat berbasis pengetahuan (*knowledge-based society*).

3.1.1 Logo UI dan Filosofinya

Lambang Universitas Indonesia diciptakan pada tahun 1952 oleh Sumaxtono (nama aslinya Sumartono), mahasiswa angkatan 1951 Seni Rupa Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Bandung.

Ide dasar dari lambang tersebut adalah kala-makara, yang merupakan dua kekuatan yang ada di alam, yaitu kala sebagai kekuatan di atas (kekuatan matahari) dan makara sebagai kekuatan di bawah (kekuatan bumi). Kedua kekuatan itu dipadukan dan distilir oleh Sumaxtono menjadi makara yang melambangkan Universitas Indonesia sebagai baik sumber ilmu pengetahuan, maupun hasilnya, yang menyebar ke segala penjuru.

Lambang Universitas Indonesia terdiri dari dua unsur, yaitu: pohon dengan cabang- cabangnya dan makara, seperti yang terlihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1. Logo Universitas Indonesia

Sumber: Universitas Indonesia, *accessed* 2009

Makna logo Universitas Indonesia adalah sebagai berikut:

- Pohon berikut cabang dan kuncup melambangkan pohon ilmu pengetahuan dengan cabang-cabang ilmu pengetahuannya, sementara kuncup tersebut suatu saat akan mekar dan menjadi cabang ilmu pengetahuan baru. Kuncup-kuncup itu akan senantiasa mekar selama pohon ilmu pengetahuan itu hidup. Dengan demikian, Sumaxtono ingin menyatakan bahwa cabang-cabang ilmu pengetahuan akan berkembang sesuai dengan kebutuhan dan kemajuan zaman.
- Makara yang mengalirkan air melambangkan hasil yang memancar ke segala penjuru. Makna yang diberikan Sumaxtono adalah Universitas Indonesia sebagai sumber ilmu pengetahuan, akan menghasilkan sarjana-sarjana yang cerdas, terampil, penuh ketakwaan, berbudi luhur, dan berkepribadian, serta bersikap terbuka, tanggap terhadap perubahan dan kemajuan ilmu dan teknologi serta masalah yang dihadapi masyarakat, dan mampu menyelesaikannya sesuai dengan kaidah-kaidah akademik, di mana pun mereka berada.

Rancangan desain berikut maknanya diperlihatkan oleh Sumaxtono kepada Srihadi (mahasiswa Seni Rupa FT-UI, Bandung Angkatan 1952) pada tahun 1952. Prof. KRHT H. Srihadi Soedarsono Adhikoesoemo, M.A. - yang juga pencipta lambang Institut Teknologi Bandung - tidak mengetahui kapan dan siapa yang mengesahkan lambang UI tersebut. Yang pasti adalah, sampul buku *Universiteit Indonesia, Fakulteit Teknik, Bandung: Rentjana Untuk Tahun Peladjaran 1952-1953* (Percetakan AID, Bandung, 120 hlm.) menggunakan lambang Universitas Indonesia untuk pertama kali seperti yang dibuat oleh Sumaxtono (tanpa bingkai segilima).

3.1.2 Program *Green Campus* dan Fasilitas Sepeda UI

Perkembangan global dewasa ini membawa indikasi bahwa masa depan dunia berada pada bayang-bayang suramnya lingkungan hidup. Pemanasan global adalah refleksi dari perkembangan teknologi yang tidak sinkron dengan kepedulian manusia terhadap lingkungan hidup pada tataran moral dan etika. Untuk mengantisipasi hal tersebut, UI memiliki obsesi untuk menciptakan

lingkungan kampus yang hijau atau *green campus*. Sebagai institusi pendidikan dengan perspektif *world class university*, UI mempunyai modal simbolik berupa pengetahuan dan alokasi dana untuk menjadi significant others 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.

Salah satu program yang termasuk dalam usaha UI untuk menjadi *green campus* adalah penyediaan fasilitas sepeda sebagai moda transportasi alternatif bagi mahasiswa UI selain bis kampus. Program ini dicanangkan oleh rektor Universitas Indonesia Prof.Dr.derSoz.Gumilar Rusliwa Somantri pada tahun 2008³⁶.



Gambar 3.2. Sepeda UI

³⁶ Zulfahrie dan Samantha, Virginia. Besar pasak dari tiangnya, jalur sepeda jadi pilihannya. *Jejak*. 2008.

Program ini diawali dengan pembuatan jalur sepeda selebar 2,1 meter dengan panjang total sekitar 25 km yang terbuat dari *paving block* berwarna merah bata. Jalur sepeda UI yang dibangun dengan konsep *fun recreation* ini, menghubungkan pusat-pusat kegiatan di UI seperti fakultas, rektorat, mesjid, asrama, dan berbagai pusat kegiatan lain secara *interconnected* atau saling terhubung³⁷.

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.



Gambar 3.3. Salah Satu Lintasan pada Jalur Sepeda UI

Dengan adanya jalur dan fasilitas sepeda UI ini diharapkan universitas-universitas lain di Indonesia dapat termotivasi untuk melakukan hal serupa sehingga dapat mengurangi dampak dari pemanasan global (*global warming*).

³⁷ Esyandi, Dodi. Sepeda akan jadi kendaraan wajib di UI. *Bisnis Indonesia*. 2008.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan mengambil data yang sudah tersedia dan melakukan pengukuran sepeda UI. Selanjutnya, akan dijelaskan lebih detail data-data yang diperlukan.

3.2.1 Data Spesifikasi Sepeda UI

Sepeda UI termasuk ke dalam kategori *fun bike* karena mempunyai massa yang ringan yaitu 15 kg. Sepeda UI merupakan produk Polygon yang diberikan secara gratis kepada pihak UI sebagai dukungan terhadap program *green campus* yang dicanangkan oleh Universitas Indonesia. Detil spesifikasi sepeda UI dapat dilihat pada keterangan di bawah ini:



Gambar 3.4. Spesifikasi Sepeda UI

Tabel 3.1. Data Spesifikasi Sepeda UI

No.	Keterangan	Ukuran (cm)	
		Panjang	Diameter
1	Jarak antara stang dan sadel	50	3.98
2	Tinggi stang	12	2.39
3	Panjang stang	58	2.39
4	Jarak antara stang dan pedal	61	4.61
5	Jarak antara stang dan garpu depan	12	3.02
6	Panjang garpu depan	41	3,02
7	Jarak antara sadel dan pedal	38	3.02
8	Diameter pedal	-	15
9	Panjang tuas pedal	19	-
10	Panjang sadel	27	-
11	Tinggi sadel	11	3
12	Jarak sadel dan roda belakang	44	2.39
13	Jarak pedal dan roda belakang	44	2.39
14	Lebar garpu depan	15	-
15	Diameter roda depan dan belakang	31	-

3.2.2 Peta Jalur Sepeda UI

Jalur sepeda UI merupakan sarana penunjang dalam rangka mencapai tujuan dalam program *green campus*. Jalur sepeda ini dibuat 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 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5. Peta Jalur Sepeda UI

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

3.2.3 Kemiringan Lintasan Menanjak Sepeda UI

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*.

Theodolite adalah alat untuk mengukur kedua sudut vertikal dan horisontal, seperti yang digunakan dalam jaringan triangulasi. *Theodolite* merupakan alat utama dalam survei dan teknik bekerja, terutama pada tanah yang tidak dapat diakses. Saat ini, *theodolite* sudah disesuaikan untuk keperluan khusus lainnya seperti dalam bidang peluncuran roket meteorologi dan teknologi. *Theodolite* modern terdiri dari teleskop yg dapat bergerak dan memiliki dua sumbu garis tegak lurus, yaitu trunnion atau sumbu horizontal dan sumbu vertikal. Ketika teleskop diarahkan pada obyek yang diinginkan, maka sudut dari tiap-tiap sumbu dapat diukur dengan tepat, biasanya dalam skala *arcseconds*.



Gambar 3.6. *Theodolite*

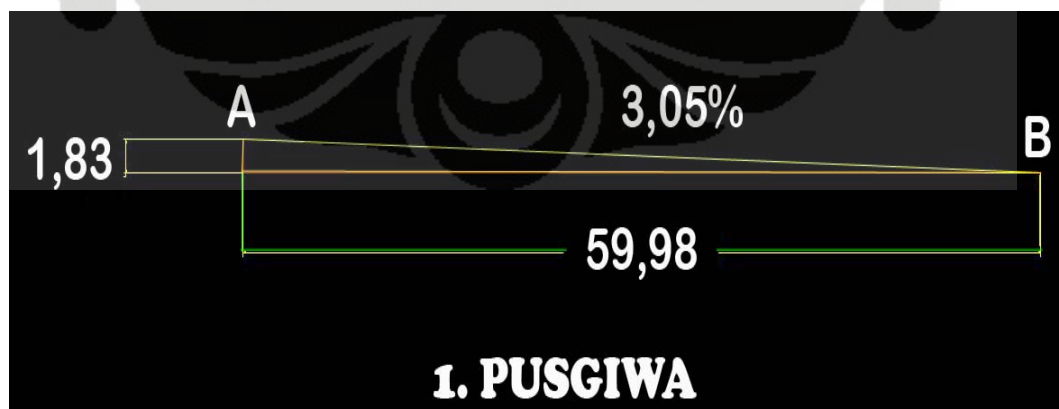
Sumber: Wikipedia

Hasil pengukuran kemiringan lintasan menanjak pada jalur sepeda UI dapat dilihat pada lampiran 1. Rekapitulasi data kemiringan lintasan menanjak dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini.

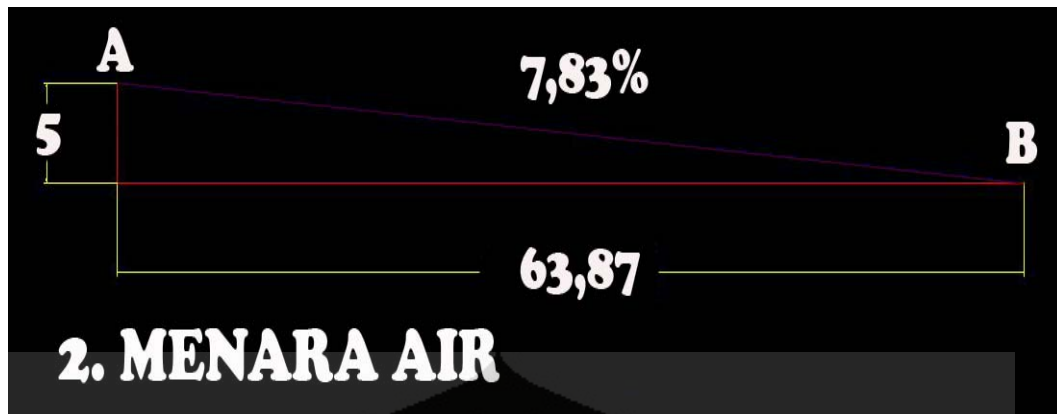
Tabel 3.2. Rekapitulasi Kemiringan Lintasan Menanjak pada Jalur Sepeda UI

Titik Lintasan yang Diukur	Persen Kemiringan
Pusgiwa	3.05
Menara Air	7.83
Balai rung – BNI	2.82
Balai rung – Rektorat	8.93
FE	2.04
	2.06
Hollywood UI 1	7.13
Hollywood UI 2	11.50
	6.06
Resimen Mahasiswa (Menwa)	9.14
	9.30
RM. Mang Engking	3.80
	4.01

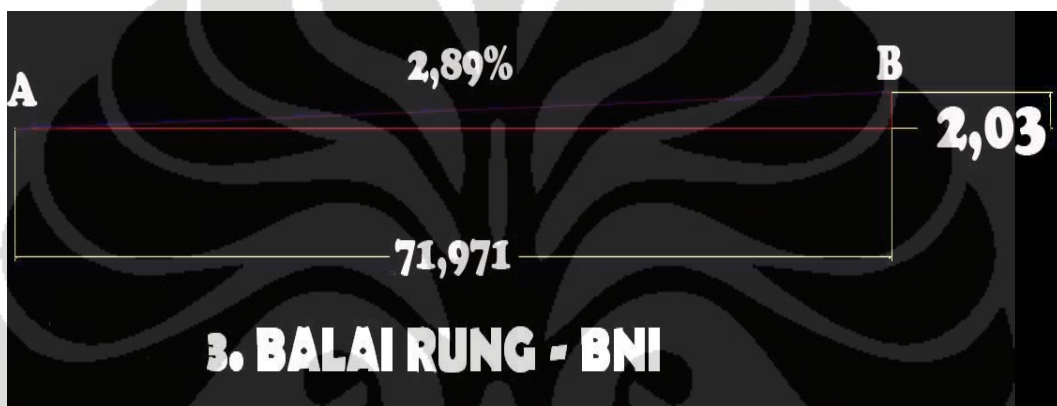
Berdasarkan data kemiringan lintasan tersebut, selanjutnya dilakukan pembuatan model lintasan menanjak dengan menggunakan bantuan *software* Auto CAD. Model lintasan ini nantinya akan menjadi salah satu input dalam perancangan model dengan *software* Jack 6.0.



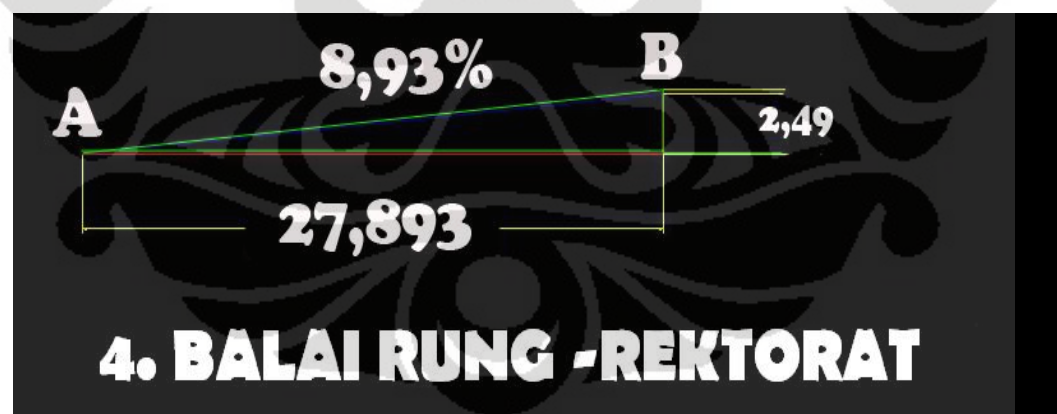
Gambar 3.7 Model Lintasan Pusgiwa



Gambar 3.8 Model Lintasan Menara Air



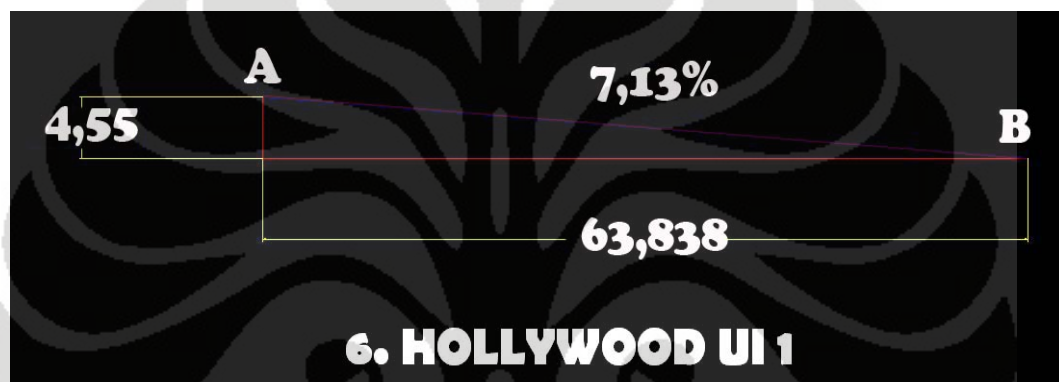
Gambar 3.9 Model Lintasan Balai Rung - BNI



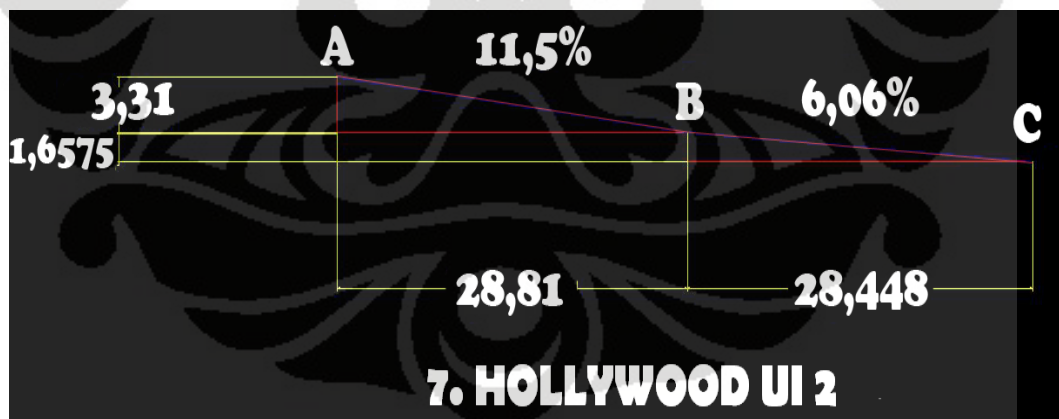
Gambar 3.10 Model Lintasan Balai Rung – Rektorat



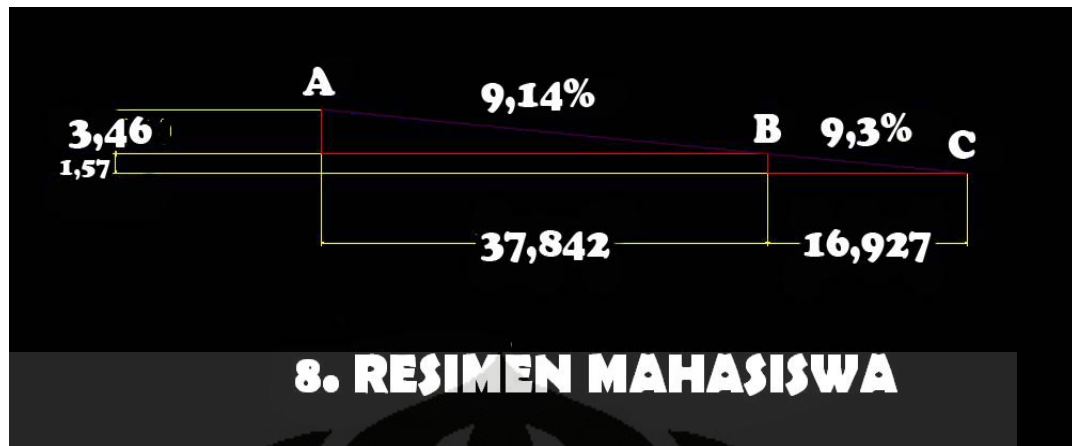
Gambar 3.11 Model Lintasan Fakultas Ekonomi



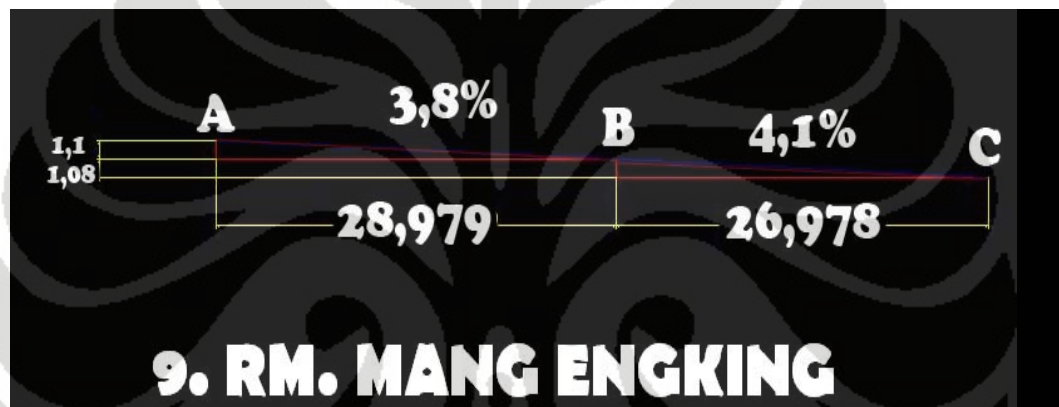
Gambar 3.12 Model Lintasan Hollywood UI 1



Gambar 3.13 Model Lintasan Hollywood UI 2



Gambar 3.14 Model Lintasan Resimen Mahasiswa (Menwa)



Gambar 3.15 Model Lintasan RM. Mang Engking

Dari titik-titik tersebut, hanya titik lintasan yang mempunyai persen kemiringan paling besar saja yang akan digunakan dalam pengolahan data. Hal ini berdasarkan asumsi bahwa lintasan dengan kemiringan terbesar dapat mewakili lintasan-lintasan lainnya yang mempunyai kemiringan lebih kecil. Dengan demikian, titik lintasan yang digunakan adalah lintasan hollywood UI 2 yang memiliki persen kemiringan 11,5%.

3.2.4 Data Antropometri Mahasiswa UI

Data antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) adalah data mahasiswi S1 reguler UI yang masih aktif. Data antropometri tersebut diperoleh dengan cara melakukan pengukuran secara langsung terhadap sampel mahasiswi 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 3.16.



Gambar 3.16 Dimensi Tubuh yang Diukur untuk Antropometri Mahasiswi UI

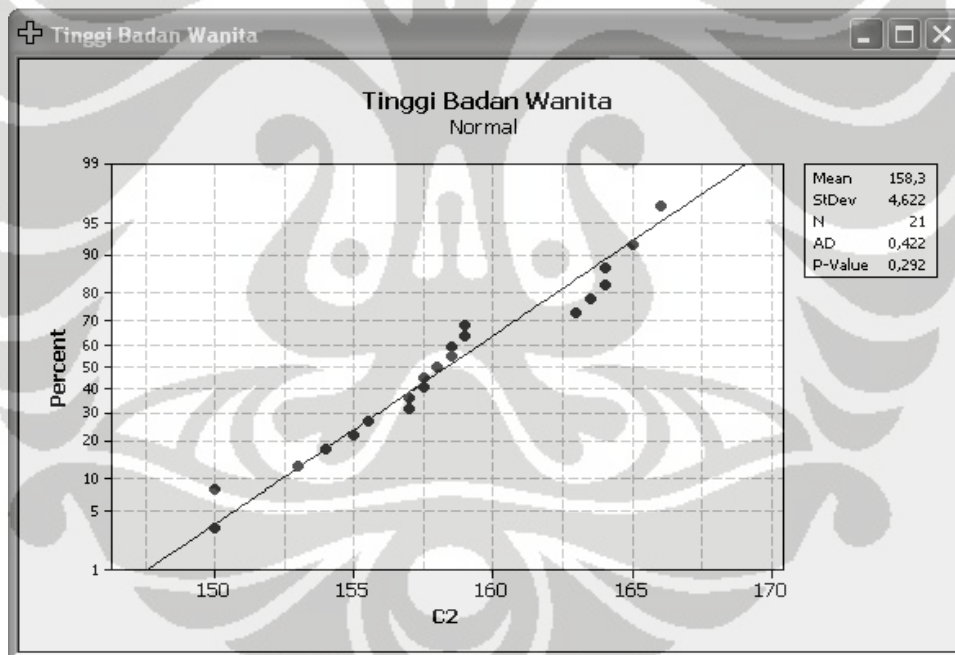
Sumber: Pheasant, 2003 (diolah)

Keterangan gambar 3.16 adalah sebagai berikut:

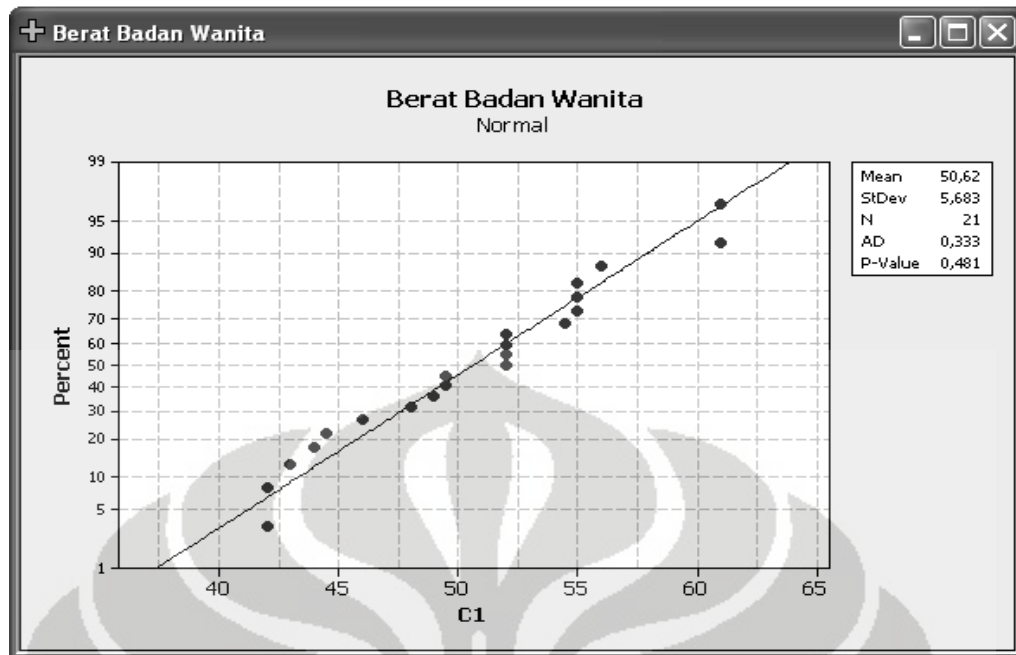
- 2 = dimensi tinggi tubuh dalam posisi berdiri tegak (*stature*)
- 3 = panjang lengan (*arm length*)
- 4 = jarak antara siku dan ujung jari (*elbow fingertip*)
- 5 = jarak antara bahu dan siku (*shoulder elbow*)
- 6 = lebar tangan (*hand breadth*)
- 7 = panjang tangan (*hand length*)
- 8 = panjang paha yang diukur dari pantat hingga 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*)

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

Untuk mengetahui apakah data antropometri yang diperoleh cukup baik untuk digunakan dalam penelitian ini, maka perlu dilakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data tersebut terdistribusi secara normal atau tidak. Jika hasil uji normalitas menghasilkan *p-value* lebih dari 5%, maka data tersebut terdistribusi secara normal. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 14. Hasilnya tersaji pada gambar 3.17 dan 3.18 di bawah ini.



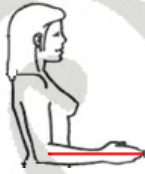



Gambar 3.17. Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan Mahasiswa UI









Gambar 3.18. Hasil Uji Normalitas Data Berat Badan Mahasiswi UI

Berdasarkan hasil uji normalitas, *p-value* dari data tinggi badan adalah 29,2%. Sedangkan *p-value* dari data berat badan adalah 48,1%. Dari sini, dapat dilihat bahwa data tinggi badan dan berat badan mahasiswi UI terdistribusi secara normal. Dengan demikian, peneliti dapat menggunakan data antropometri yang sudah diukur sebagai data utama yang digunakan untuk membuat model manusia (manekin) dalam *software* Jack. Data antropometri yang ada dibuatkan persentil 5th, 50th dan 95th yang dapat terlihat pada tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3. Rekapitulasi Data Antropometri Mahasiswi UI

Variabel Antropometri	Keterangan	Persentil	
		5%	95%
Berat badan (kg)		5%	42
		50%	51.5
		95%	65.95
Tinggi badan (cm)		5%	150
		50%	157.5
		95%	164.78
Panjang lengan (cm)		5%	65.9
		50%	71
		95%	74.55
Panjang dari siku ke jari (cm)		5%	39.45
		50%	43
		95%	45.55
Jarak bahu dan siku (cm)		5%	30.45
		50%	32
		95%	35
Lebar tangan (cm)		5%	8.5
		50%	9
		95%	10
Panjang tangan (cm)		5%	15.725
		50%	17
		95%	18.365

Tabel 3.3. Rekapitulasi Data Antropometri Mahasiswi UI (sambungan)

Variabel Antropometri	Keterangan	Persentil	
		5%	95%
Jarak pantat dan lutut (cm)		5%	51.225
		50%	54
		95%	60
Lebar pinggul (cm)		5%	30.725
		50%	35
		95%	37.55
Lebar kaki (cm)		5%	8.39
		50%	9
		95%	10.275
Panjang kaki (cm)		5%	21.27
		50%	23
		95%	25
Tinggi mata kaki (cm)		5%	5.225
		50%	6.5
		95%	7.5
Tinggi lutut saat duduk (cm)		5%	44.45
		50%	48.25
		95%	52

Detail data hasil pengukuran antropometri mahasiswi UI dapat dilihat pada lampiran 2.

3.3 Perancangan Model

Tahapan awal dalam perancangan model adalah membuat model *virtual* sepeda dengan menggunakan *software* SolidWorks. Hasil dari gambar SolidWorks ini nantinya akan menjadi input dalam *software* Jack 6.0 sehingga dapat dihasilkan lingkungan *virtual* (*virtual environment*) sesuai dengan kondisi sebenarnya.



Gambar 3.19. Model Sepeda UI dalam *Software* SolidWorks

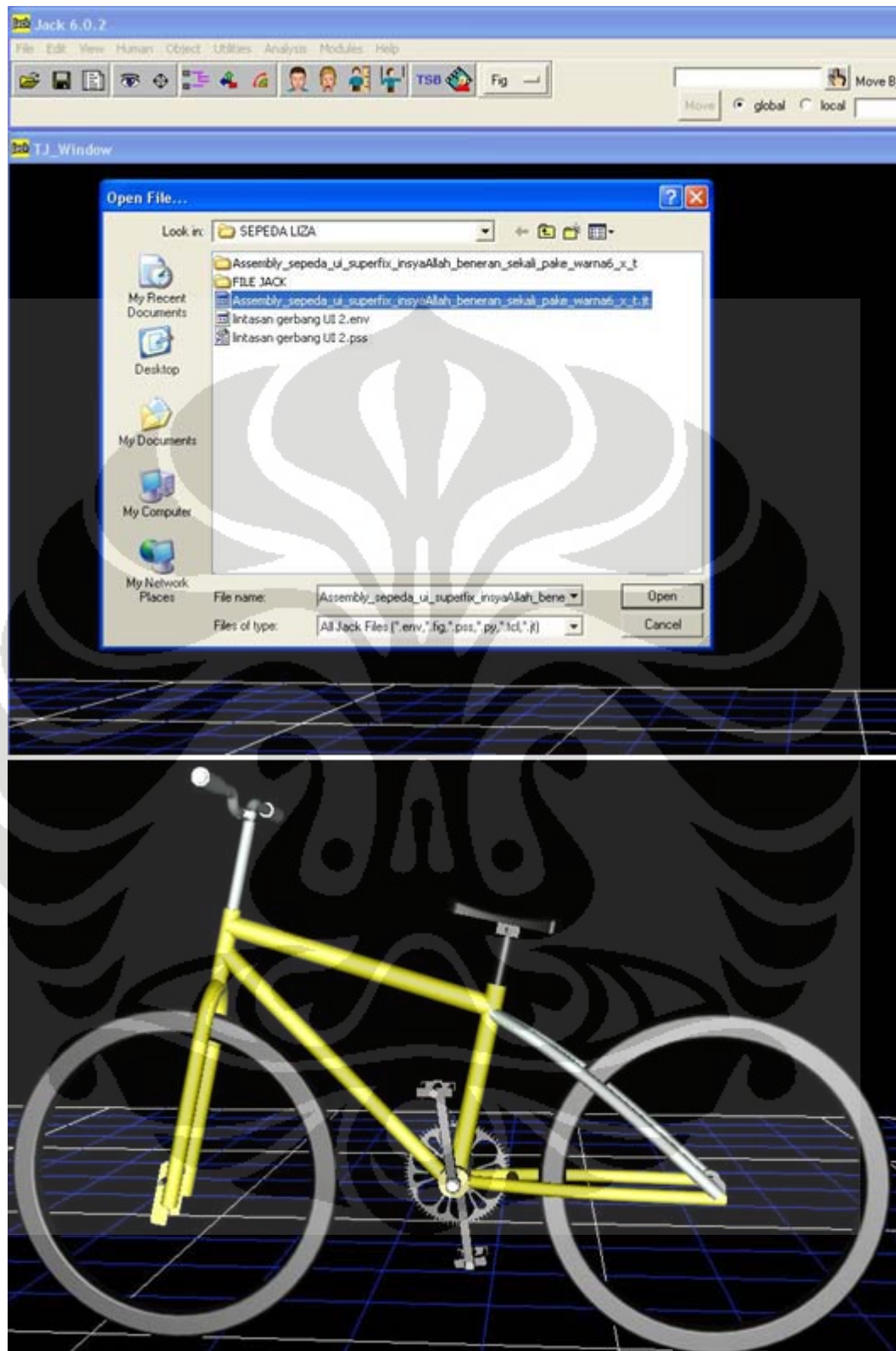
Tahapan-tahapan dalam proses perancangan model adalah sebagai berikut:

1. Membuat sebuah lingkungan *virtual* (*virtual environment*) yang terdiri atas model sepeda dan model lintasan
2. Membuat model manusia (manekin)
3. Menyesuaikan postur model manusia (manekin) dengan model sepeda
4. Membuat sistem animasi (*animation system*) yang merepresentasikan aktivitas bersepeda yang sebenarnya
5. Memberikan gaya (*force*) pada kaki dan bahu
6. Menganalisis kinerja model manusia (manekin)
7. Melakukan perhitungan nilai PEI (*Posture Evaluation Index*)

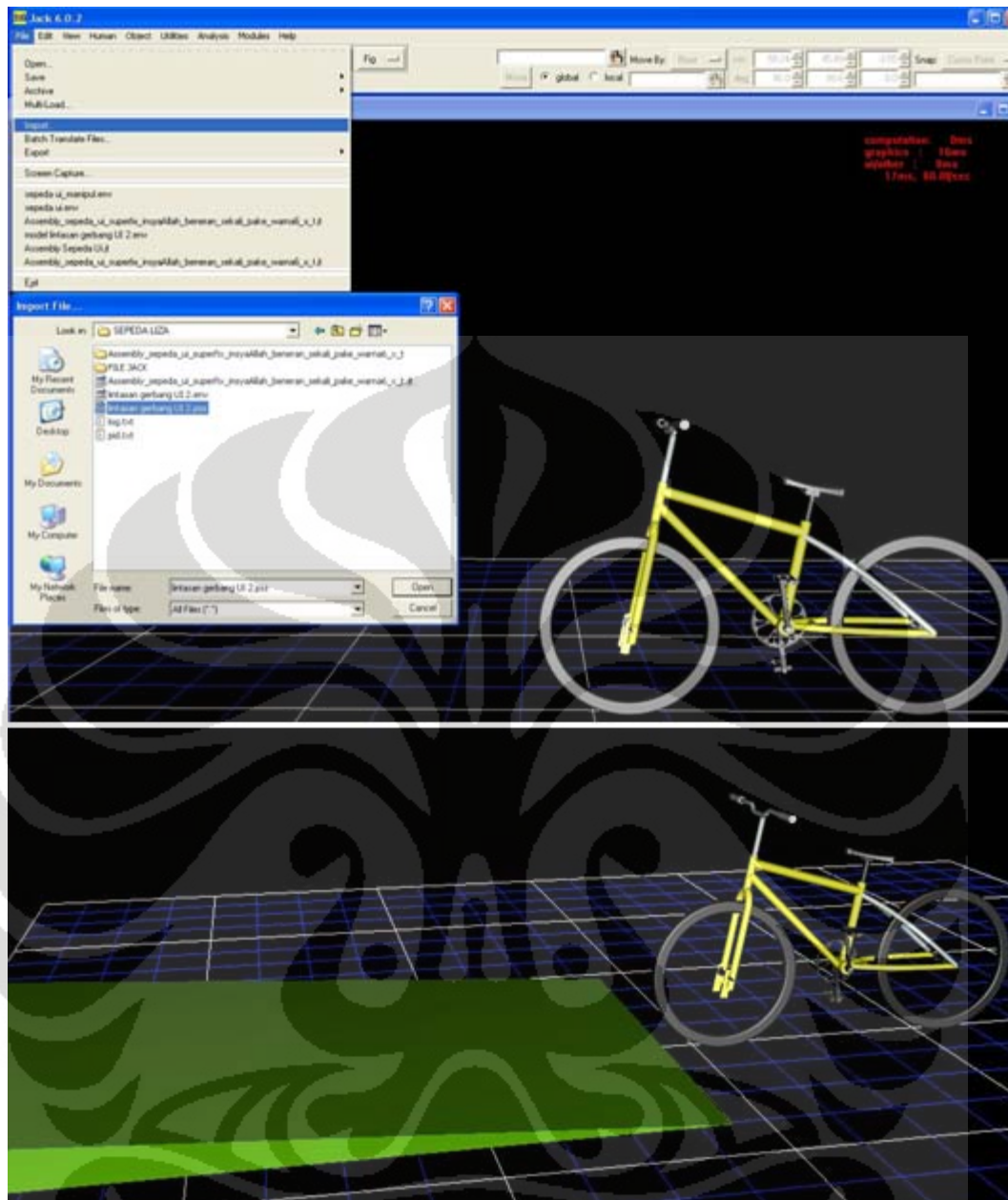
3.3.1 Membangun Lingkungan *Virtual* (*Virtual Environment*)

Pembuatan lingkungan *virtual* (*virtual environment*) dalam *software* Jack 6.0 dapat dilakukan dengan memanfaatkan fungsi-fungsi atau objek-objek yang disediakan oleh *software* Jack 6.0 itu sendiri atau dengan cara mengimpor dari *software* lain yang jenis berkas (*file*)-nya disesuaikan dengan format yang ada dalam *software* Jack 6.0, seperti AutoCAD, SolidWorks, dan lain-lain. Dalam penelitian ini, digunakan lingkungan *virtual* (*virtual environment*) kosong dari *template software* Jack 6.0 serta mengimpor model sepeda dari berkas SolidWorks dan model lintasan dari berkas AutoCAD. Oleh karena *software* Jack 6.0 dapat secara langsung membuka berkas (*file*) dengan format Vis (.jt), maka model sepeda yang dihasilkan dari SolidWorks disimpan dalam format tersebut sehingga proses yang dilakukan menjadi lebih cepat dan praktis. Namun, karena *software* Jack 6.0 tidak dapat secara langsung membuka berkas (*file*) yang dihasilkan dari AutoCAD, maka kita perlu mengimpor berkas (*file*) tersebut.

Command yang digunakan dalam tahapan ini adalah File → Open untuk model sepeda dan File → Import untuk model lintasan. Berikut adalah gambar dari lingkungan *virtual* (*virtual environment*) yang telah dibuat.



Gambar 3.20. Model Sepeda UI dalam *Software Jack 6.0*



Gambar 3.21. Lingkungan *Virtual (Virtual Environment)* dalam *Software Jack 6.0*

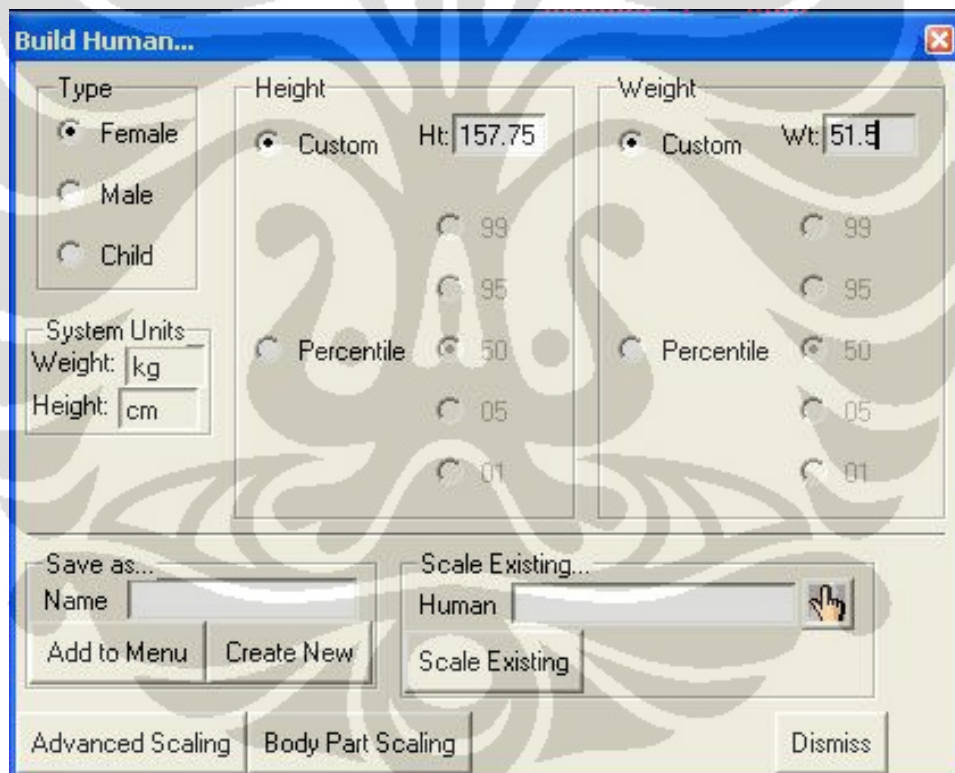
3.3.2 Membuat Model Manusia (Manekin)

Model manusia (manekin) dalam *software Jack 6.0* terdiri dari 71 segmen, 69 persendian, dan 135 derajat kebebasan. Database antropometri yang digunakan oleh *software Jack 6.0* untuk membuat model manusia (manekin) adalah ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*). *Software Jack 6.0* juga memungkinkan penggunaannya untuk membuat model manusia (manekin) tidak hanya dengan skala dasar, yaitu tinggi dan berat badan ataupun dengan persentil “5th, 50th, dan 95th”,

tapi juga melalui pembuatan skala yang lebih detail dengan memanfaatkan fungsi *Advanced Human Scaling*. Dengan fungsi tersebut, pengguna dapat membuat model manusia (manekin) dengan dimensi antropometri tertentu.

Dalam penelitian ini, pembuatan model manusia (manekin) dilakukan dengan menggunakan fungsi *Advanced Human Scaling* dimana input yang dimasukkan merupakan persentil 50th dari hasil pengukuran antropometri mahasiswi UI. Data persentil 50% digunakan untuk merancang simulasi agar mampu mengatasi kesulitan akan kompleksitas data antropometri sehingga rancangan simulasi yang dibuat mendekati keadaan yang sebenarnya.

Command yang digunakan dalam tahapan ini adalah Human → Create Human → Custom.



Gambar 3.22. Kotak Dialog *Create Human*

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

Build Human...

Stature:

Abdominal Dep.:

Ankle Hgt:

Acromion Height:

Arm Length:

Biacromial Br.:

Bideltoid Br.:

Buttock-Knee:

Elbow Rest Hgt:

Elbow-Fingertip:

Foot Breadth:

Foot Length:

Hand Breadth:

Hand Length:

Head Breadth:

Head Height:

Head Length:

Gender: Female Male

Hip Breadth:

Interpupil Dist:

Shoulder-Elbow:

Sitting Acromial:

Sitting Eye:

Sitting Hgt:

Sit Knee Hgt:

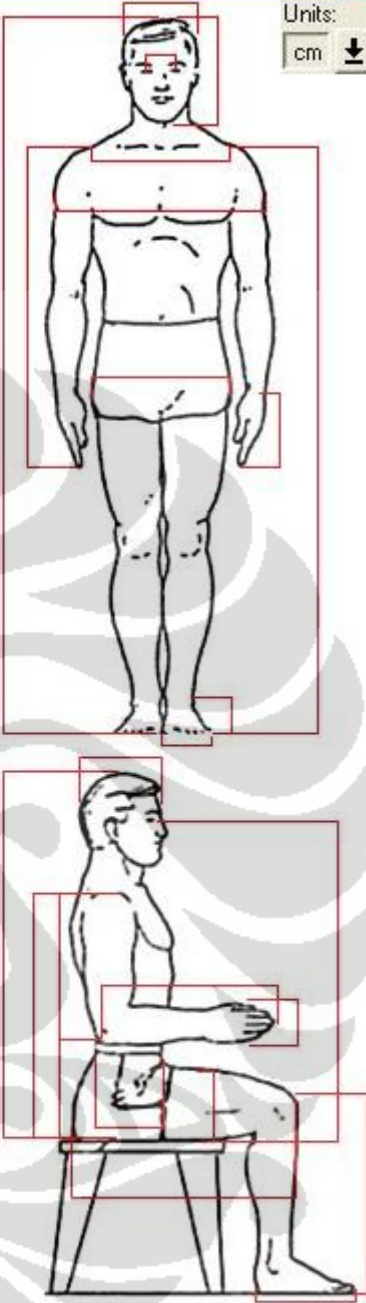
Thigh Clearance:

Thumbtip Reach:

Units:

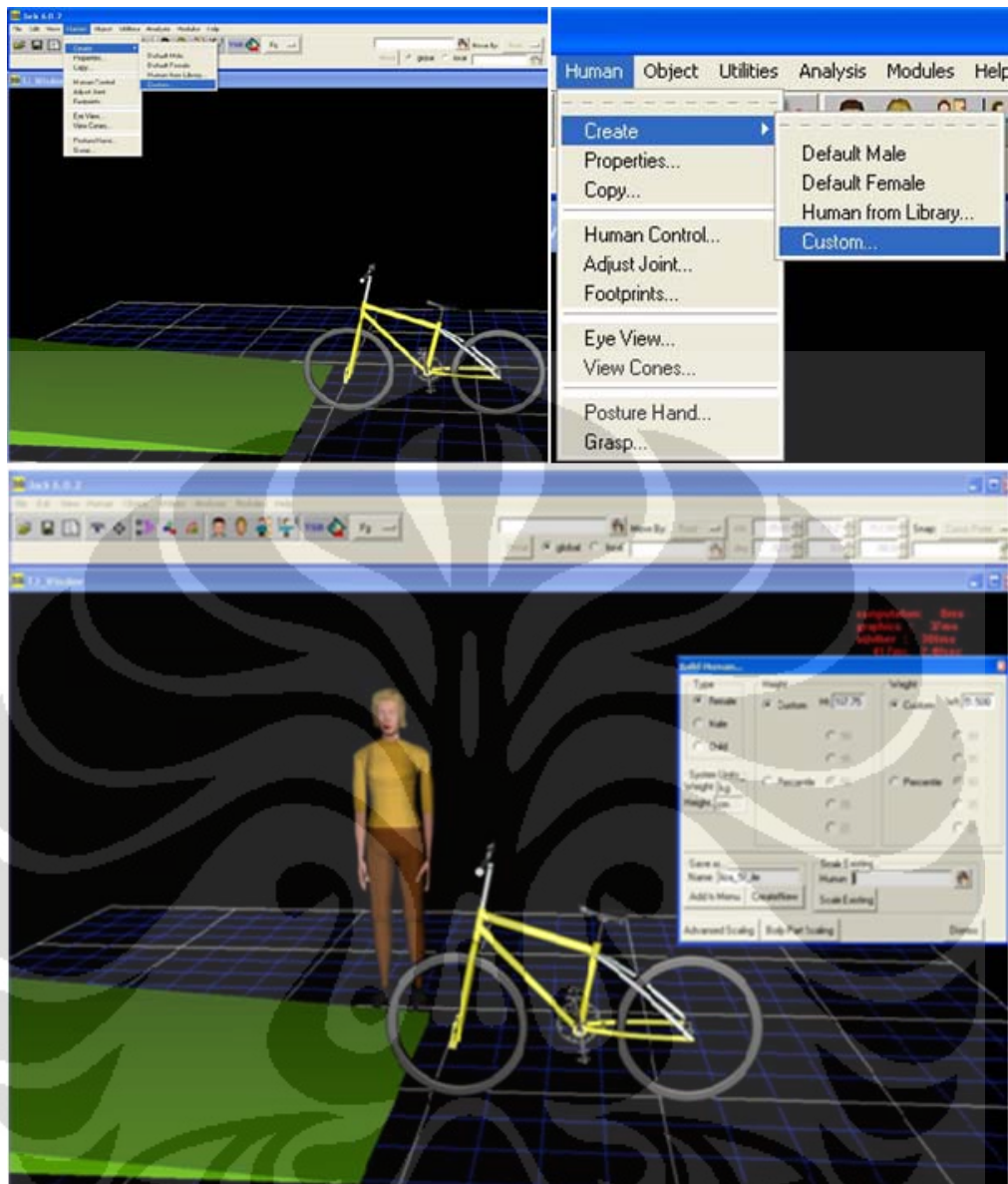
Save as... Name:

Edit Existing... Human | liza



Gambar 3.23. Kotak Dialog *Advanced Human Scaling*

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

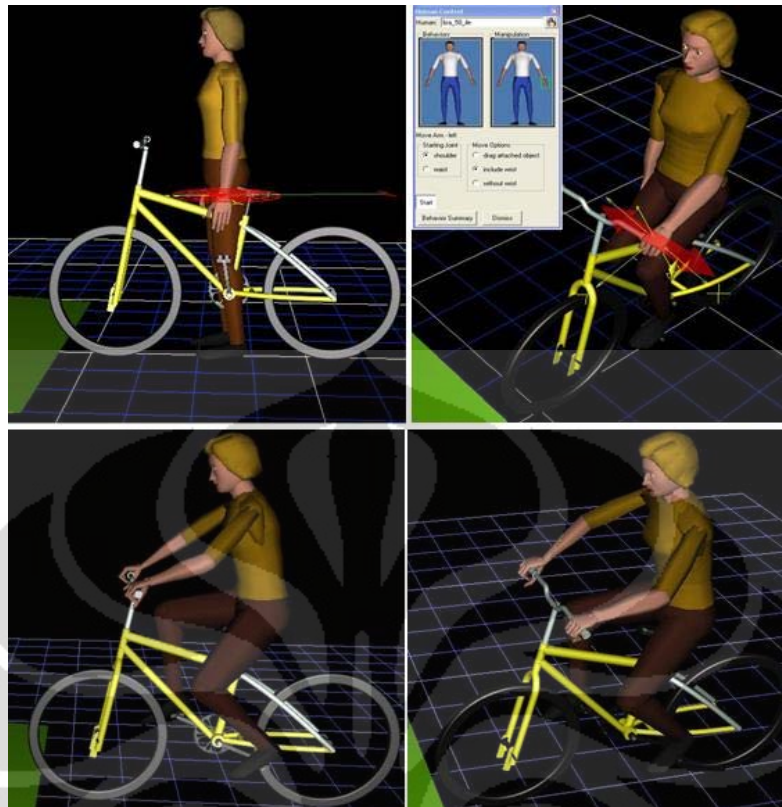


Gambar 3.24. Tahapan Pembuatan Model Manusia dalam *Software Jack 6.0*

3.3.3 Menyesuaikan Postur Model Manusia (Manekin) dengan Model Sepeda

Software Jack 6.0 memungkinkan penggunanya untuk membuat postur dengan menggunakan model empiris tingkat atas, kinematika, atau manipulasi persendian secara langsung.

Tahapan ini diawali dengan menyesuaikan postur model manusia (manekin) dengan model sepeda yang ada sehingga dapat merepresentasikan postur manusia saat melakukan aktivitas bersepeda. *Command* yang digunakan adalah Human → Human Control.

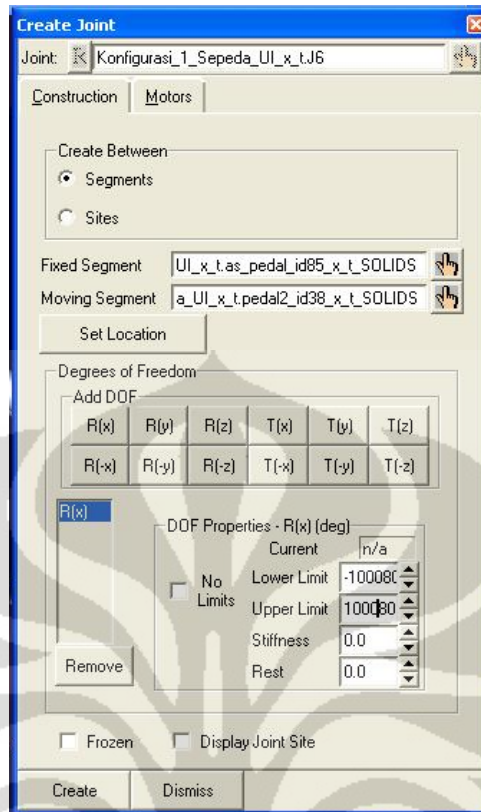


Gambar 3.25. Penyesuaian Postur Model Manusia (Manekin)

Langkah selanjutnya adalah membuat *joint* pada pedal agar dapat berputar sesuai dengan kondisi sebenarnya. *Command* yang digunakan untuk membuat *joint* adalah Object → Create → Create Joint.

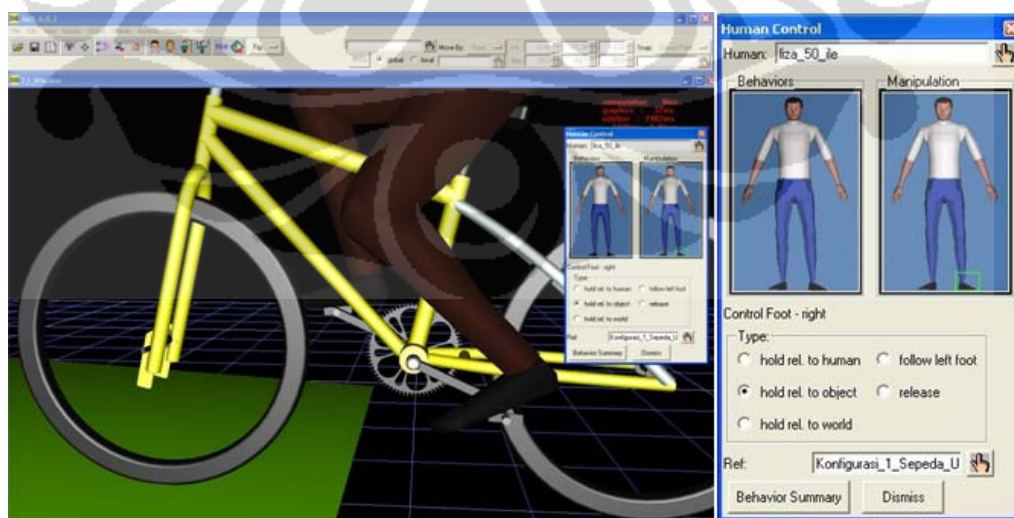


Gambar 3.26. Tahapan dalam Membuat *Joint*



Gambar 3.27. Kotak Dialog *Create Joint*

Setelah membuat *joint*, maka proses berikutnya adalah membuat *constraint* pada kaki model manusia (manekin) relatif terhadap pedal agar dapat mengikuti pergerakan pedal dan dapat merepresentasikan aktivitas saat mengayuh sepeda.

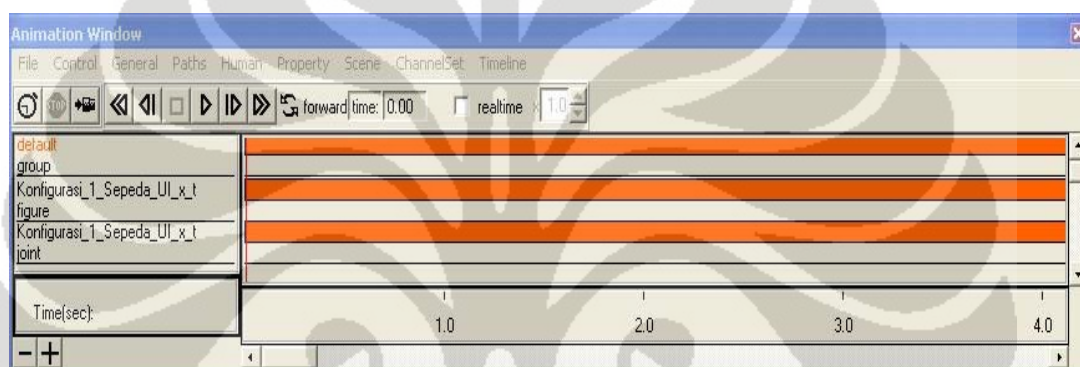


Gambar 3.28. Proses Membuat *Constraint* pada Kaki

3.3.4 Membuat Sistem Animasi (*Animation System*)

Sistem animasi (*animation system*) yang disediakan oleh *software* Jack 6.0 sangat memungkinkan pengguna untuk membuat mekanisme gerakan sehingga model manusia (manekin) yang ada dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Sistem animasi (*animation system*) ini dapat diputar ulang sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan peninjauan dan analisis terhadap gerakan. Hasil dari sistem animasi (*animation system*) juga dapat diekspor dalam format video.

Command yang digunakan untuk membuat sistem animasi (*animation system*) adalah Modules → Animation Systems.



Gambar 3.29. Kotak Dialog *Animation System*

3.3.5 Memberikan Beban (*Weights*)

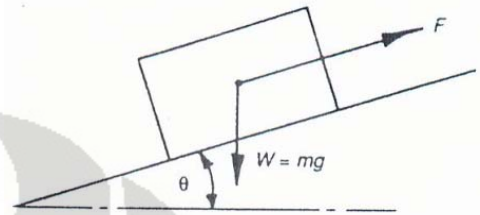
Setelah membuat sistem animasi, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah memberikan beban (*weights*) pada kaki dan bahu. Beban yang diberikan pada kaki berupa gaya kayuh sepeda yang dikeluarkan oleh pengendara untuk menggerakkan sepeda. Perhitungan gaya kayuh sepeda ini dilakukan dengan asumsi bahwa gir yang digunakan oleh pengendara dalam mengendarai sepeda pada lintasan menanjak adalah gir yang paling kecil yaitu gir satu dan gir yang digunakan pada lintasan mendatar adalah gir tiga. Selain itu, koefisien gesekan (μ) yang terjadi antara ban sepeda dengan jalur sepeda diasumsikan sama dengan koefisien gesekan yang terjadi antara karet dengan semen yaitu sebesar 0,85. Besarnya gaya kayuh sepeda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.9) seperti di bawah ini:

>> Untuk lintasan menanjak

$$\begin{aligned}\Theta &= \text{arc tan } 11,5\% \\ &= \text{arc tan } 0.115 \\ &= 6,56^\circ\end{aligned}$$

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

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



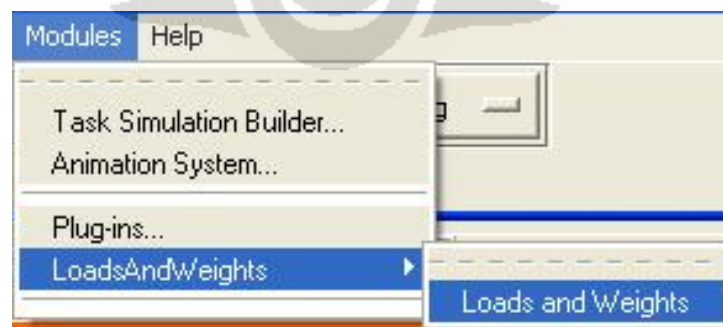
$$\begin{aligned}F_{rb} &= F_{\text{sepeda}} + F_s \\ F_{rb} &= F_s \\ F_{rb} &= 620,09255 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_p &= \frac{F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}}{R_{gb} \times L_{tp}} \\ &= \frac{620,09255 \times 0,075 \times 0,31}{0,0573 \times 0,19} \\ &= \frac{14,41715}{0,010887} \\ &= 1324,254 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{gd} &= 7,5 \text{ cm} \\ R_{rb} &= 31 \text{ cm} \\ R_{gb} &= 5,73 \text{ cm} \\ L_{tp} &= 19 \text{ cm}\end{aligned}$$

F_p untuk masing-masing kaki = $1324,254 \text{ N} / 2 = 662,127 \text{ N}$
atau sebesar 67,564 kg (setelah dibagi dengan gaya gravitasi bumi)

Pemberian beban kepada kaki pengendara yang diwakili oleh model manusia (manekin) dilakukan dengan menggunakan *command* Modules → LoadsAndWeights.



Gambar 3.30. Command LoadsAndWeights

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

>> Untul lintasan mendatar

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

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

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

$$\begin{aligned} F_p &= \frac{F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}}{R_{gb} \times L_{tp}} & R_{gd} &= 7,5 \text{ cm} \\ &= \frac{553,945 \times 0,075 \times 0,31}{0,0414 \times 0,19} & R_{rb} &= 31 \text{ cm} \\ &= \frac{12,87922}{0,007866} & R_{gb} &= 4,14 \text{ cm} \\ &= 1637,328 \text{ N} & L_{tp} &= 19 \text{ cm} \end{aligned}$$

F_p untuk masing-masing kaki = $1637,328 \text{ N} / 2 = 818,664 \text{ N}$
atau sebesar 83,537 kg (setelah dibagi dengan gaya gravitasi bumi)

Jika dibandingkan dengan lintasan menanjak, beban yang dikenakan terhadap kaki model manusia (manekin) sebagai pengendara sepeda pada lintasan mendatar mempunyai nilai yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan gir yang digunakan oleh pengendara pada masing-masing lintasan. Pada lintasan menanjak, pengendara cenderung menggunakan gir satu dengan jari-jari yang lebih besar untuk mengurangi besar gaya yang dikeluarkan karena adanya pengaruh kemiringan lintasan dan gaya gravitasi. Sedangkan pada lintasan mendatar, pengendara cenderung menggunakan gir tiga dengan jari-jari yang lebih kecil. Oleh karena jari-jari gir tiga lebih kecil daripada jari-jari gir satu, maka sesuai dengan persamaan (2.9) gaya yang dikeluarkan oleh gir tiga akan lebih besar daripada gaya yang dikeluarkan jika menggunakan gir satu.

Selain pada kaki, beban juga diberikan pada bahu. Beban yang diberikan adalah sebesar 4 kg dan terdistribusi secara merata di kedua bahu model manusia (manekin). Beban ini dianggap sebagai representasi beban tas ransel yang dibawa oleh pengendara wanita.



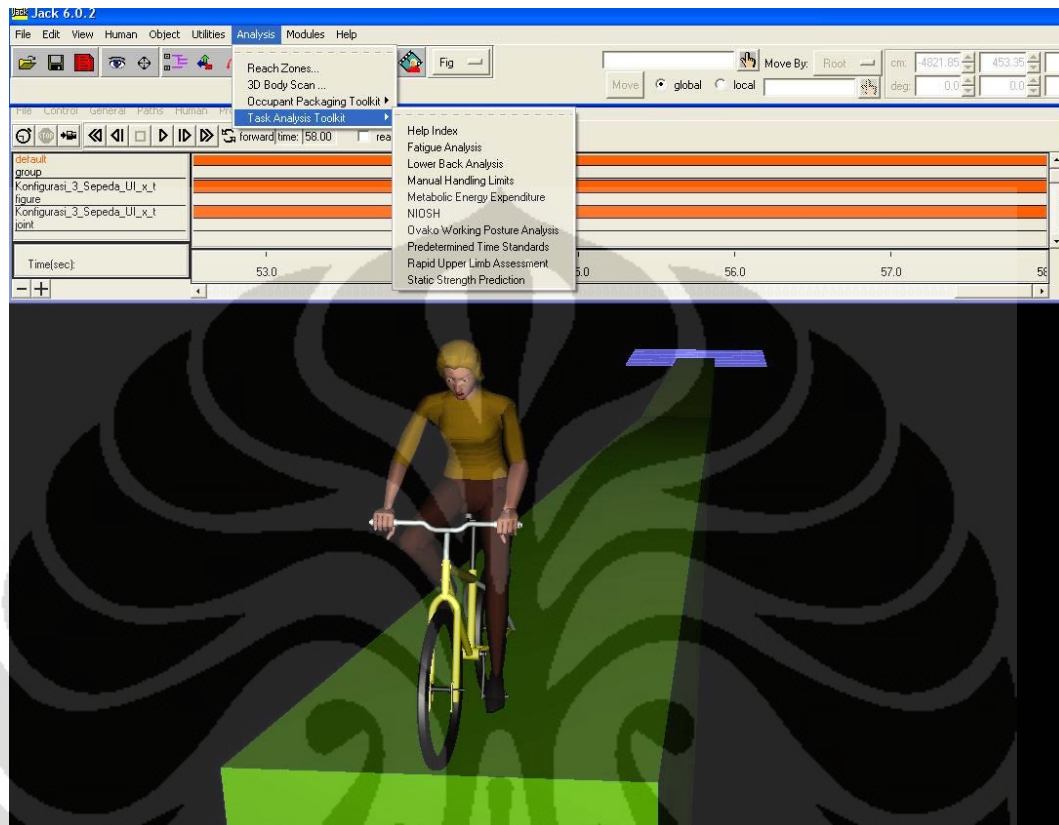
Gambar 3.31. Kotak Dialog *LoadAndWeights*

3.3.6 Menganalisis Kinerja Model Manusia (Manekin)

Software Jack 6.0 menyediakan sekumpulan *tools* yang tergabung dalam *Jack Task Analysis Toolkits* (TAT) yang dapat digunakan untuk membantu dalam menganalisis dan mengevaluasi kinerja dari model manusia (manekin).

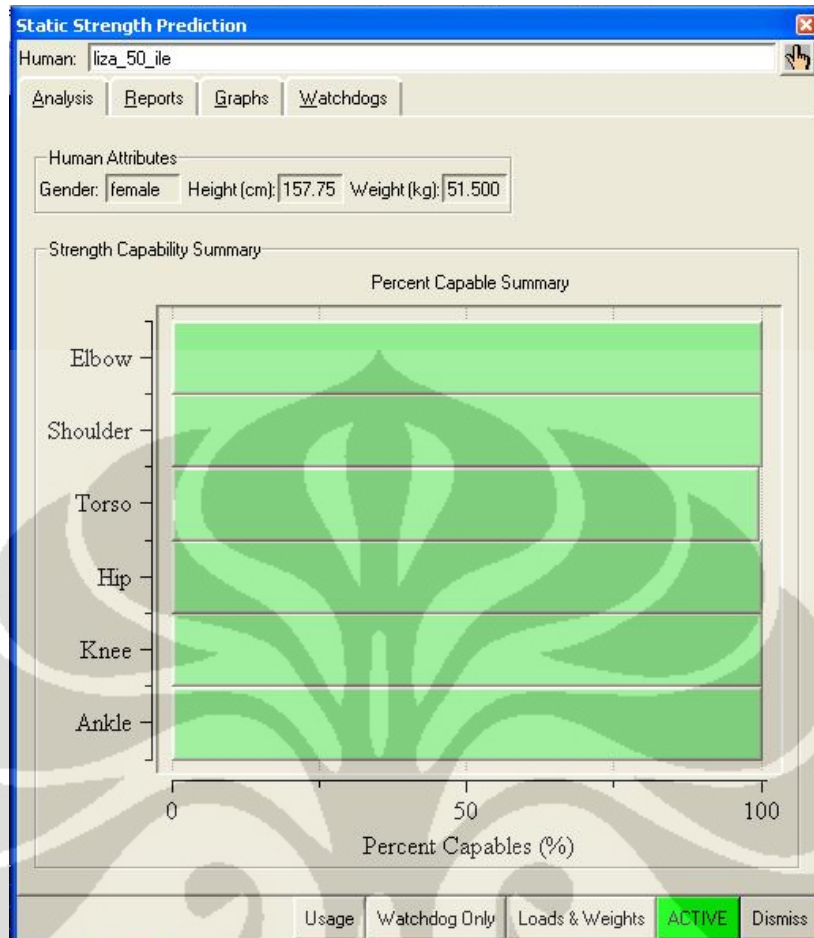
Dalam penelitian ini, *tools* yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan dalam menghitung nilai PEI (*Posture Evaluation Index*) nantinya, yaitu *Static Strength Prediction* (SSP), *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA).

Command yang digunakan untuk menganalisis kinerja model manusia (manekin) adalah Analysis → Task Analysis Toolkit.

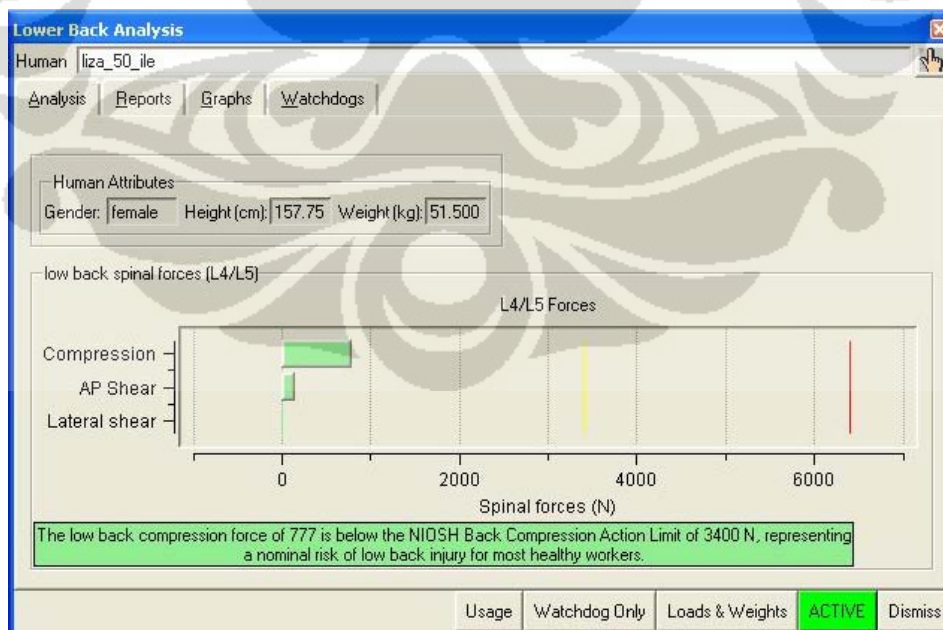


Gambar 3.32. Tahapan dalam Menganalisis Kinerja Model Manusia (Manekin)

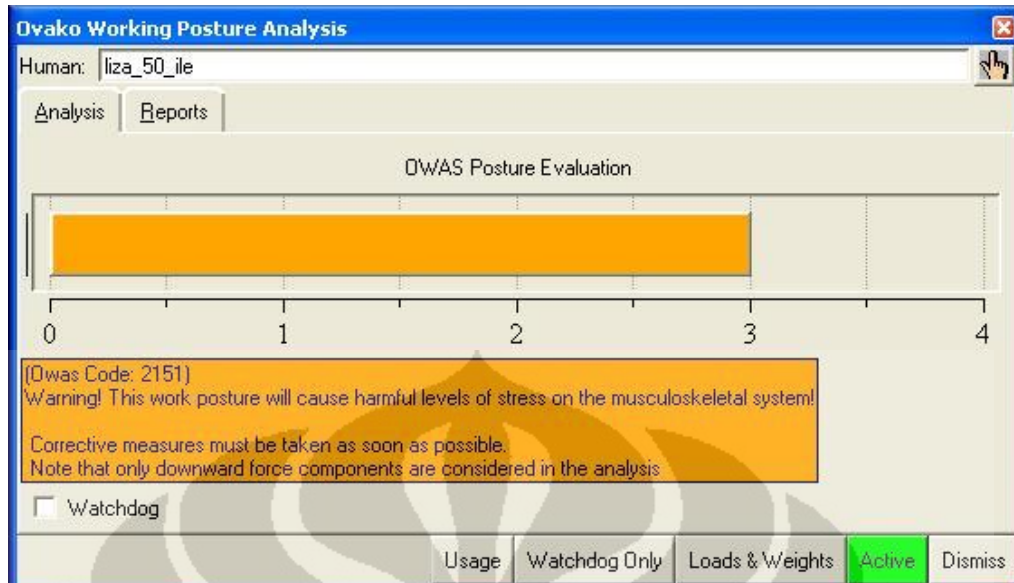
Analisis SSP digunakan untuk memastikan apakah aktivitas bersepeda yang disimulasikan dapat dilakukan oleh seluruh populasi pengendara wanita (mahasiswi). Persentase minimal yang dapat diterima adalah 90%. Selanjutnya sistem animasi (*animation system*) yang sudah dibuat dijalankan secara *real time* untuk mencari titik ekstrim postur bersepeda yang memberikan skor paling tinggi untuk tiap jenis analisis. Skor yang tinggi menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis. Hasil analisis TAT terlihat pada gambar 3.33 hingga gambar 3.36 di bawah ini.



Gambar 3.33. Hasil Analisis SSP



Gambar 3.34. Hasil Analisis LBA



Gambar 3.35. Hasil Analisis OWAS

Gambar 3.36. Hasil Analisis RULA

3.3.7 Perhitungan Nilai PEI

Setelah melakukan analisis dengan TAT terhadap aktivitas bersepeda yang disimulasikan dan memperoleh skor untuk setiap analisis yang dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan PEI (*Posture Evaluation Index*). Langkah pertama adalah memastikan bahwa kegiatan kerja pada konfigurasi model dapat dikerjakan oleh minimal 90% dari seluruh pengendara wanita. SSP memberikan hasil analisis seperti pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4. Diagram Kapabilitas Hasil Analisis SSP

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	32	8	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	36	9	100	-4	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	43	14	100	-0	--	47	16	100
	Humeral Rot	-0	--	18	5	100	-0	--	23	6	100
Trunk	Flex/Ext	-31	EXTEN	213	74	99					
	Lateral Bending	0	--	170	42	100					
	Rotation	0	--	56	17	100					
	Hip	0	--	104	35	100	0	--	149	50	100
	Knee	0	--	85	29	100	0	--	113	39	100
	Ankle	0	--	106	29	100	0	--	93	25	100

Dari tabel 3.4 di atas, kegiatan kerja pada konfigurasi model dapat dikerjakan oleh lebih dari 90% populasi pekerja. Secara lebih rinci, bagian tubuh bahu, punggung, pinggul, kaki, dan tangan dari pekerja memiliki persentase kapabilitas yang memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

Untuk mengukur nilai PEI dari konfigurasi model, maka peneliti menggunakan hasil analisis LBA, OWAS, dan RULA dari konfigurasi yang tersaji pada tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5. Rekapitulasi Skor LBA, OWAS, RULA

KONFIGURASI KE-	SKOR LBA	SKOR OWAS	SKOR RULA
1	777	3	5

Dengan memasukkan skor-skor di atas pada persamaan 2.4 di bawah, maka akan didapat nilai PEI dari konfigurasi model yang telah dibuat.

$$\mathbf{PEI = I_1 + I_2 + I_3 \cdot m_r} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana $I_1 = LBA/3400$ N, $I_2 = OWAS/4$, $I_3 = RULA/7$, $m_r = 1,42$

Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \mathbf{PEI} &= \mathbf{777\ N/3400N + 3/4 + 5/7 \cdot 1,42} \\ &= \mathbf{1,993} \end{aligned}$$

Nilai PEI dari konfigurasi ini selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai PEI dari konfigurasi lainnya untuk menilai konfigurasi mana yang lebih baik dan ergonomis.

3.4 Penentuan Konfigurasi Model

Pembuatan konfigurasi model diperlukan untuk menentukan desain sepeda seperti apa yang ergonomis untuk pengendara wanita dimana nilai PEI dari masing-masing konfigurasi nantinya akan dibandingkan satu sama lain. Pembuatan konfigurasi ini dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang sudah ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan ada dua, yaitu tinggi stang dan tinggi sadel dimana setiap variabel mempunyai tiga interval nilai (kombinasi). Nilai interval untuk tinggi sadel maupun tinggi stang yang digunakan adalah sama yaitu 5 cm. Nilai ini diperoleh melalui observasi terhadap *behavior* pengendara wanita saat bersepeda menggunakan sepeda UI.

Konfigurasi yang akan dibuat nantinya merupakan hasil kombinasi antara tinggi stang dan tinggi sadel untuk lintasan mendatar dan lintasan menanjak. Detil konfigurasi model yang akan dibuat terlihat pada tabel 3.6 di bawah ini.

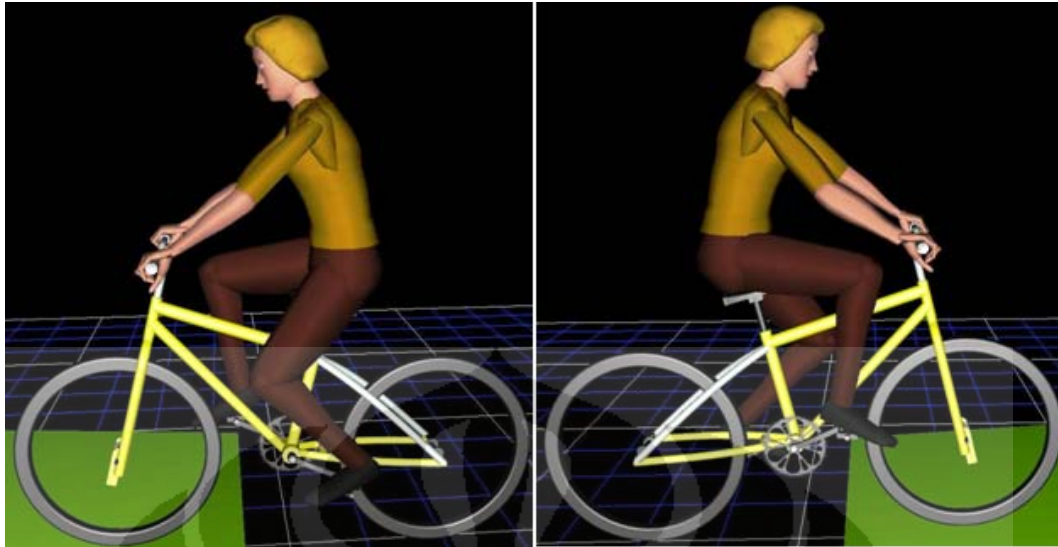
Tabel 3.6. Konfigurasi Model yang Akan Dibuat

Konfigurasi	Tinggi Stang (cm)	Tinggi Sadel (cm)	Lintasan	Keterangan
Konfigurasi 1	12	11	Menanjak	ACTUAL
			Mendatar	
Konfigurasi 2		16	Menanjak	
	Mendatar			
Konfigurasi 3	21	Menanjak		
		Mendatar		
Konfigurasi 4	17	11	Menanjak	
			Mendatar	
Konfigurasi 5		16	Menanjak	
	Mendatar			
Konfigurasi 6	21	Menanjak		
		Mendatar		
Konfigurasi 7	22	11	Menanjak	
			Mendatar	
Konfigurasi 8		16	Menanjak	
	Mendatar			
Konfigurasi 9	21	Menanjak		
		Mendatar		

3.5 Pengujian Model (*Model Testing*)

Pengujian model terdiri dari dua bagian utama, yaitu verifikasi dan validasi model. Suatu model dikatakan telah lolos verifikasi jika model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen. Greenberger, Crenson, and Crissey (1976, 70) mendeskripsikan verifikasi sebagai suatu uji apakah suatu model telah disintesis tepat sesuai dengan yang dimaksud. Verifikasi model mengindikasikan bahwa model tersebut telah dipercaya konsepnya, namun tidak peduli konsepsi tersebut valid atau tidak.

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



Gambar 3.37. Postur Tubuh Pengendara Wanita dalam Konfigurasi Model

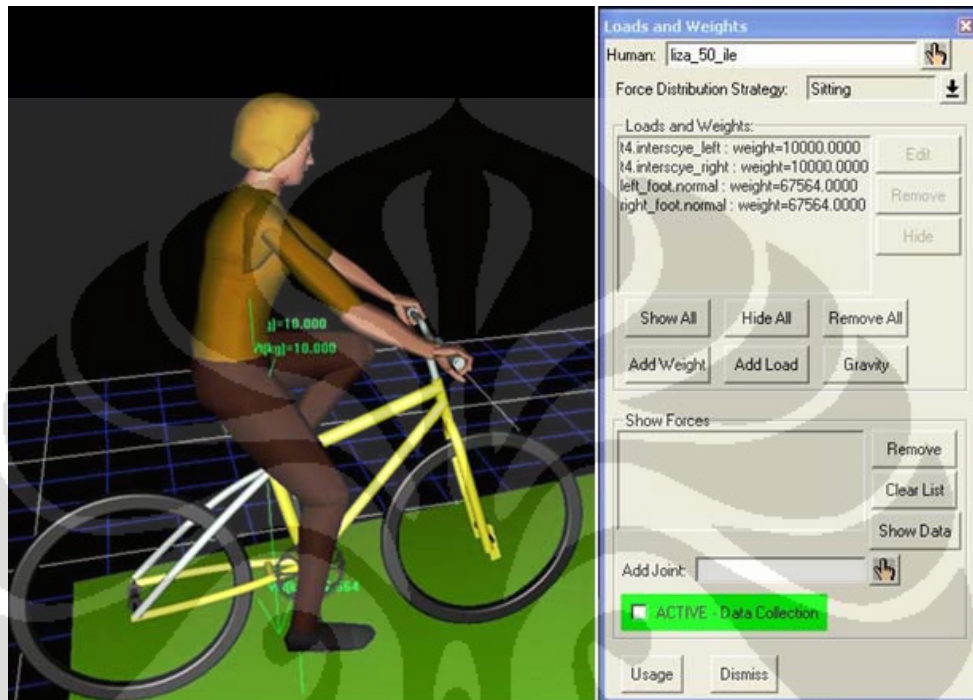


Gambar 3.38. Postur Tubuh Pengendara dalam Kondisi Sebenarnya

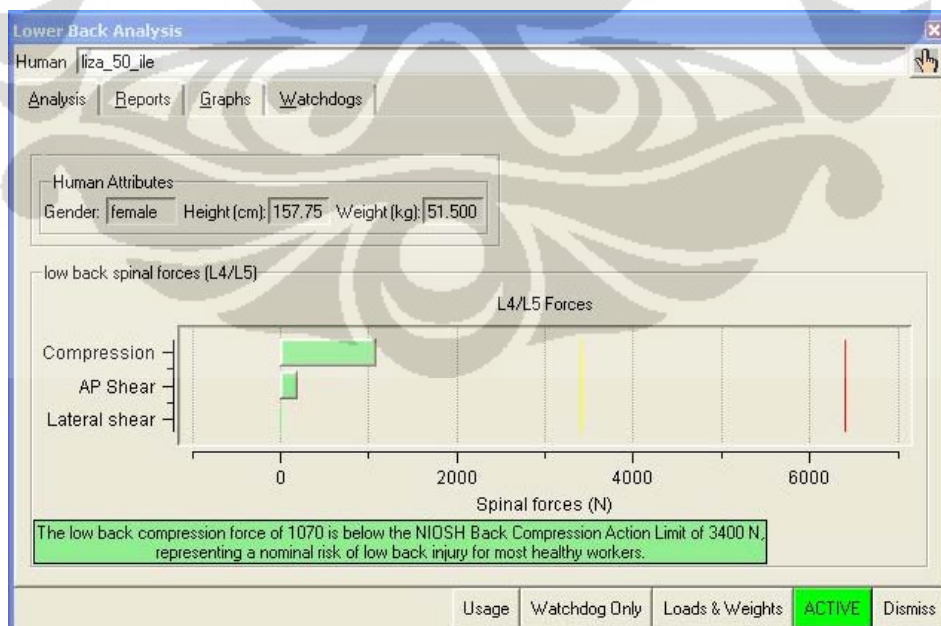
Dari gambar 3.28 dan gambar 3.29 di atas, dapat dilihat bahwa postur tubuh pengendara yang dibuat dalam *virtual environment* untuk konfigurasi model sudah sesuai dengan postur tubuh pengendara pada kondisi yang sebenarnya.

Setelah melewati proses verifikasi model, maka tahapan selanjutnya dalam pengujian model adalah proses validasi model. Validasi terhadap model konfigurasi dilakukan dengan cara memberikan beban berlebih kepada model manusia (manekin). Pada bagian bahu manekin, diberikan beban tambahan sebesar 16 kg yang terdistribusi secara merata di bagian kiri dan kanan sehingga total beban yang dikenakan terhadap masing-masing bahu adalah 10 kg.

Pemberian beban ini seharusnya memberikan pengaruh terhadap analisis *lower back*. Apabila hasil analisis LBA setelah pemberian tambahan beban lebih besar daripada sebelum pemberian tambahan beban, maka model konfigurasi yang dibuat dapat dinyatakan valid.



Gambar 3.39. Proses Validasi Konfigurasi Model



Gambar 3.40. Hasil Analisis LBA Setelah Pemberian Tambahan Beban

Dari gambar 3.40 di atas dapat dilihat bahwa hasil analisis LBA setelah diberikan beban tambahan pada kedua bahu model manusia (manekin) adalah sebesar 1070 N. Nilai ini lebih besar daripada hasil analisis LBA sebelum pemberian beban tambahan pada bahu yang ditunjukkan oleh gambar 3.34, yaitu 777 N. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi model yang dibuat sudah valid karena sesuai dengan kondisi sebenarnya.



BAB 4

ANALISIS

Bab ini membahas tentang analisis desain sepeda UI yang digunakan saat ini (kondisi aktual) dan beberapa konfigurasi desain yang diusulkan dilihat dari aspek ergonomis dengan menggunakan bantuan *software* Jack 6.0. Selanjutnya, semua desain yang ada akan dihitung nilai PEI-nya dan dibandingkan satu sama lain untuk mendapatkan konfigurasi desain sepeda UI yang paling ergonomis bagi pengendaranya khususnya pengendara wanita. Selain itu, dalam bab ini juga akan dilakukan perbandingan nilai PEI dari konfigurasi desain sepeda UI untuk pengendara pria dan pengendara wanita serta perbandingan antara desain sepeda UI dan sepeda lipat DTM UI untuk menilai desain mana yang lebih ergonomis.

4.1 Analisis Kondisi Aktual

Kondisi aktual yang dimaksud di sini adalah kondisi sepeda UI dengan tinggi stang dan sadel yang saat ini digunakan. Kondisi aktual ini direpresentasikan oleh konfigurasi 1 (lihat tabel 3.6) yang memiliki desain stang setinggi 12 cm dan desain sadel setinggi 11 cm. Analisis kondisi aktual sepeda UI dapat dilihat pada penjelasan berikut.

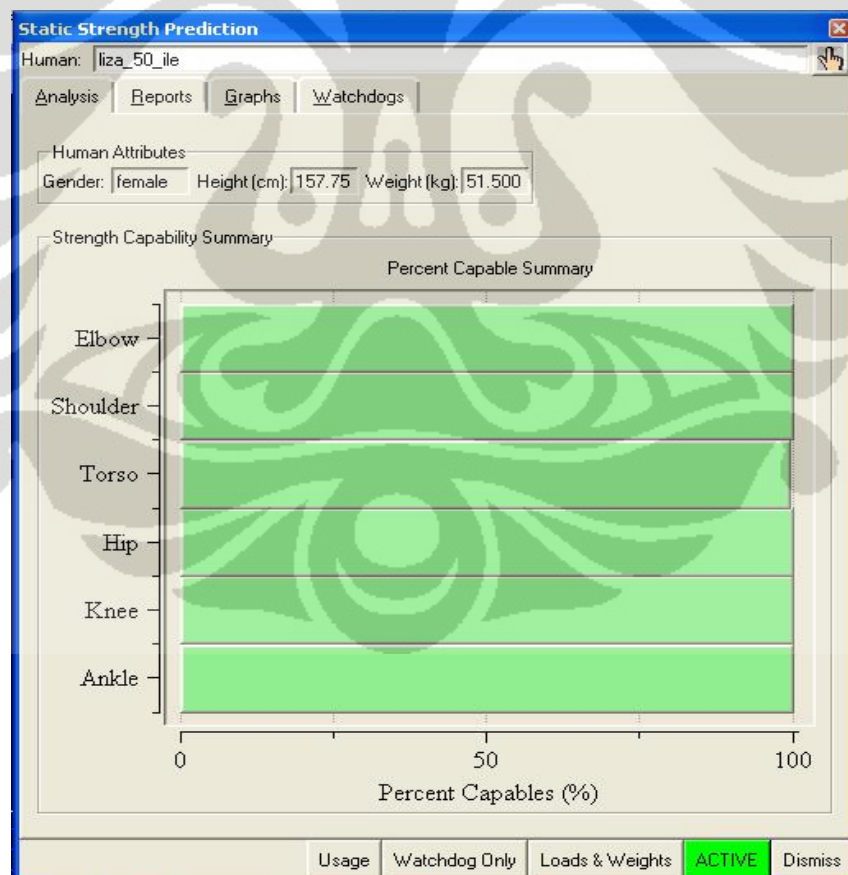
4.1.1 Skor *Static Strength Prediction* (SSP)

Analisis *static strength prediction* (SSP) dengan Jack TAT merupakan langkah pertama untuk melakukan perhitungan nilai PEI (*Posture Evaluation Index*). Dalam analisis SSP dengan Jack TAT, ada enam bagian tubuh yang menjadi perhatian, yaitu *elbow* (siku), *shoulder* (bahu), *torso* (batang tubuh), *hip* (pinggul), *knee* (lutut), dan *ankle* (pergelangan kaki). Tujuan analisis SSP adalah memastikan bahwa skor SSP untuk setiap bagian tubuh model manusia (manekin) dalam konfigurasi model yang bersangkutan bernilai di atas 90%. Skor tersebut menunjukkan bahwa aktivitas bersepeda pada konfigurasi model dapat dikerjakan oleh minimal 90% dari seluruh pengendara wanita. Jika skor SSP yang dimiliki oleh konfigurasi model lebih dari 90%, maka konfigurasi model tersebut dapat dipertimbangkan untuk analisis selanjutnya dan dihitung nilai PEI-nya.

Sebaliknya, jika skor SSP yang dimiliki kurang dari 90%, maka konfigurasi model tersebut tidak *feasible* untuk dilanjutkan dan dihitung nilai PEI-nya.

Sebelum melakukan analisis SSP, peneliti terlebih dahulu menentukan strategi pendistribusian gaya (*force distribution strategy*) yang terdapat dalam fungsi LoadsAndWeights. Dalam hal ini, strategi yang digunakan adalah *sitting* karena pada saat bersepeda, postur utama tubuh pengendara adalah dalam posisi duduk. Penentuan strategi ini harus dilakukan dengan hati-hati karena kesalahan dalam menentukan strategi pendistribusian gaya (*force distribution strategy*) akan menyebabkan kesalahan dalam interpretasi dan analisis hasil.

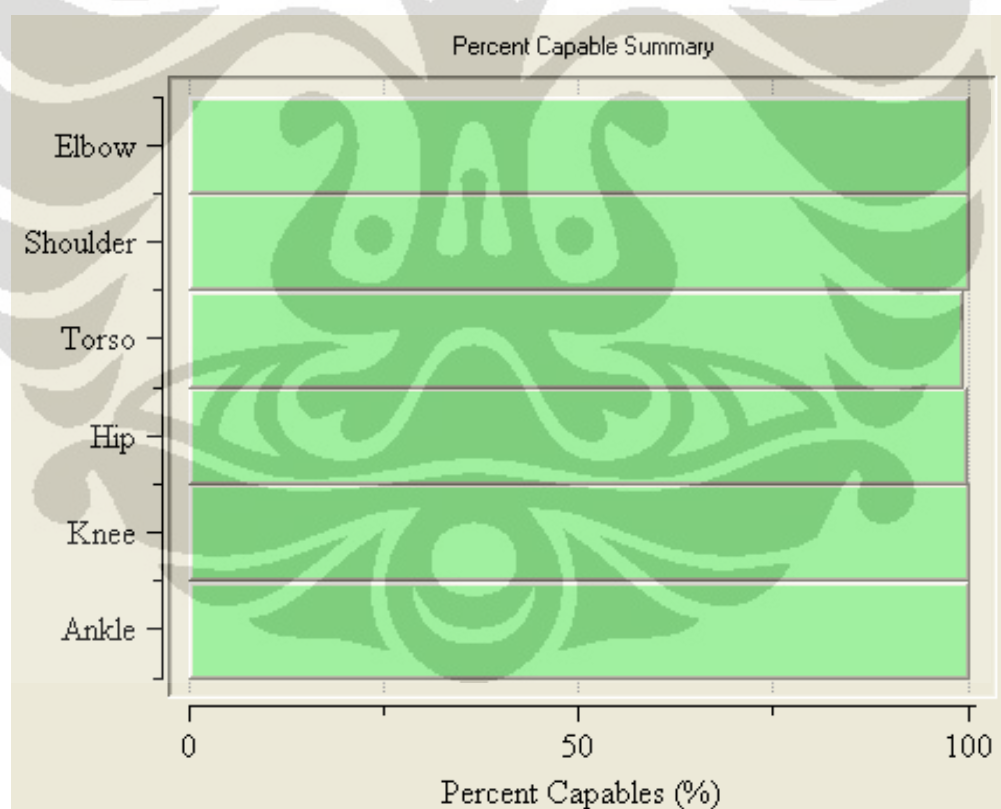
Setelah menentukan strategi pendistribusian gaya (*force distribution strategy*), langkah berikutnya dalam analisis SSP adalah menentukan postur kritis (*critical posture*) yang akan memberikan skor SSP paling rendah namun tetap berada di atas 90%. Berikut adalah skor SSP untuk *critical posture* dalam konfigurasi 1 (tinggi stang 12 cm dan tinggi sadel 11cm).



Gambar 4.1. Skor SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak

Tabel 4.1. Diagram Kapabilitas SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-0	--	32	8	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	36	9	100	-4	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	43	14	100	-0	--	47	16	100
	Humeral Rot	-0	--	18	5	100	-0	--	23	6	100
Trunk	Flex/Ext	-31	EXTEN	213	74	99					
	Lateral Bending	0	--	170	42	100					
	Rotation	0	--	56	17	100					
Hip		0	--	104	35	100	0	--	149	50	100
Knee		0	--	85	29	100	0	--	113	39	100
Ankle		0	--	106	29	100	0	--	93	25	100

**Gambar 4.2.** Skor SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar

Tabel 4.2. Diagram Kapabilitas SSP untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-0	--	32	8	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	36	9	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	43	14	100	-0	--	47	16	100
	Humeral Rot	-0	--	18	5	100	-0	--	23	6	100
Trunk	Flex/Ext	-34	EXTEN	206	71	99					
	Lateral Bending	0	--	170	42	100					
	Rotation	0	--	56	17	100					
Hip		-0	--	122	46	100	-0	--	106	40	100
Knee		0	--	103	36	100	0	--	111	38	100
Ankle		0	--	79	22	100	0	--	106	29	100

Dari gambar dan tabel 4.1 - 4.2 di atas dapat dilihat bahwa untuk setiap bagian tubuh dalam *critical posture* yang diamati pada konfigurasi 1 baik lintasan menanjak maupun lintasan mendatar, skor SSP menunjukkan nilai di atas 90%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa aktivitas bersepeda dalam konfigurasi 1 dapat dilakukan oleh minimal 90% pengendara wanita sehingga konfigurasi tersebut dapat dipertimbangkan untuk dianalisis lebih lanjut dan dihitung nilai PEI-nya.

4.1.2 Skor *Low Back Analysis* (LBA)

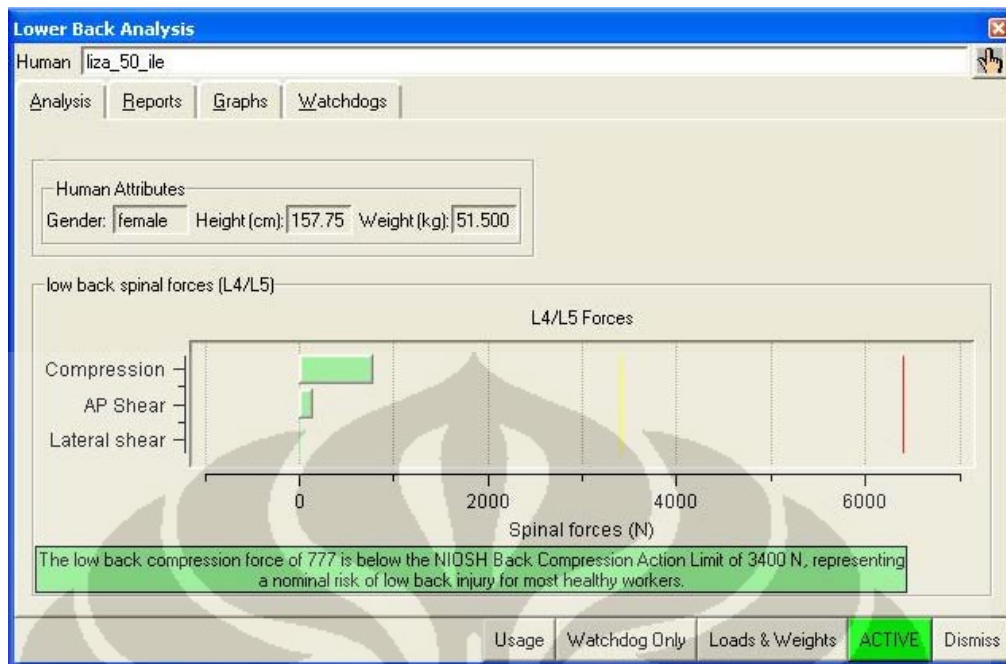
Low back analysis (LBA) merupakan *tool* yang disediakan oleh *software* Jack 6.0 untuk mengevaluasi gaya-gaya (*forces*) yang terjadi pada tulang belakang model manusia (manekin) dalam berbagai kondisi postur dan beban. Analisis ini dilakukan berdasarkan model biomekanis dari tulang belakang manusia yang menggabungkan data anatomis dan fisiologis.

Hasil analisis LBA menunjukkan besarnya gaya (*force*) yang terjadi pada tulang belakang dibandingkan dengan standar NIOSH yang ada yaitu 3400 N. Skor LBA menggambarkan risiko cedera yang mungkin terjadi pada tulang

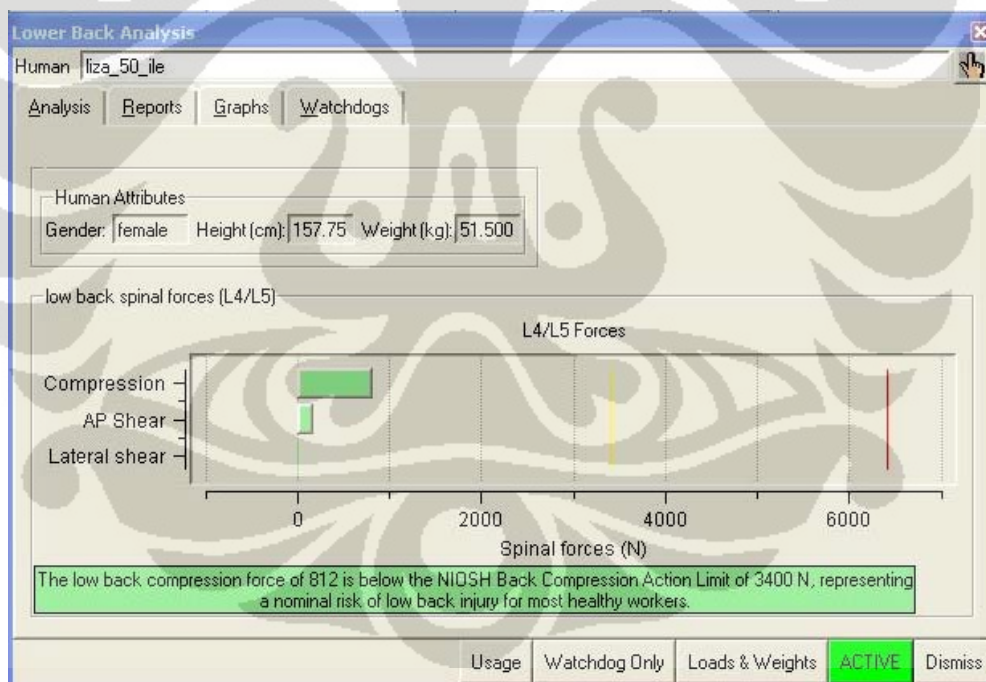
belakang. Jika skor LBA lebih kecil dari 3400 N, maka kemungkinan terjadinya risiko cedera pada tulang belakang relatif kecil. Sebaliknya, jika skor LBA lebih besar dari 3400 N, kemungkinan terjadinya risiko cedera relatif lebih besar.

Skor LBA tergantung pada beban (*weights*) yang diberikan kepada tulang belakang. Semakin besar beban (*weights*) yang diberikan, maka skor LBA juga akan semakin besar. Selain itu, skor LBA juga tergantung pada postur tubuh model manusia (manekin) sebagai pengendara sepeda. Saat mengendarai sepeda pada lintasan menanjak, skor LBA yang dimiliki oleh model manusia (manekin) cenderung mengalami penurunan dari awal hingga akhir lintasan menanjak. Sedangkan pada lintasan mendatar, skor LBA yang dimiliki oleh model manusia (manekin) cenderung tetap (tidak berubah) dari awal hingga akhir lintasan. Hal ini disebabkan karena lintasan menanjak memiliki derajat kemiringan yang memberikan pengaruh terhadap posisi dan postur tubuh model manusia (manekin) yang berperan sebagai pengendara sepeda. Semakin besar derajat kemiringan suatu lintasan, maka skor LBA yang dimiliki oleh postur tubuh pengendara akan menurun hingga titik tertentu. Apabila derajat kemiringan lintasan sudah melebihi titik tersebut, skor LBA dari postur tubuh pengendara akan cenderung meningkat kembali.

Seperti halnya pada SSP, skor LBA yang akan digunakan juga diambil dari postur kritis (*critical posture*) dalam konfigurasi model yang bersangkutan yang mempunyai nilai paling besar. Oleh karena skor LBA dari awal hingga akhir lintasan menanjak mengalami penurunan, maka *critical posture* yang digunakan adalah postur tubuh model manusia (manekin) sebagai pengendara saat berada pada awal lintasan menanjak. Sedangkan untuk lintasan mendatar, *critical posture* dapat digunakan yang mana saja karena skor LBA-nya tidak mengalami perubahan dari awal hingga akhir lintasan. Berikut adalah skor LBA untuk konfigurasi 1 pada lintasan menanjak dan mendatar.



Gambar 4.3. Skor LBA untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak



Gambar 4.4. Skor LBA untuk Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar

Dari gambar 4.3 dan 4.4 di atas dapat dilihat bahwa skor LBA untuk konfigurasi 1 pada lintasan menanjak bernilai 777 N dan pada lintasan mendatar bernilai 812 N. Kedua nilai tersebut berada di bawah standar NIOSH, yaitu 3400

N sehingga dapat diartikan bahwa konfigurasi 1 memiliki risiko cedera pada tulang belakang yang relatif kecil. Selain itu, dari kedua gambar tersebut, dapat juga disimpulkan bahwa skor LBA untuk konfigurasi 1 pada lintasan menanjak mempunyai nilai lebih kecil daripada skor LBA untuk konfigurasi 1 pada lintasan mendatar. Hal ini disebabkan karena pengaruh derajat kemiringan lintasan seperti yang sudah disebutkan sebelumnya. Perubahan derajat kemiringan lintasan ini berbanding terbalik dengan skor LBA yang akan dihasilkan. Semakin besar derajat kemiringan lintasan yang digunakan, maka skor LBA yang dihasilkan akan semakin kecil.

4.1.3 Skor *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS)

Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) digunakan untuk menganalisis ketidaknyamanan relatif yang dialami oleh punggung, tangan dan kaki manusia pada saat melakukan suatu postur kerja (*working posture*) dan memperkirakan beban yang dimiliki oleh manusia tersebut. OWAS menggunakan suatu kode yang terdiri dari empat digit angka yang masing-masing menggambarkan postur yang berbeda dari punggung, tangan, dan kaki serta beban. Tabel 4.3 di bawah ini menunjukkan interpretasi dari setiap kode dalam OWAS.

Tabel 4.3. Deskripsi Postur pada Kode OWAS

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

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

Kode postur OWAS tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan kombinasi dari setiap angkanya untuk mendapatkan kategori gerakan (*action*) dari postur tersebut. Kategori gerakan yang diperoleh dari kombinasi angka-angka dalam kode OWAS dapat dilihat pada tabel 4.4 dan 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.4. Kategori Gerakan untuk Setiap Kombinasi Kode OWAS

Back	Arms	1			2			3			4			5			6			7			Legs	Load Handled
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	2		
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3			
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4		
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4		
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1			
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1		
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1		
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4		
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4		
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4		

Sumber: Ismail dkk, 2009

Tabel 4.5. Kategori Gerakan OWAS untuk Mengevaluasi Postur Kerja

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

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003, hal.3301

Skor OWAS menunjukkan tingkat bahaya dari gerakan bersepeda yang dilakukan dan tindakan korektif apa yang sebaiknya dilakukan. Skor OWAS dari konfigurasi 1 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar akan memberikan nilai yang sama karena postur tubuh pengendara wanita saat melakukan aktivitas bersepeda cenderung tidak berubah dan tidak tergantung pada kondisi ataupun derajat kemiringan lintasan. Selain diperoleh dari Jack TAT, skor OWAS juga dapat dihitung secara manual dengan menggunakan tabel 4.3 dan 4.4. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan kode OWAS untuk postur tubuh pengendara sepeda sesuai dengan tabel 4.3.

- postur punggung yang bungkuk ke depan (bungkuk) diwakili oleh angka 2
- posisi tangan yang memegang stang dan berada di bawah tinggi bahu diwakili oleh angka 1
- posisi kaki yang bertumpu pada satu kaki dan kondisi lutut yang bungkuk saat mengayuh sepeda diwakili oleh angka 5
- besarnya beban yang diberikan yaitu kurang dari 10 kg diwakili oleh angka 1

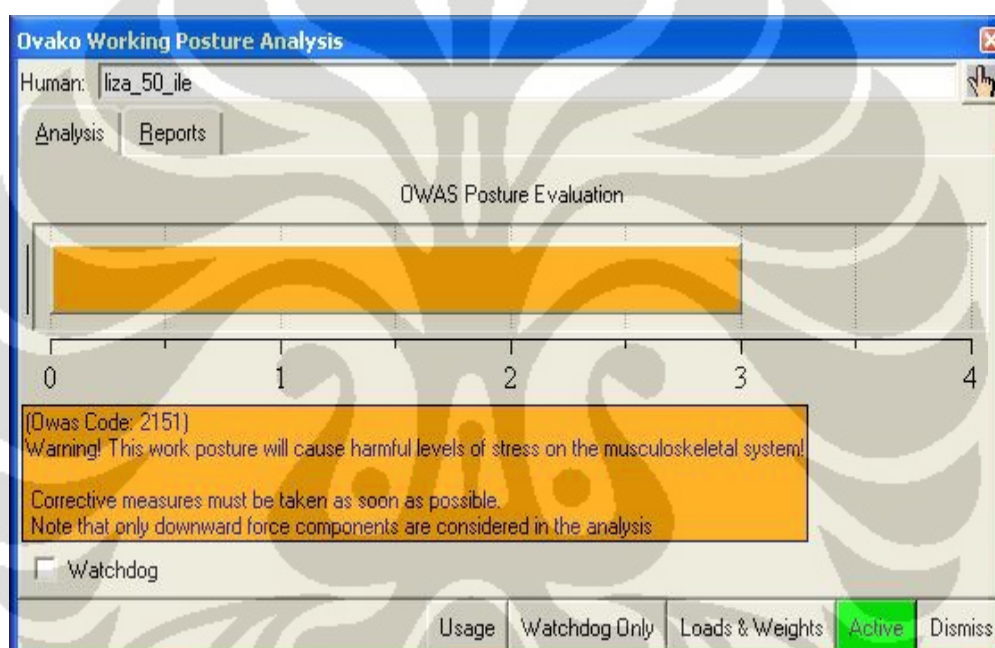
Dengan demikian, kode OWAS untuk postur tubuh pengendara sepeda UI dalam konfigurasi 1 adalah 2151. Selanjutnya, dengan menggunakan **tabel 4.4**, kombinasi dari kode tersebut diterjemahkan untuk mendapatkan kategori gerakan dari konfigurasi 1.

Tabel 4.6. Skor OWAS untuk Konfigurasi 1

Back	1									2			3			4			5			6			7			Legs	Load Handled
	Arms			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	skor OWAS		
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1			
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1		2	
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3		
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4	2	3	4			
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4			
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1			
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	1	1			
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1			
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4				
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4				
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4				

Dari tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa skor OWAS untuk konfigurasi 1 bernilai 3 yang artinya postur tubuh tersebut berbahaya bagi sistem muskuloskeletal pengendara wanita dan metode kerja yang ada harus segera diperbaiki.

Hasil perhitungan skor OWAS secara manual tadi dibandingkan dengan skor OWAS yang dikeluarkan oleh Jack TAT. Sama seperti SSP dan LBA, skor OWAS untuk konfigurasi 1 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar diambil dari *critical posture*. Berikut adalah skor OWAS untuk konfigurasi 1 yang diperoleh dari Jack TAT.



Gambar 4.5. Skor OWAS untuk Konfigurasi 1

Gambar 4.5 di atas menunjukkan skor OWAS untuk konfigurasi 1 mempunyai nilai sebesar 3. Nilai ini sama dengan skor OWAS yang diperoleh melalui perhitungan secara manual dan sama-sama menggambarkan bahwa postur tubuh pengendara saat bersepeda pada lintasan menanjak ataupun mendatar tersebut berbahaya bagi sistem muskuloskeletal pengendara. Sehingga tindakan perbaikan harus segera dilakukan untuk mencegah terjadinya cedera dan *musculoskeletal disorders*. Oleh karena postur tubuh pengendara relatif sama satu dengan yang lain, maka skor OWAS akan bernilai sama untuk setiap konfigurasi.

4.1.4 Skor *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA)

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) digunakan untuk mengevaluasi postur tubuh dan menilai pembebanan keseluruhan tubuh dengan memperhatikan bagian leher, batang tubuh dan anggota tubuh bagian atas (*upper limb*), yang dilihat dari sisi biomekanika dan perawakan manusia. RULA membagi anggota tubuh bagian atas menjadi dua kelompok yaitu *body group A* dan *body group B*. *Body group A* terdiri dari lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*lower arm*), pergelangan tangan (*wrist*), dan perputaran pergelangan tangan (*wrist twist*). *Body group B* terdiri atas leher (*neck*) dan batang tubuh (*trunk*). RULA akan melakukan penilaian terhadap setiap anggota tubuh bagian atas tersebut hingga diperoleh total skor untuk *body group A* dan *body group B*. Selanjutnya dengan menggunakan tabel 4.7 di bawah ini, dapat diketahui *grand score* untuk postur yang bersangkutan.

Tabel 4.7. *Grand Score* dalam RULA

		SCORE D (NECK, TRUNK, LEGS)						
		1	2	3	4	5	6	7+
SCORE C (UPPER LIMB)	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8	5	5	6	7	7	7	7

TABLE C Grand Score Table

ACTION LEVEL 1 A score of one or two indicates that posture is acceptable if it is not maintained or repeated for long periods.

ACTION LEVEL 2 A score of three or four indicates further investigation is needed and changes may be required.

ACTION LEVEL 3 A score of five or six indicates investigation and changes are required soon.

ACTION LEVEL 4 A score of seven or more indicates investigation and changes are required immediately.

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003, hal.3301

Dalam konfigurasi 1 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar, skor RULA yang diperoleh mempunyai nilai yang sama dan tidak mengalami perubahan. Hal ini disebabkan karena postur tubuh model manusia (manekin) sebagai pengendara relatif tetap khususnya untuk anggota tubuh bagian

atas (*upper limb*). Oleh karena itu, penetapan skor RULA yang akan digunakan untuk menghitung nilai PEI tidak bergantung pada *critical posture*. Dalam analisis konfigurasi 1 dengan RULA ini, pada *body group A* digunakan kondisi otot yang normal tanpa penggunaan yang ekstrim, dengan pemberian beban yang lebih kecil dari 2 kg dan tidak konstan, serta posisi lengan mendukung postur yang sedang dianalisis. Hal ini dilakukan berdasarkan asumsi bahwa saat melakukan aktivitas bersepeda, *body group A* tidak mendapatkan beban yang signifikan. Sementara itu, pada *body group B* kondisi otot yang digunakan juga normal tanpa penggunaan yang ekstrim. Namun, beban yang diberikan berkisar antara 2-10 kg dan bersifat statis atau konstan. Beban yang diberikan tersebut merepresentasikan beban tas ransel yang dibawa oleh pengendara wanita di punggungnya. Skor RULA untuk konfigurasi 1 pada lintasan menanjak dan mendatar terlihat pada gambar 4.6 di bawah ini.

The screenshot shows the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software window. The 'Task Entry' tab is active. The 'Job Title' is 'Sepeda UI Konfigurasi 1'. The 'Body Group A Posture Rating' section shows: Upper arm: 3, Lower arm: 3, Wrist: 2, Wrist Twist: 2, Total: 4. The 'Body Group B Posture Rating' section shows: Neck: 1, Trunk: 3, Total: 5. The 'Muscle Use' is 'Normal, no extreme use'. The 'Force/Load' is '< 2 kg intermittent load'. The 'Arms' are 'Supported'. The 'Legs and Feet Rating' is 'Seated, Legs and feet well supported. Weight even.'. A red box at the bottom indicates a 'Grand Score: 5' and 'Action: Investigation and changes are required soon.'. There are 'Update Analysis', 'Usage', and 'Dismiss' buttons.

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)	
Task Entry	Reports Analysis Summary
Job Title: Sepeda UI Konfigurasi 1	Job Number: []
Location: []	Analyst: []
Comments: []	Date: []
Body Group A Posture Rating Upper arm: 3 Lower arm: 3 Wrist: 2 Wrist Twist: 2 Total: 4	
Body Group B Posture Rating Neck: 1 Trunk: 3 Total: 5	
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: 5 Action: Investigation and changes are required soon.	
Update Analysis	
Usage	Dismiss

Gambar 4.6. Skor RULA untuk Konfigurasi 1

Dari gambar 4.6 di atas dapat dilihat bahwa skor RULA untuk *body group* A dan *body group* B masing-masing adalah 4 dan 5. Dengan demikian, *grand score* RULA yang diperoleh untuk konfigurasi 1 baik pada lintasan menanjak maupun mendatar adalah sebesar 5. Angka ini mempunyai arti bahwa postur tubuh pengendara tersebut cukup berbahaya dan berisiko menyebabkan *musculoskeletal disorders* sehingga tindakan investigasi dan perubahan terhadap postur tubuh pengendara sebaiknya segera dilakukan.

4.1.5 Rekapitulasi Skor dan Nilai PEI untuk Konfigurasi 1

Setelah mendapatkan skor dari setiap analisis yang dilakukan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai PEI dari konfigurasi 1 untuk kedua jenis lintasan dengan menggunakan persamaan (2.4).

Tabel 4.8. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 1

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Menanjak	Ya	777	2151	3	4	5	5	1.993
Mendatar	Ya	812	2151	3	4	5	5	2.003

Dari tabel 4.8 di atas dapat dilihat bahwa nilai PEI untuk konfigurasi 1 pada lintasan menanjak dan lintasan mendatar berturut-turut adalah 1,993 dan 2,003.

4.2 Analisis Konfigurasi Model Desain Sepeda UI

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pembuatan konfigurasi model desain sepeda UI dilakukan dengan mengubah tinggi stang dan tinggi sadel dari sepeda tersebut. Perubahan yang dilakukan berupa penambahan tinggi stang dan sadel sebesar 5 cm dan 10 cm dari desain aktual yang ada saat ini. Konfigurasi model yang dibuat merupakan hasil kombinasi dari penambahan tinggi pada stang dan sadel tersebut. Setiap konfigurasi yang dibuat akan disimulasikan dalam dua kondisi lintasan yang terdapat pada jalur sepeda UI, yaitu lintasan menanjak dan lintasan mendatar. Konfigurasi 2 dan 3 merupakan kombinasi antara tinggi stang

aktual dan penambahan masing-masing 5 cm dan 10 cm pada tinggi sadel aktual. Konfigurasi 4 dan 7 merupakan kombinasi antara tinggi sadel aktual dan penambahan masing-masing 5 cm dan 10 cm pada tinggi stang aktual. konfigurasi 5 dan 8 merupakan kombinasi antara penambahan 5 cm pada tinggi sadel aktual dan penambahan masing-masing 5 cm dan 10 cm pada tinggi stang aktual. Sedangkan konfigurasi 6 dan 9 merupakan kombinasi antara penambahan sebesar 10 cm pada tinggi sadel aktual dan penambahan masing-masing sebesar 5 cm dan 6 cm pada tinggi stang aktual. Detil konfigurasi model desain sepeda UI yang dibuat dapat dilihat pada tabel 3.6.

Analisis yang dilakukan terhadap konfigurasi model desain sepeda UI sama dengan yang dilakukan terhadap kondisi aktual, yaitu meliputi analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA. Hasil analisis Jack TAT untuk masing-masing konfigurasi dapat dilihat pada lampiran 3.

4.2.1 Analisis Konfigurasi 2

Konfigurasi 2 dari model desain sepeda UI merupakan hasil kombinasi antara tinggi stang aktual yaitu 12 cm dan penambahan sebesar 5 cm pada tinggi sadel aktual menjadi 16 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 2 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.7. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 2

Dari gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa tinggi sadel melebihi tinggi stang sehingga postur tubuh pengendara pada konfigurasi ini akan cenderung lebih bungkuk dibandingkan dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi 1 (kondisi aktual). Hal ini dapat menyebabkan skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan menggunakan konfigurasi 2 lebih besar daripada konfigurasi 1. Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 2 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 2

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Menanjak	Ya	971	2151	3	4	8	6	2.253
Mendatar	Ya	1011	2151	3	4	8	6	2.264

Dari tabel 4.9 di atas dapat dilihat bahwa tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara masih berada di bawah standar NIOSH yaitu 971 N pada lintasan menanjak dan 1011 N pada lintasan mendatar. Namun, posisi sadel yang lebih tinggi daripada stang menyebabkan anggota tubuh bagian atas (*upper limb*) membentuk postur tubuh yang bungkuk untuk melakukan penyesuaian (*adjustment*) terhadap desain sepeda. Akibatnya, nilai RULA yang didapatkan menjadi lebih besar sehingga nilai PEI untuk konfigurasi 2 lebih tinggi daripada kondisi aktual yaitu 2,253 pada lintasan menanjak dan 2,264 pada lintasan mendatar.

4.2.2 Analisis Konfigurasi 3

Konfigurasi 3 dari model desain sepeda UI merupakan hasil kombinasi dari tinggi stang aktual yaitu 12 cm dan penambahan sebesar 10 cm pada tinggi sadel aktual menjadi 21 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 3 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.8. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 3

Pada gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa tinggi sadel jauh melebihi tinggi stang sehingga postur tubuh pengendara pada konfigurasi ini akan cenderung lebih bungkuk dibandingkan dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi 1 (kondisi aktual) maupun konfigurasi 2. Postur tubuh seperti itu akan menyebabkan skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan konfigurasi 3 lebih besar daripada konfigurasi 1 dan konfigurasi 2. Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 3 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 3

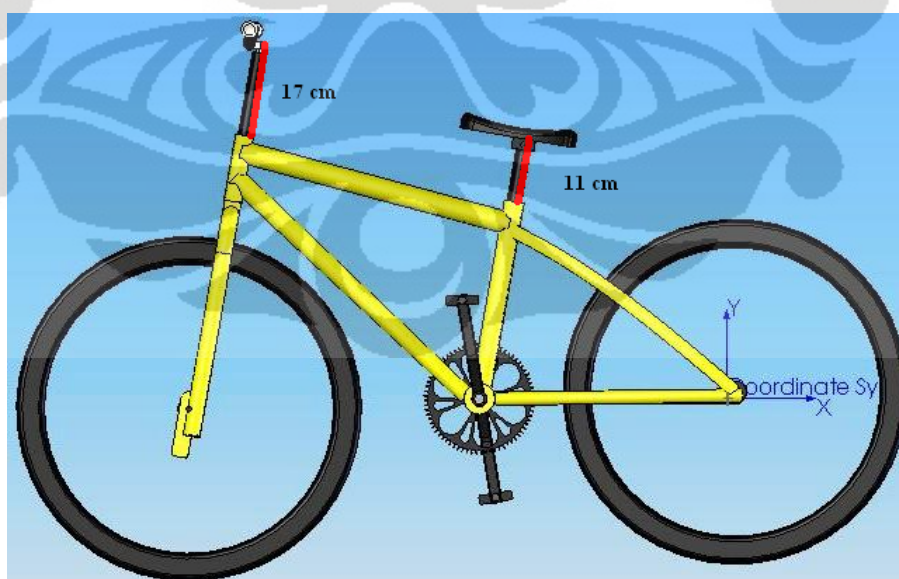
Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Menanjak	Ya	976	2151	3	5	8	7	2.457
Mendatar	Ya	1005	2151	3	5	8	7	2.466

Berdasarkan tabel 4.10 di atas dapat diketahui bahwa pada bagian tulang belakang, tekanan yang dialami oleh pengendara pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar masih dapat dikatakan normal karena berada di bawah standar

NIOSH yaitu sebesar 976 N pada lintasan menanjak dan 1005 N pada lintasan mendatar. Desain konfigurasi 3 ini memiliki sadel yang tingginya melebihi stang sehingga posisi stang berada 9 cm di bawah sadel dan menyebabkan postur tubuh pengendara menjadi lebih bungkuk lagi daripada desain konfigurasi 2. Kondisi postur seperti itu merupakan postur yang kurang ergonomis karena dengan posisi punggung yang bungkuk pengendara harus menjaga lehernya tetap tegak agar dapat melihat jalanan di depan. Sehingga antara leher dan punggung terbentuk sudut yang mengakibatkan nilai RULA yang didapatkan untuk postur tersebut menjadi lebih besar daripada konfigurasi 1 dan konfigurasi 2. Karena nilai RULA yang diberikan untuk postur tubuh pengendara saat bersepeda dengan desain konfigurasi 3 ini sangat tinggi dan merupakan nilai maksimum dari skor RULA yang tersedia, maka nilai PEI-nya juga tinggi yaitu sebesar 2,457 pada lintasan menanjak dan 2,466 pada lintasan mendatar dimana nilai ini lebih besar daripada dua konfigurasi sebelumnya.

4.2.3 Analisis Konfigurasi 4

Konfigurasi 4 dari model desain sepeda UI merupakan hasil kombinasi dari tinggi sadel aktual yaitu 11 cm dan penambahan sebesar 5 cm pada tinggi stang aktual menjadi 17 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 4 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.9. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 4

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa posisi stang lebih tinggi daripada sadel sehingga postur tubuh pengendara pada konfigurasi ini akan cenderung lebih tegak dibandingkan dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi 1 (kondisi aktual) sehingga menyebabkan skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan konfigurasi 4 lebih kecil daripada tiga konfigurasi sebelumnya. Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 4 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.11 di bawah ini:

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 4

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA		PEI	
			Kode	Skor	Body Group			
					A	B		
Menanjak	Ya	679	2151	3	4	4	4	1.761
Mendatar	Ya	724	2151	3	4	4	4	1.774

Dari tabel 4.11 di atas dapat dilihat bahwa tekanan yang terjadi pada tulang belakang pengendara masih berada di bawah batas maksimum tekanan yang dapat diterima oleh tulang belakang menurut NIOSH yaitu sebesar 679 N pada lintasan menanjak dan 724 N pada lintasan mendatar. Walaupun berada di bawah standar NIOSH, namun tekanan tersebut tetap mempunyai risiko menimbulkan cedera pada tulang belakang. Selain mengurangi tekanan yang dikenakan terhadap tulang belakang, postur tubuh yang tegak dapat posisi leher berada dalam satu garis lurus dengan punggung atau tidak terbentuk sudut antara keduanya sehingga nilai RULA yang diberikan terhadap postur tersebut menjadi lebih rendah dan nilai PEI yang dimiliki konfigurasi ini juga lebih kecil daripada konfigurasi 1, 2 dan 3 yaitu senilai 1,761 apabila desain tersebut digunakan pada lintasan menanjak dan 1,774 untuk pemakaian di lintasan mendatar.

4.2.4 Analisis Konfigurasi 5

Konfigurasi 5 dari model desain sepeda UI merupakan hasil kombinasi dari penambahan masing-masing sebesar 5 cm terhadap tinggi stang dan tinggi

sadel aktual menjadi 17 cm dan 16 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 5 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.10. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 5

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa posisi stang dan sadel pada konfigurasi 5 tidak jauh berbeda dengan konfigurasi 1 dimana posisi stang hanya 1 cm lebih tinggi daripada posisi sadel. Dengan demikian, postur tubuh pengendara pada konfigurasi ini akan cenderung tegak dan sama dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi 1 (kondisi aktual). Hal ini menyebabkan skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan konfigurasi 5 tidak jauh berbeda dengan konfigurasi 1 (kondisi aktual). Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 5 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.12 di bawah ini:

Tabel 4.12 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 5

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Menanjak	Ya	715	2151	3	4	4	4	1.772
Mendatar	Ya	752	2151	3	4	4	4	1.783

Dari tabel 4.12 di atas dapat dilihat bahwa tekanan yang diterima oleh tulang belakang pengendara saat bersepeda dengan konfigurasi 5 hanya berbeda sekitar 62 N dibandingkan dengan kondisi aktual dan masih berada di bawah standar NIOSH yaitu sebesar 715 N saat pengendara bersepeda pada lintasan menanjak dan 752 N saat pengendara bersepeda pada lintasan mendatar. Tekanan terhadap tulang belakang yang kecil ditambah nilai RULA yang rendah untuk postur tubuh pengendara saat menggunakan desain konfigurasi 5 ini menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah daripada kondisi aktual yaitu sebesar 1,772 saat digunakan pada lintasan menanjak dan 1,783 saat digunakan pada lintasan mendatar.

4.2.5 Analisis Konfigurasi 6

Konfigurasi 6 dari model desain sepeda UI merupakan hasil kombinasi dari penambahan sebesar 5 cm pada tinggi stang aktual menjadi 17 cm dan penambahan sebesar 10 cm pada tinggi sadel aktual menjadi 21 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 6 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.11. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 6

Pada gambar 4.11 terlihat bahwa posisi stang berada 4 cm di bawah posisi sadel sehingga posisi stang lebih rendah daripada sadel. Desain seperti ini menyebabkan postur tubuh pengendara condong ke depan atau bungkuk, namun

cenderung lebih tegak dibandingkan konfigurasi lain dengan tinggi sadel yang sama yaitu konfigurasi 3. Akibatnya, skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan konfigurasi 6 lebih kecil daripada konfigurasi 3, namun lebih besar daripada konfigurasi 1 (kondisi aktual). Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 6 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 6

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA		PEI	
			Kode	Skor	Body Group			
					A	B		
Menanjak	Ya	882	2151	3	4	8	6	2.227
Mendatar	Ya	912	2151	3	4	8	6	2.235

Dari tabel 4.13 di atas dapat dilihat bahwa tekanan yang dialami oleh tulang belakang pengendara saat melakukan aktivitas bersepeda dengan menggunakan konfigurasi ini adalah sebesar 882 N pada lintasan menanjak dan 912 N pada lintasan mendatar. Nilai tersebut relatif lebih kecil dibandingkan dengan tekanan yang dialami tulang belakang jika pengendara menggunakan konfigurasi 3 yang mempunyai tinggi sadel sama namun stang lebih rendah. Walaupun tekanan pada tulang belakang kecil, namun posisi stang yang lebih rendah daripada sadel menyebabkan tubuh pengendara saat menggunakan konfigurasi ini menjadi bungkuk sehingga memberikan nilai RULA yang cukup besar dan membutuhkan investigasi dan perbaikan secepatnya. Kombinasi antara tekanan terhadap tulang belakang dan penilaian RULA serta OWAS terhadap postur tubuh pengendara saat menggunakan desain konfigurasi 6 menghasilkan nilai PEI sebesar 2,227 untuk penggunaan di lintasan menanjak dan 2,235 untuk penggunaan di lintasan mendatar.

4.2.6 Analisis Konfigurasi 7

Konfigurasi 7 dari model desain sepeda UI merupakan hasil kombinasi dari tinggi sadel aktual yaitu 11 cm dan penambahan sebesar 10 cm pada tinggi stang aktual menjadi 22 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 7 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.12. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 7

Pada gambar 4.12. di atas terlihat bahwa posisi stang jauh lebih tinggi daripada sadel sehingga postur tubuh pengendara pada konfigurasi ini akan cenderung lebih tegak dibandingkan dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi 1 (kondisi aktual). Hal ini menyebabkan tubuh dapat menopang seluruh beban yang ada dengan lebih baik sehingga skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan konfigurasi 7 lebih kecil daripada konfigurasi lainnya yang mempunyai tinggi sadel yang sama, yaitu konfigurasi 1 (kondisi aktual) dan konfigurasi 4. Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 7 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.14 di bawah ini.

Tabel 4.14 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 7

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Menanjak	Ya	602	2151	3	3	4	4	1.738
Mendatar	Ya	643	2151	3	3	4	4	1.751

Dari tabel 4.14 di atas dapat dilihat bahwa tekanan yang dialami oleh tulang belakang pengendara sepeda saat menggunakan desain konfigurasi ini masih berada di bawah standar NIOSH dan lebih rendah daripada desain konfigurasi lainnya yaitu sebesar 602 N pada penggunaan di lintasan menanjak dan 643 N pada penggunaan di lintasan mendatar. Selain hal tersebut, dari tabel 4.14 juga dapat dilihat bahwa bobot nilai RULA yang dimiliki oleh postur tubuh pengendara saat bersepeda menggunakan desain konfigurasi ini cukup rendah dan masih berada dalam level aman, namun tetap membutuhkan investigasi lebih lanjut untuk mencegah meningkatnya risiko cedera yang mungkin terjadi pada sistem muskuloskeletal pengendara. Hasil analisis SSP, LBA, OWAS dan RULA untuk konfigurasi 7 menghasilkan nilai PEI sebesar 1,738 untuk penggunaan di lintasan menanjak dan 1,751 untuk penggunaan di lintasan mendatar.

4.2.7 Analisis Konfigurasi 8

Konfigurasi 8 dari model desain sepeda UI merupakan hasil kombinasi dari penambahan sebesar 10 cm terhadap tinggi stang aktual menjadi 22 cm dan penambahan sebesar 5 cm terhadap tinggi sadel aktual menjadi 16 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 8 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.13. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 8

Pada gambar 4.13 di atas terlihat bahwa posisi stang lebih tinggi daripada sadel sehingga postur tubuh pengendara pada konfigurasi ini akan cenderung lebih tegak dibandingkan dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi lainnya yang memiliki tinggi sadel sama dan tinggi stang lebih rendah, yaitu konfigurasi 5. Postur tubuh tersebut menyebabkan skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan konfigurasi 8 lebih besar daripada konfigurasi 5. Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 8 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.15 di bawah ini.

Tabel 4.15. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 8

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Menanjak	Ya	825	2151	3	4	5	5	2.007
Mendatar	Ya	885	2151	3	4	5	5	2.025

Dari tabel 4.15 di atas terlihat bahwa dibandingkan dengan desain konfigurasi 5, tekanan pada tulang belakang pengendara saat bersepeda dengan menggunakan desain konfigurasi ini relatif lebih kecil karena selisih antara tinggi stang dan sadel lebih sedikit sehingga tubuh pengendara menjadi lebih tegak. Selain tekanan yang diberikan terhadap tulang belakang, tabel 4.15. juga memberikan informasi bahwa postur tubuh pengendara saat menggunakan desain konfigurasi ini memiliki risiko yang cukup besar untuk menimbulkan cedera pada sistem muskuloskeletal tubuh pengendara sehingga investagasi dan tindakan perbaikan harus segera dilakukan. Hasil analisis SSP, LBA, OWAS dan RULA untuk konfigurasi 8 menghasilkan nilai PEI sebesar 2,007 untuk penggunaan di lintasan menanjak dan 2,025 untuk penggunaan di lintasan mendatar.

4.2.8 Analisis Konfigurasi 9

Konfigurasi 9 adalah konfigurasi terakhir dari model desain sepeda UI dan merupakan hasil kombinasi dari penambahan masing-masing sebesar 10 cm terhadap tinggi stang dan tinggi sadel aktual menjadi 22 cm dan 21 cm. Berikut adalah gambar konfigurasi 9 dari model desain sepeda UI.



Gambar 4.14. Desain Sepeda UI untuk Konfigurasi 9

Dari gambar 4.14 di atas dapat dilihat bahwa posisi stang dan sadel pada konfigurasi 9 tidak jauh berbeda dengan konfigurasi 1 dimana posisi stang hanya 1 cm lebih tinggi daripada posisi sadel. Dengan demikian, postur tubuh pengendara pada konfigurasi ini akan cenderung tegak dan sama dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi 1 (kondisi aktual). Hal ini menyebabkan skor LBA atau tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda dengan konfigurasi 9 tidak jauh berbeda dengan konfigurasi 1 (kondisi aktual) namun mempunyai nilai yang lebih besar. Rekapitulasi hasil analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA serta nilai PEI untuk konfigurasi 9 baik pada lintasan menanjak maupun lintasan mendatar dapat dilihat pada tabel 4.16 di bawah ini.

Tabel 4.16 Rekapitulasi Hasil Analisis dan Nilai PEI Konfigurasi 9

Lintasan	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Menanjak	Ya	800	2151	3	4	8	6	2.202
Mendatar	Ya	859	2151	3	4	6	6	2.220

Dari tabel 4.16 di atas dapat dilihat bahwa walaupun stang dan sadel pada konfigurasi 9 mempunyai ukuran paling tinggi di antara konfigurasi lainnya, namun posisi keduanya relatif sejajar sehingga tubuh pengendara berada dalam postur yang cukup tegak dan tekanan yang diberikan kepada tulang belakang tidak terlalu besar. Akan tetapi, posisi stang dan sadel yang terlalu tinggi tersebut menyebabkan bobot nilai RULA yang diberikan untuk postur tubuh pengendara saat menggunakan desain konfigurasi ini cukup besar sehingga kemungkinan terjadinya cedera pada sistem muskuloskeletal tubuh pengendara juga cukup tinggi. Hasil analisis SSP, LBA, OWAS dan RULA untuk konfigurasi 9 menghasilkan nilai PEI sebesar 2,202 untuk penggunaan pada lintasan menanjak dan 2,220 untuk penggunaan pada lintasan mendatar.

4.3 Analisis Perbandingan

4.3.1 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Model Desain Sepeda UI

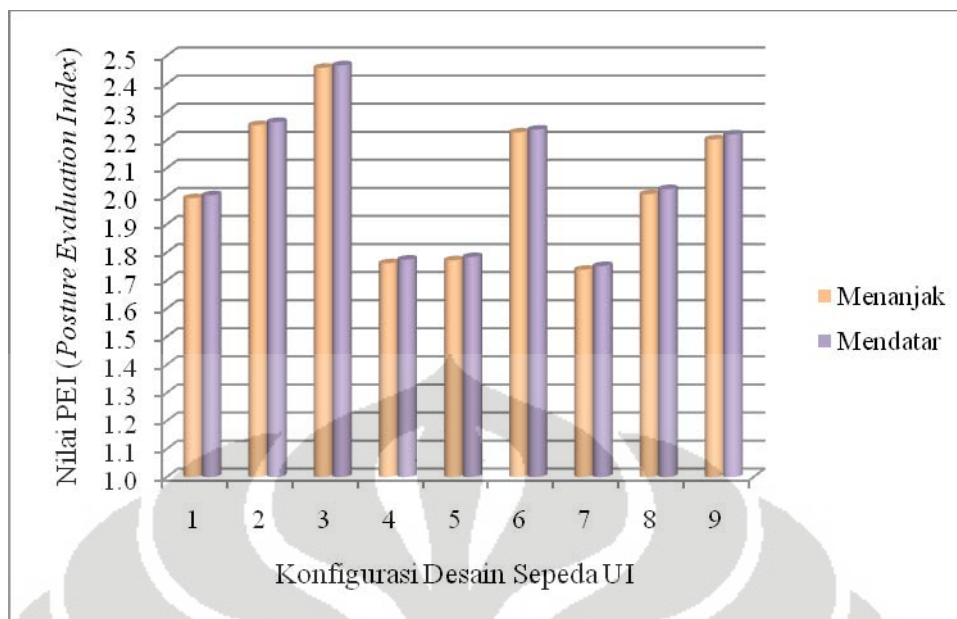
Setelah melakukan analisis dan menghitung nilai PEI untuk kondisi aktual dan masing-masing konfigurasi model desain sepeda UI, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan nilai PEI yang diperoleh untuk mendapatkan desain sepeda UI yang ergonomis bagi pengendara wanita. Rekapitulasi nilai PEI untuk setiap konfigurasi model desain sepeda UI terlihat pada tabel 4.17 di bawah ini.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi Model Desain Sepeda UI

Lintasan	Tinggi Stang		12 cm	17 cm	22 cm
	Tinggi Sadel				
Menanjak	11 cm	12 cm	Konfigurasi 1	Konfigurasi 4	Konfigurasi 7
			1.993	1.761	1.738
	16 cm	17 cm	Konfigurasi 2	Konfigurasi 5	Konfigurasi 8
			2.253	1.772	2.007
	21 cm	22 cm	Konfigurasi 3	Konfigurasi 6	Konfigurasi 9
			2.457	2.227	2.202
Mendatar	11 cm	12 cm	Konfigurasi 1	Konfigurasi 4	Konfigurasi 7
			2.003	1.774	1.751
	16 cm	17 cm	Konfigurasi 2	Konfigurasi 5	Konfigurasi 8
			2.264	1.783	2.025
	21 cm	22 cm	Konfigurasi 3	Konfigurasi 6	Konfigurasi 9
			2.466	2.237	2.220

 Nilai PEI terkecil

 Nilai PEI terbesar



Gambar 4.15. Grafik Nilai PEI Seluruh Konfigurasi Model Desain Sepeda UI

Dari grafik 4.15 di atas terlihat bahwa nilai PEI untuk konfigurasi model desain sepeda UI pada lintasan menanjak relatif lebih kecil daripada lintasan mendatar. Hal ini disebabkan karena pemakaian gir yang berbeda antara kedua lintasan tersebut dimana pada lintasan menanjak pengendara wanita umumnya menggunakan gir satu dengan diameter yang cukup besar sedangkan pada lintasan mendatar pengendara wanita umumnya menggunakan gir tiga dengan diameter lebih kecil. Perbedaan gir yang berbeda ini menyebabkan gaya kayuh sepeda yang dibutuhkan oleh pengendara wanita saat bersepeda pada kedua lintasan tersebut juga berbeda. Semakin kecil diameter gir yang digunakan, maka gaya yang dibutuhkan untuk mengayuh sepeda menjadi lebih besar.

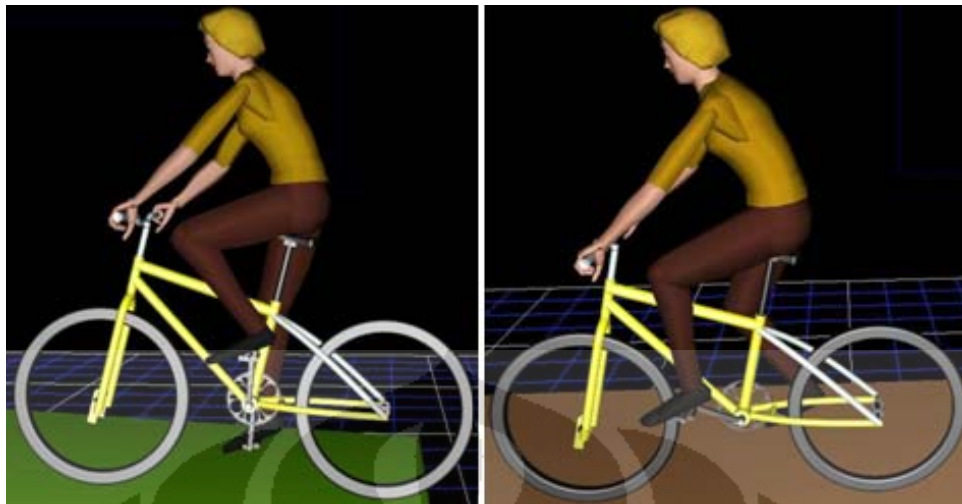
Sementara itu, dari tabel 4.17 terlihat bahwa nilai PEI untuk tinggi sadel aktual cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tinggi stang. Sebaliknya, untuk tinggi stang aktual, nilai PEI cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi sadel. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa desain aktual sepeda UI yang ada saat ini kurang ergonomis karena memiliki nilai PEI yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena postur tubuh pengendara saat mengendarai sepeda dengan desain yang ada saat ini cenderung membungkuk sehingga tidak mampu menopang beban yang ada dengan baik dan memungkinkan terjadinya *musculoskeletal disorders*. Oleh karena itu,

penyesuaian (*adjustment*) terhadap tinggi stang perlu dilakukan untuk mendapatkan desain sepeda UI yang ergonomis bagi pengendara wanita.

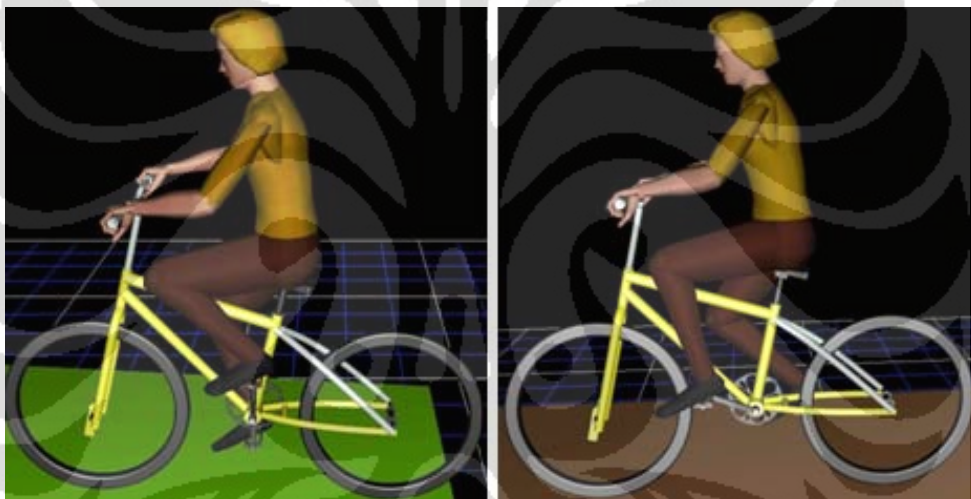
Selain hal di atas, dari tabel 4.17 juga dapat dilihat nilai PEI yang paling besar dan paling kecil untuk setiap lintasan. Nilai PEI yang paling besar dimiliki oleh konfigurasi 3 yaitu 2,457 untuk penggunaan di lintasan menanjak dan 2,466 untuk penggunaan di lintasan mendatar. Nilai PEI yang besar ini menunjukkan bahwa konfigurasi model desain sepeda UI tersebut tidak ergonomis bagi pengendara wanita dibandingkan dengan konfigurasi model desain lainnya. Hal ini disebabkan karena posisi stang yang jauh lebih rendah daripada sadel sehingga postur tubuh pengendara pada konfigurasi tersebut cenderung jauh lebih bungkuk daripada postur tubuh pengendara pada konfigurasi lainnya. Akibatnya, punggung pengendara tidak mampu menopang beban yang diberikan pada bahu dengan baik sehingga tekanan pada tulang belakang yang dialami oleh pengendara menjadi lebih besar dan berpotensi menyebabkan *musculoskeletal disorders*.

Sementara itu, nilai PEI yang paling kecil dimiliki oleh konfigurasi 7 yaitu sebesar 1,738 untuk penggunaan di lintasan menanjak dan 1,751 untuk penggunaan di lintasan mendatar. Nilai PEI yang kecil ini menunjukkan bahwa konfigurasi model desain sepeda UI tersebut merupakan konfigurasi model desain sepeda UI yang ergonomis bagi pengendara wanita. Hal ini disebabkan karena posisi stang yang jauh lebih tinggi daripada sadel sehingga postur tubuh pengendara pada konfigurasi tersebut cenderung lebih tegak dan lebih baik dibandingkan dengan postur tubuh pengendara pada konfigurasi lainnya.

Perbandingan postur tubuh pengendara wanita pada saat menggunakan sepeda dengan konfigurasi 3 dan konfigurasi 7 dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16 di bawah ini.



Gambar 4.16. Postur Tubuh Pengendara Wanita Saat Bersepeda Menggunakan Desain Konfigurasi 3



Gambar 4.17. Postur Tubuh Pengendara Wanita Saat Bersepeda Menggunakan Desain Konfigurasi 7

Berdasarkan hasil perhitungan dan perbandingan nilai PEI dari setiap konfigurasi desain yang ada, maka dapat disimpulkan bahwa desain sepeda UI yang ergonomis bagi pengendara wanita adalah desain konfigurasi 7 yaitu desain sepeda UI dengan tinggi sadel 11 cm dan tinggi stang 22 cm.

4.3.2 Perbandingan Nilai PEI dari Konfigurasi Model Desain Sepeda UI antara Pengendara Wanita dan Pengendara Pria

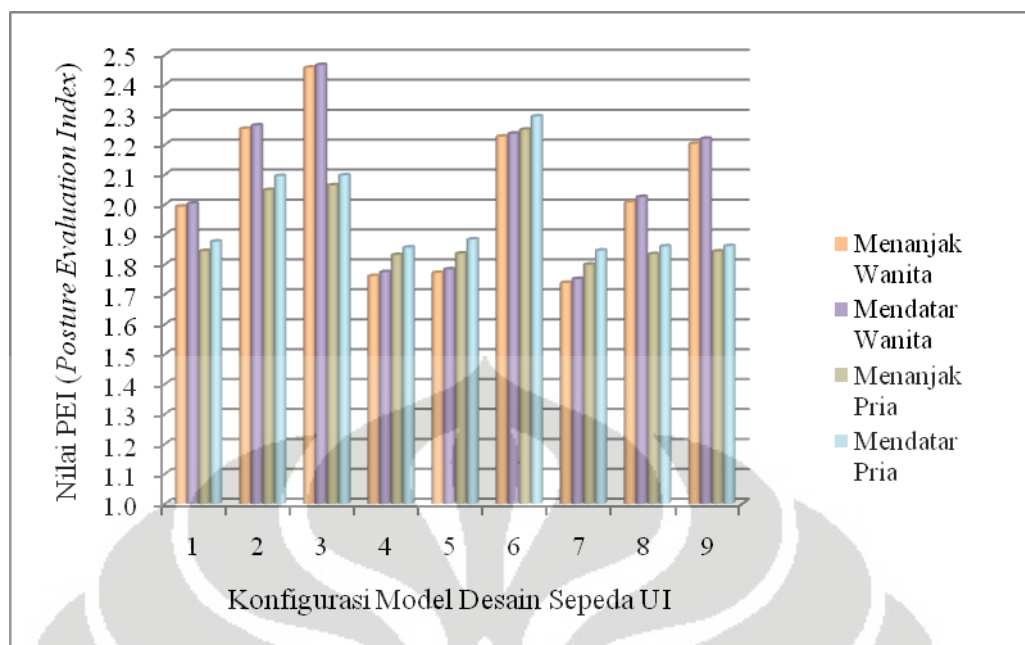
Dari hasil perhitungan dan analisis nilai PEI yang sudah dijelaskan sebelumnya diketahui bahwa konfigurasi model desain sepeda UI yang paling ergonomis untuk dikendarai oleh pengendara wanita pada jalur sepeda UI yang tersedia adalah konfigurasi 7 dengan tinggi sadel 11 cm dan tinggi stang 22 cm. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan hasil analisis untuk pengendara pria dengan tujuan untuk melihat apakah terdapat perbedaan desain sepeda UI yang ergonomis antara pengendara wanita dan pengendara pria.

Tabel 4.18 Rekapitulasi nilai PEI untuk Pengendara Pria

Lintasan	Tinggi Stang		12 cm	17 cm	22 cm
	Tinggi Sadel				
Menanjak	11 cm	Konfigurasi 1	1.844	Konfigurasi 4	Konfigurasi 7
			1.844	1.831	1.799
	16 cm	Konfigurasi 2	2.048	Konfigurasi 5	Konfigurasi 8
			2.048	1.836	1.834
	21 cm	Konfigurasi 3	2.064	Konfigurasi 6	Konfigurasi 9
			2.064	2.250	1.843
Mendatar	11 cm	Konfigurasi 1	1.876	Konfigurasi 4	Konfigurasi 7
			1.876	1.856	1.846
	16 cm	Konfigurasi 2	2.095	Konfigurasi 5	Konfigurasi 8
			2.095	1.883	1.860
	21 cm	Konfigurasi 3	2.097	Konfigurasi 6	Konfigurasi 9
			2.097	2.294	1.861

 Nilai PEI terkecil

 Nilai PEI terbesar



Gambar 4.18. Grafik Perbandingan Nilai PEI antara Pengendara Wanita dan Pria

Dari grafik 4.18 di atas terlihat bahwa nilai PEI yang diperoleh untuk pengendara wanita secara umum lebih besar daripada nilai PEI untuk pengendara pria. Hal ini terjadi karena pengendara wanita mempunyai antropometri tubuh yang berbeda dengan pengendara pria. Antropometri tubuh wanita yang lebih kecil daripada pria menyebabkan pengendara wanita cenderung lebih sulit menyesuaikan postur tubuhnya dengan desain sepeda yang diberikan. Wanita mempunyai kaki yang lebih pendek daripada pria sehingga untuk konfigurasi desain dengan tinggi sadel 16 cm dan 21 cm, nilai PEI wanita lebih besar daripada pria. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa konfigurasi desain sepeda UI dengan tinggi sadel 16 cm dan 21 cm tidak ergonomis bagi pengendara wanita dan lebih cocok untuk pengendara pria.

Sementara itu, dari tabel 4.18 dapat dilihat bahwa desain sepeda UI yang ergonomis bagi pengendara pria adalah desain konfigurasi 7 karena memiliki nilai PEI yang paling kecil. Hasil ini serupa dengan yang diperoleh untuk pengendara wanita sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan antara desain sepeda UI yang ergonomis untuk pengendara wanita (mahasiswi) dan pengendara pria (mahasiswa).

4.3.3 Perbandingan Hasil Konfigurasi Model Desain antara Sepeda UI dan Sepeda Lipat DTM UI untuk Pengendara Wanita

Sepeda lipat DTM UI merupakan hasil karya yang dibuat oleh mahasiswa Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia (DTM UI). Menurut hasil wawancara yang dilakukan dengan Ir. Jachrizal Sumabrata, M.Sc PhD, sepeda lipat tersebut diperkirakan berpotensi menggantikan sepeda UI yang telah beroperasi di jalur sepeda UI saat ini. Hal ini dilakukan sebagai bentuk apresiasi terhadap hasil karya yang dihasilkan oleh mahasiswa UI sendiri. Oleh karena itu, penelitian terhadap aspek ergonomi yang dilakukan terhadap sepeda UI juga dilakukan terhadap sepeda lipat DTM UI untuk menilai apakah desain sepeda lipat DTM UI tersebut sudah ergonomis bagi pengendaranya atau belum. Hasil yang didapatkan dari penelitian terhadap sepeda lipat DTM UI tersebut sama seperti pada sepeda UI yaitu berupa nilai PEI untuk kondisi aktual sepeda lipat DTM UI dan konfigurasi model desain yang diusulkan sehingga dapat diketahui desain sepeda lipat DTM UI seperti apa yang ergonomis bagi pengendaranya khususnya pengendara wanita. Tabel 4.19 di bawah ini merupakan rekapitulasi nilai PEI untuk kondisi aktual dan 8 konfigurasi yang dilakukan terhadap desain sepeda lipat DTM UI.

Tabel 4.19 Rekapitulasi Nilai PEI Seluruh Konfigurasi Model Desain Sepeda Lipat DTM UI

Lintasan	Tinggi Stang		Aktual (12 cm)	+10 cm (22 cm)	+20 cm (32 cm)
	Tinggi Sadel				
Menanjak	Aktual (830 mm dari tanah)		Konfigurasi 1	Konfigurasi 2	Konfigurasi 3
			2.292	2.290	2.016
	+4 cm (870 mm dari tanah)		Konfigurasi 4	Konfigurasi 6	Konfigurasi 7
			2.563	2.315	2.244
	+8 cm (910 mm dari tanah)		Konfigurasi 5	Konfigurasi 8	Konfigurasi 9
			2.352	2.294	2.237
Mendatar	Tinggi Stang		Aktual (12 cm)	+10 cm (22 cm)	+20 cm (32 cm)
	Tinggi Sadel				
	Aktual (830 mm dari tanah)		Konfigurasi 1	Konfigurasi 2	Konfigurasi 3
			2.303	2.293	2.026
	+4 cm (870 mm dari tanah)		Konfigurasi 4	Konfigurasi 6	Konfigurasi 7
		2.560	2.316	2.243	
	+8 cm (91 mm dari tanah)		Konfigurasi 5	Konfigurasi 8	Konfigurasi 9
			2.354	2.292	2.234

Dari tabel 4.19 di atas dapat dilihat bahwa desain sepeda lipat DTM UI yang ada saat ini mempunyai nilai PEI yang lebih besar daripada nilai PEI terkecil yang dimiliki oleh konfigurasi model desain sepeda lipat yang diusulkan. Hal ini berarti desain sepeda lipat DTM UI saat ini kurang ergonomis sehingga perlu dilakukan penyesuaian terhadap tinggi stang ataupun tinggi sadel. Nilai PEI terkecil yang menunjukkan desain sepeda lipat DTM UI yang paling ergonomis bagi pengendara wanita adalah sebesar 2,016 pada lintasan menanjak dan 2,026 pada lintasan mendatar. Nilai ini didapatkan setelah dilakukan penyesuaian terhadap desain sepeda lipat DTM UI berupa penambahan sebesar 20 cm terhadap tinggi stang. Desain konfigurasi 3 yang merupakan desain sepeda lipat DTM UI yang ergonomis dapat dilihat pada gambar 4.19 di bawah ini.



Gambar 4.19. Desain Sepeda Lipat DTM UI yang Ergonomis

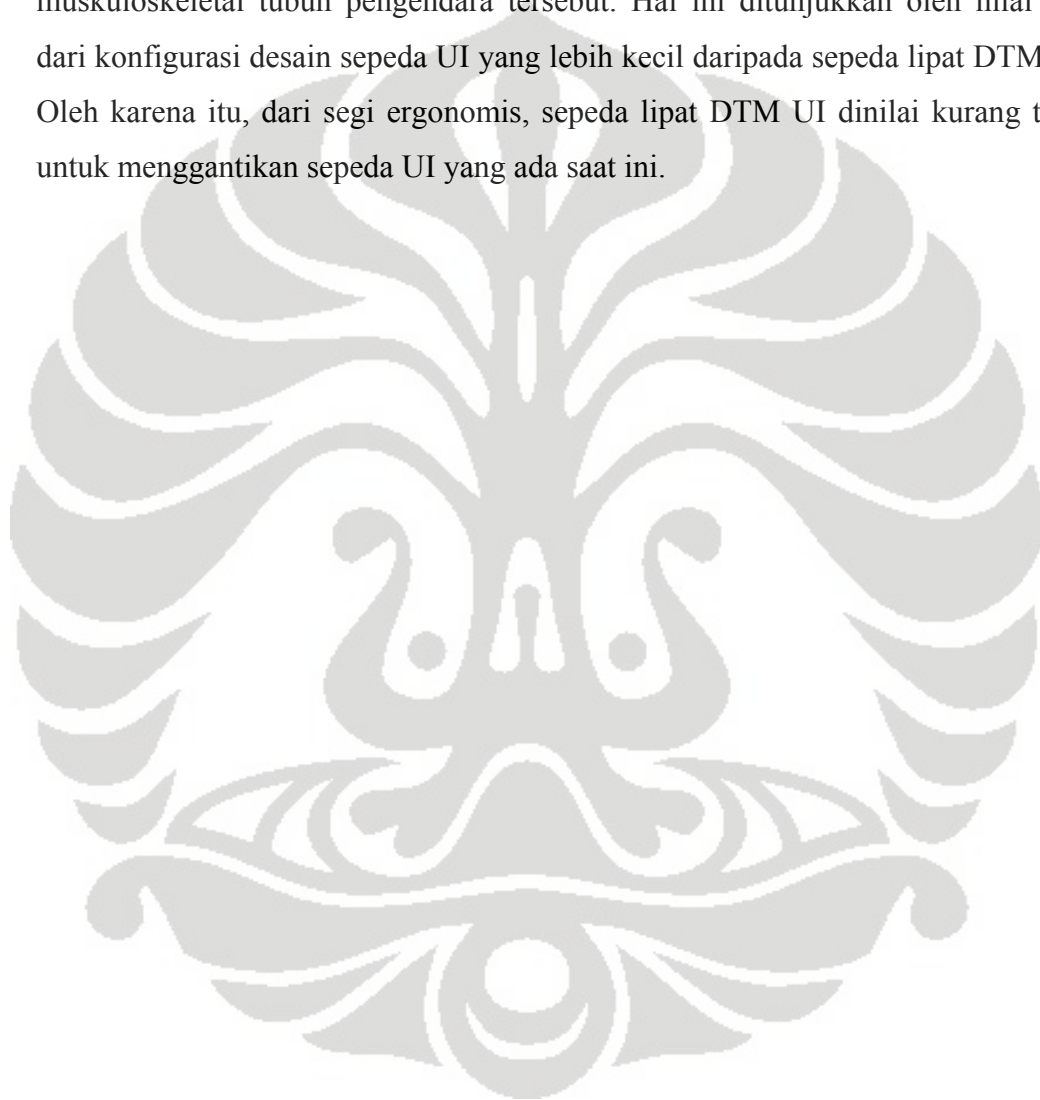
Keterangan gambar 4.19

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

Hasil konfigurasi model desain sepeda lipat DTM UI tersebut tidak jauh berbeda dengan sepeda UI dimana penyesuaian yang dilakukan terhadap kedua desain tersebut hanya dilakukan terhadap tinggi stang. Tinggi stang dalam desain yang ergonomis untuk sepeda UI maupun sepeda lipat DTM UI sama-sama berada pada posisi paling tinggi yaitu 22 cm untuk sepeda UI dan 32 cm untuk sepeda lipat DTM UI. Sementara itu, terhadap tinggi sadel tidak dilakukan penyesuaian apa-apa sehingga tinggi sadel dalam desain yang ergonomis untuk kedua jenis sepeda tersebut merupakan tinggi sadel dalam kondisi aktual yang ada saat ini dan sama-sama berada pada posisi paling rendah.

Selanjutnya, dengan membandingkan tabel 4.17 dan 4.19 dapat dilihat bahwa nilai PEI dari konfigurasi desain sepeda lipat DTM UI untuk pengendara wanita mempunyai nilai yang lebih besar daripada nilai PEI dari konfigurasi desain sepeda UI. Hal ini dapat terjadi karena tinggi sadel (diukur dari tanah) pada desain sepeda lipat DTM UI lebih tinggi daripada sepeda UI. Sementara itu, tinggi stang (diukur dari tanah) pada desain sepeda lipat DTM UI lebih rendah daripada tinggi stang pada desain sepeda UI. Kombinasi dari tinggi sadel dan tinggi stang seperti itu menyebabkan selisih antara posisi stang dan sadel pada sepeda lipat DTM UI relatif lebih kecil daripada sepeda UI. Akibatnya, postur tubuh pengendara wanita saat mengendarai sepeda lipat DTM UI akan cenderung lebih bungkuk dibandingkan saat mengendarai sepeda UI. Postur tubuh tersebut bersifat kurang ergonomis karena dalam posisi punggung yang rendah pengendara harus dapat menjaga leher tetap tegak agar dapat melihat ke depan terus selama bersepeda. Kondisi seperti itu akan menyebabkan pengendara cepat mengalami kelelahan dan memicu terjadinya *musculoskeletal disorders* sehingga nilai RULA yang dimiliki oleh postur tersebut menjadi lebih besar karena risiko cedera yang mungkin terjadi juga besar. Berbeda dengan sepeda lipat DTM UI, postur tubuh pengendara wanita saat mengendarai sepeda UI akan cenderung lebih tegak karena selisih antara stang dan sadel pada sepeda UI relatif lebih besar sehingga posisi leher pengendara dapat disesuaikan dengan posisi punggung untuk menjaganya tetap tegak dan mengurangi risiko terjadinya cedera dan *musculoskeletal disorders*.

Berdasarkan hasil analisis perbandingan kedua desain sepeda tersebut dapat disimpulkan bahwa desain sepeda UI lebih ergonomis daripada sepeda lipat DTM UI karena postur tubuh pengendara wanita saat mengendarai sepeda UI lebih baik daripada saat mengendarai sepeda lipat DTM UI dimana posisi leher dan punggung berada pada garis yang sama atau tidak terbentuk sudut antara leher dan punggung sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya cedera pada sistem muskuloskeletal tubuh pengendara tersebut. Hal ini ditunjukkan oleh nilai PEI dari konfigurasi desain sepeda UI yang lebih kecil daripada sepeda lipat DTM UI. Oleh karena itu, dari segi ergonomis, sepeda lipat DTM UI dinilai kurang tepat untuk menggantikan sepeda UI yang ada saat ini.



BAB 5

KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan terhadap sepeda UI ini mempunyai tiga tujuan utama, yaitu menganalisis aspek ergonomi dari desain sepeda UI, membuat simulasi permodelan *virtual* dari aktivitas mengendarai sepeda UI untuk membantu proses analisis, dan memberikan rekomendasi rancangan desain sepeda UI ergonomis. Berdasarkan tujuan tersebut, maka beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis ergonomi sepeda UI dilakukan melalui penilaian terhadap postur tubuh pengendara wanita saat mengendarai sepeda UI dengan menggunakan metode PEI (*Posture Evaluation Index*). Berdasarkan metode PEI, postur tubuh pengendara wanita saat mengendarai sepeda UI dengan desain seperti yang ada saat ini memiliki nilai LBA, OWAS, dan RULA berturut-turut 777 N, 3, dan 5 untuk penggunaan pada lintasan menanjak serta 812 N, 3, dan 5 untuk penggunaan pada lintasan mendatar. Sehingga nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,993 dan 2,003 masing-masing untuk penggunaan pada lintasan menanjak dan lintasan mendatar.
2. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap seluruh konfigurasi model desain sepeda UI, baik desain aktual maupun desain usulan, diketahui bahwa desain sepeda UI yang ada saat ini kurang ergonomis bagi pengendara wanita karena memiliki nilai PEI yang cukup besar.
3. Desain sepeda UI yang ergonomis bagi pengendara wanita adalah desain sepeda UI dengan tinggi sadel 11 cm (sama dengan desain aktual) dan tinggi stang 22 cm (penambahan 10 cm dari tinggi stang aktual). Desain tersebut dipilih karena memiliki nilai PEI paling kecil yaitu 1,738 untuk penggunaan di lintasan menanjak dan 1,751 untuk penggunaan di lintasan mendatar.
4. Postur tubuh pengendara yang paling ergonomis saat bersepeda dengan sepeda UI adalah postur tubuh yang cenderung tegak karena memiliki risiko yang relatif kecil dalam menyebabkan cedera pada sistem muskuloskeletal pengendara.

5. Melalui perbandingan yang dilakukan terhadap pengendara pria, antara desain sepeda UI yang ergonomis untuk pengendara pria dan pengendara wanita tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Namun, nilai PEI yang dimiliki oleh pengendara wanita secara umum lebih besar daripada pengendara pria.



DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to ergonomics*. London: Taylor & Francis Group.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., & Marzano, A. (2006, June). *Ergonomics optimization of work cell of manufacturing systems in virtual environment*. Paper presented at 5th International Conference on Advanced Engineering Design, Prague.
- Di Gironimo, G., Monacellia, G., & Patalano, S. (2004, May). *A design methodology for maintainability of automotive components in virtual environment*. Paper presented at International Design Conference, Dubrovnik.
- Esyandi, Dodi. (2008, August 4). Sepeda akan jadi kendaraan wajib di UI. *Bisnis Indonesia*.
- Guitink, P., Holste, S., & Lebo, J. (1994). *Non-motorized transport: confronting poverty through affordable mobility*.
<http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/publicat/td-ut4.htm>
- Helander, Martin. (2006). *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). London: Taylor & Francis e-Library.
- Ismail, A.R., dkk. (2009). Assessment of postural loading among the assembly operators: a case study at Malaysian automotive industry. *European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.30 No.2*, pp.224-235.
- Jalur sepeda di UI, "Green Campus" melawan pemanasan global. (2008). *Seputar Indonesia*.
http://www.ui.edu/download/kliping/120308/jalur_sepeda_di_ui_green_campus_melawan_pemanasan_global.pdf
- Joyodiharjo, B.J. (2007). *Desain sepeda alternatif untuk komunitas pekerja kantor yang bersepeda*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Kalawsky, R (1993). *The science of virtual reality and virtual environments*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Kocabiyik, Elif. (2004). *Engineering concepts in industrial product design with a case study of bicycle design*. January, 2004. İzmir Institute of Technology, Department of Industrial Design.
- Kring-kring, ada jalur sepeda di UI. (2008). *Media Indonesia*.
<http://www.mediaindonesia.com/>

- Kumar, Rupesh. (2006). *Ergonomic evaluation and design of tools in cleaning occupation*. June, 2006. Luleå University of Technology, Department of Human Work Sciences.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual environmentsin machinery safety analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Marras, William S., & Karwowski, Waldemar. (2006). *Fundamental and assessment tools for occupational ergonomics*. London: Taylor & Francis Group
- Perangi pemanasan global dengan bersepeda. (2008). *Monitor Depok*.
[http://www.ui.edu/download/kliping/111108/Perangi Pemanasan dengan Bersepeda.pdf](http://www.ui.edu/download/kliping/111108/Perangi_Pemanasan_dengan_Bersepeda.pdf)
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace: anthropometry, ergonomics and the design of work*. London: Taylor & Francis e-Library.
- Siemens PLM Software Inc. (2008). *Jack user manual version 6.0*. California: Author.
- Siemens PLM Software Inc. (2008). *Jack task analysis toolkit (TAT) training manual*. California: Author.
- UGS Tecnomatix (2005). *Jack human modeling and simulation*.
<http://www.ugs.com/>
- Unit Pelaksana Pendidikan Ilmu Pengetahuan Dasar. (2005). *Handout fisika*. Depok: Penulis.
- Wilson, J.R. (1997). Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. *Applied Ergonomics*, p.1057-1077.