



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS ERGONOMI TERHADAP SEPEDA ANAK-ANAK
BERDASARKAN DATA ANTROPOMETRI MENGGUNAKAN
METODE *POSTURE EVALUATION INDEX* (PEI) DALAM
*VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**ROBERTON SIAHAAN
0806459021**

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

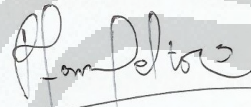
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Roberton Siahaan

NPM : 0806459021

Tanda Tangan :



Tanggal : Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Roberton Siahaan
NPM : 0806459021
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Ergonomi terhadap Sepeda Anak-Anak Berdasarkan Data Antropometri Menggunakan 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. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE ()

Penguji : Dr. Akhmad Hidayatno, S.T., MBT ()

Penguji : Armand Omar Moeis, S.T., M.Sc ()

Penguji : Farizal, Ph.D ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus karena hanya dengan pimpinan-Nya, maka skripsi mengenai “**Analisis Ergonomi terhadap Sepeda Anak-Anak Berdasarkan Data Antropometri Menggunakan Metode *Posture Evaluation Index (PEI)* dalam *Virtual Environment*”** ini dapat diselesaikan oleh penulis tepat pada waktunya.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Industri pada Program Sarjana Reguler Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa pihak-pihak yang membantu skripsi ini tidak mungkin dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang mendalam terhadap pihak-pihak tersebut, yaitu:

1. Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE selaku pembimbing skripsi yang telah mengarahkan dan memberikan bimbingan selama proses pengerjaan skripsi ini.
2. Dosen pembimbing ergonomi lainnya seperti Ibu Erlinda, Dwinta, Maya, dan lain-lain yang selalu memberikan kritik dan saran dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Kepala Sekolah SD N 1 Pocin dan Madrasah Ibtidadiyah Al-Rahman yang telah memberikan izin dalam pengambilan data antropometri dari siswanya.
4. Orang tua Penulis, yang selalu memberikan dukungan doa, moral maupun material untuk penyelesaian skripsi ini.
5. Dosen Penguji seminar 1 dan 2, Pak Dendy, Pak Dhani, Bu Amalia, Pak Akhmad, Bu Dwinta, Pak Farizal, yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi ini ke arah yang lebih baik dan benar.
6. Kakak dan Abang dari penulis yang selalu memberikan dukungan doa dan juga arahan pada penulis serta yang telah memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman seperjuangan Andrew, Friska, Gabriela, Mariana, Jessica, Stefani, Paulus, Rizal, Andreas, Kristina, Eltina, yang pernah putus asa

dalam pengerjaan skripsi ini, tapi akhirnya bisa diselesaikan dengan puas dan menyengangkan.

8. Andreas AS, Bonardo J S, Raja AS yang menjadi adik binaan dalam kelompok kecil yang tetap mau mendengarkan cerita-cerita pengerjaan skripsi penulis, dan yang selalu mendoakan dan memberi semangat hingga sidang skripsi.
9. Samuel, Christian, Paulus, Ryan, Daniel Nico, Togi yang menjadi teman kelompok kecil hingga KTB, dan yang memberi hikmat dan pengertian dalam pengerjaan skripsi ini.
10. Teman-teman TI 2008 yang selalu menemani dari semester 1 sampai pengerjaan skripsi ini terkhusus teman-teman ergo yang selalu bimbingan rame-rame dan ngerjain skripsi di lab ergocen.
11. Teman-teman PSPO yang selalu mendoakan dan memberi dukungan spiritual dalam proses pengerjaan skripsi ini sehingga membuat penulis tetap semangat dalam mengerjakan.
12. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis berharap penyusunan skripsi yang berjudul “**Analisis Ergonomi terhadap Sepeda Anak-Anak Berdasarkan Data Antropometri Menggunakan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dalam *Virtual Environment***” dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya.

Depok, Juni 2012

Roberton R H Siahaan

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA
ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Roberton Siahaan

NPM : 0806459021

Program Studi : Teknik Industri

Departemen : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

**Analisis Ergonomi terhadap Sepeda Anak-Anak berdasarkan Data
Antropometri Menggunakan 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 skripsi saya tanpa meminta izin dari 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 : Juni 2012

Yang menyatakan



(Roberton Siahaan)

ABSTRAK

Nama : Roberton Siahaan
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Analisis Ergonomi terhadap Sepeda Anak-Anak berdasarkan Data Antropometri Menggunakan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) dalam *Virtual Environment*

Sepeda merupakan alat transportasi yang sangat umum dan luas penggunaannya di dunia yang digunakan oleh semua orang dari berbagai kalangan usia. Sekarang ini, bersepeda dianggap bukan hanya alat transportasi yang sehat dan efisien tetapi juga rekreasi dan aktifitas olah raga yang populer. Desain sepeda yang baik sangat berhubungan dengan efisiensi, *power*, keamanan, dan kenyamanan bersepeda. *Bicycle fit* juga sangat penting dalam hal mencegah kecelakaan. Beberapa masalah kesehatan dan gangguan skeletal yang berhubungan dengan sepeda adalah karena kurangnya *bicycle fit* dan kesalahan postur saat bersepeda. Penelitian ini bertujuan untuk rancang desain sepeda yang ergonomis untuk anak-anak usia 7-11 tahun dengan menggunakan software jack 6.1. Hasil akhir dari penelitian ini adalah rancangan sepeda dengan penambahan ketinggian stang 10 cm dari aktualnya.

Kata kunci:

Ergonomi, desain sepeda anak-anak, *Posture Evaluation Index*, *virtual environment*.

ABSTRACT

Name : Roberton Siahaan
Study Program : Industrial Engineering
Title : **Ergonomic Analysis of Kids Bicycle Based On Children Antrhopometry Using Posture Evaluation Index Method on Virtual Environment**

Bicycle is a very common transportation and widely used in the world that are used by all people of all ages. Today, cycling is considered not only a means of healthy and efficient transportation, but also popular recreational and sporting activities. The fine bicycle design is related to efficiency, power, security, and convenience of cycling. Bicycle fit is also very important in preventing accidents. Some health problems and skeletal disorders that relate with bicycle design are because of the lack of bicycle bike fit and posture error while cycling. This study aims to design an ergonomic bicycle design for children aged 7-11 years using jack software 6.1. The final result of this study is the design of bicycle handlebar heights with the addition of 10 cm from the actual.

Key words:

Ergonomic, kids bicycle design, posture evaluation index, virtual environment

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Perumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.6 Metodologi Penelitian	7
1.7 Sistematikan Penulisan	9
BAB 2 LANDASAN TEORI	10
2.1 Ergonomi	10
2.2 Musculoskeletal Disorder	11
2.3 Antropometri	12
2.4 Persentil	14
2.5 Analisis Ergonomi pada Software Jack 6.1	15
2.5.1 Software Jack 6.1	15
2.5.2 Metode <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI)	
2.6 Sejarah Perkembangan Sepeda	25
2.6.1 Elemen Sepeda	31

2.6.2 Gaya Kayuh Sepeda	31
BAB 3 METODE PENELITIAN	33
3.1 Alur Pengumpulan Data dan Pengolahan Data	33
3.2 Pengumpulan Data Antropometri	35
3.3 Dimensi Sepeda Anak-Anak	38
3.4 Tanjakan pada Lintasan Sepeda Universitas Indonesia	39
3.5 Waktu untuk Simulasi <i>Virtual Environment</i>	40
3.6 Perancangan Model	40
3.7 Analisis PEI Model Aktual	46
3.8 Konfigurasi Desain Sepeda Anak-Anak	48
BAB 4 PEMBAHASAN	50
4.1 Simulasi Menggunakan Software Jack 6.1	50
4.2 Nilai PEI Desain Aktual Sepeda Anak-Anak	52
4.2.1 Model Aktual Sepeda Anak-Anak	52
4.2.1.1 Lintasan Menanjak	53
4.2.1.2 Lintasan Mendatar	55
4.3 Nilai PEI Desain Usulan Sepeda Anak-Anak	56
4.3.1 Nilai PEI Konfigurasi 2	56
4.3.1.1 Lintasan Menanjak	57
4.3.1.2 Lintasan Mendatar	58
4.3.2 Nilai PEI Konfigurasi 3	58
4.3.2.1 Lintasan Menanjak	59
4.3.2.2 Lintasan Mendatar	60
4.3.3 Nilai PEI Konfigurasi 4	60
4.3.3.1 Lintasan Menanjak	61
4.3.3.2 Lintasan Mendatar	62
4.3.4 Nilai PEI Konfigurasi 5	62
4.3.4.1 Lintasan Menanjak	63
4.3.4.2 Lintasan Mendatar	64
4.3.5 Nilai PEI Konfigurasi 6	64

4.3.5.1 Lintasan Menanjak	65
4.3.5.2 Lintasan Mendatar	66
4.3.6 Nilai PEI Konfigurasi 7	66
4.3.6.1 Lintasan Menanjak	67
4.3.6.2 Lintasan Mendatar	68
4.3.7 Nilai PEI Konfigurasi 8	68
4.3.7.1 Lintasan Menanjak	69
4.3.7.2 Lintasan Mendatar	70
4.3.8 Nilai PEI Konfigurasi 9	70
4.3.8.1 Lintasan Menanjak	71
4.3.8.2 Lintasan Mendatar	72
4.4 Analisis Nilai PEI (<i>Posture Evaluation Index</i>)	72
4.4.1 Analisis Nilai <i>Static Strength Prediction</i> (SSP)	72
4.4.2 Analisis Nilai <i>Low Back Analysis</i> (LBA)	73
4.4.3 Analisis Nilai <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> (RULA)	75
4.4.4 Analisis <i>Ovako Working Postrure Analysis</i> (OWAS)	77
4.4.5 Analisis Nilai PEI Sepeda Anak-Anak Terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun	78
BAB 5 KESILPULAN DAN SARAN	82
5.1 Kesimpulan	82
5.2 Saran	83
DAFTAR REFERENSI	84

DAFTAR GAMBAR

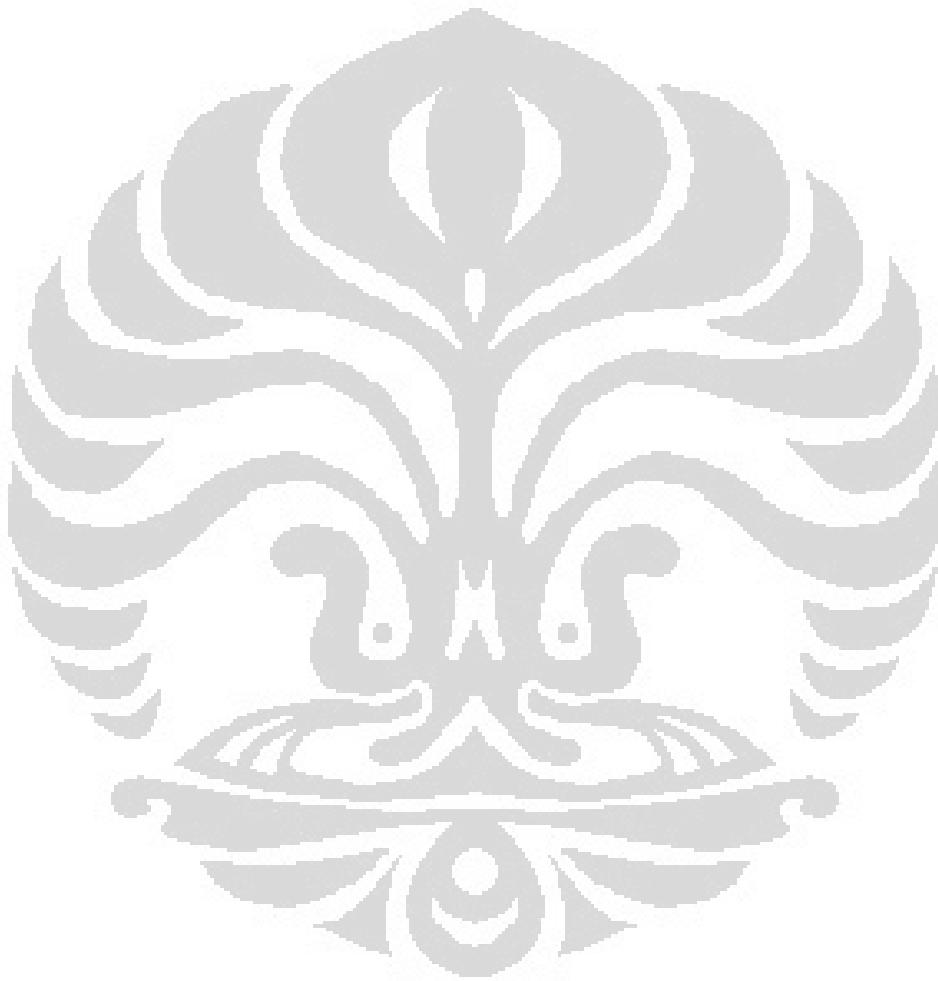
Gambar 1.1 Persentase Nilai Cedera Yang Sering Terjadi Pada Pengendara Sepeda Pada Beberapa Bagian Tubuh	2
Gambar 1. 1 Diagram Kerterkaitan Masalah	5
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi	8
Gambar 2.1 Beberapa variabel antropometri struktural	14
Gambar 2.2 <i>Interface Software Jack 6.1</i>	16
Gambar 2.3 Diagram Alir Analisis Ergonomi dengan PEI	19
Gambar 2.4 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh	22
Gambar 3.1 Alur pengumpulan dan Pengolahan Data	34
Gambar 3.2 Perhitungan data persentil Antropometri anak-anak kelas 1-5 SD (usia 7-11 tahun)	36
Gambar 3.3 Uji normalitas data tinggi badan siswa	37
Gambar 3.4 desain sepeda anak-anak	38
Gambar 3.5 Tampak samping	38
Gambar 3.6 Tampak atas	39
Gambar 3.7 Alur Perancangan model aktual	41
Gambar 3.8 Langkah membuat Manusia Virtual	42
Gambar 3.9 Memasukkan ukuran manusia virtual yang diinginkan	42
Gambar 3.10 Tampilan manusia virtual	42
Gambar 3.11 Cara mengimport sepeda dan lintasan	43
Gambar 3.12 Cara Melakukan <i>Human Control</i>	43
Gambar 3. 13 Langkah memberi beban kepada manusia virtual	45
Gambar 3.14 Tampilan <i>Command Box Animation System</i>	45
Gambar 3.15 Hasil SSP pada Desain Aktual	46
Gambar 3.16 Nilai LBA pada Desain Aktual	47
Gambar 3.17 Nilai OWAS pada Desain Aktual	47
Gambar 3.18 Nilai RULA pada Desain Aktual	48
Gambar 4.1 Variabel Ubahan Sepeda Anak-Anak	51
Gambar 4.2 Konfigurasi 1	52
Gambar 4.3 Grafik SSP Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak	53

Gambar 4.4 Nilai LBA Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak	54
Gambar 4.5 Nilai RULA Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak	54
Gambar 4.6 Nilai OWAS Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak	55
Gambar 4.7 Grafik SSP Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar	56
Gambar 4.8 Konfigurasi 2	57
Gambar 4.9 Konfigurasi 3	59
Gambar 4.10 Konfigurasi 4	61
Gambar 4.11 Konfigurasi 5	63
Gambar 4.12 Konfigurasi 6	65
Gambar 4.13 Konfigurasi 7	67
Gambar 4.14 Konfigurasi 8	69
Gambar 4.15 Konfigurasi 9	71
Gambar 4.16 Postur Tubuh Pengendara pada Desain Konfigurasi 2 dan 7	74
Gambar 4.17 Grafik Nilai PEI Penelitian Sepeda Anak-Anak terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun	80

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Cedera Tubuh Yang Sering Terjadi Ketika Bersepeda.....	2
Tabel 2.1 Kode dan Skor akhir nilai OWAS	23
Tabel 2.2 Kode dan Skor akhir nilai RULA	24
Tabel 3.1 Dimensi-dimensi data antropometri anak yang diukur	35
Tabel 3.2 Nilai persentil data antropometri anak	36
Tabel 3.3 Persen kemiringan lintasan sepeda UI	39
Tabel 3.4 Keterangan Konfigurasi Desain Anak-Anak	49
Tabel 4.1. Keterangan Konfigurasi Desain Anak-Anak	51
Tabel 4.2 Nilai Analisis Konfigurasi 2 pada Lintasan Menanjak	57
Tabel 4.3 Nilai Analisis Konfigurasi 2 pada Lintasan Mendatar	58
Tabel 4.4 Nilai Analisis Konfigurasi 3 pada Lintasan Menanjak	59
Tabel 4.5 Nilai Analisis Konfigurasi 3 pada Lintasan Mendatar	60
Tabel 4.6 Nilai Analisis Konfigurasi 4 pada Lintasan Menanjak	61
Tabel 4.7 Nilai Analisis Konfigurasi 4 pada Lintasan Mendatar	62
Tabel 4.8 Nilai Analisis Konfigurasi 5 pada Lintasan Menanjak	63
Tabel 4.9 Nilai Analisis Konfigurasi 5 pada Lintasan Mendatar	64
Tabel 4.10 Nilai Analisis Konfigurasi 6 pada Lintasan Menanjak	65
Tabel 4.11 Nilai Analisis Konfigurasi 6 pada Lintasan Mendatar	66
Tabel 4.12 Nilai Analisis Konfigurasi 7 pada Lintasan Menanjak	67
Tabel 4.13 Nilai Analisis Konfigurasi 7 pada Lintasan Mendatar	68
Tabel 4.14 Nilai Analisis Konfigurasi 8 pada Lintasan Menanjak	69
Tabel 4.15 Nilai Analisis Konfigurasi 8 pada Lintasan Mendatar	70
Tabel 4.16 Nilai Analisis Konfigurasi 9 pada Lintasan Menanjak	71
Tabel 4.17 Nilai Analisis Konfigurasi 9 pada Lintasan Mendatar	72
Tabel 4.18 Nilai LBA pada Pengendara Sepeda Anak-Anak	73
Tabel 4.19 Nilai RULA untuk Semua Desain Kofigurasi Desain Sepeda Anak-Anak	75
Tabel 4.20 Detail RULA Konfigurasi Sepeda Anak-Anak	75
Tabel 4.21 Detail OWAS Konfigurasi Sepeda Anak-Anak	77

Tabel 4.22 Nilai PEI Penelitian Sepeda Anak-Anak terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun	79
Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Desain Sepeda Anak-Anak Terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun	80



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil data antropometri
Lampiran 2	Nilai LBA konfigurasi desain aktual pada lintasan menanjak
Lampiran 3	Nilai LBA konfigurasi desain aktual pada lintasan mendatar
Lampiran 4	Nilai LBA konfigurasi desain usulan pada lintasan menanjak
Lampiran 5	Nilai LBA konfigurasi desain usulan pada lintasan mendatar
Lampiran 6	Nilai <i>Capability Summary Chart SSP</i> pada lintasan menanjak
Lampiran 7	Nilai <i>Capability Summary Chart SSp</i> pada lintasan mendatar
Lampiran 8	Nilai OWAS seluruh desain
Lampiran 9	Nilai RULA seluruh desain
Lampiran 10	Tampilan postur tubuh seluruh Konfigurasi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

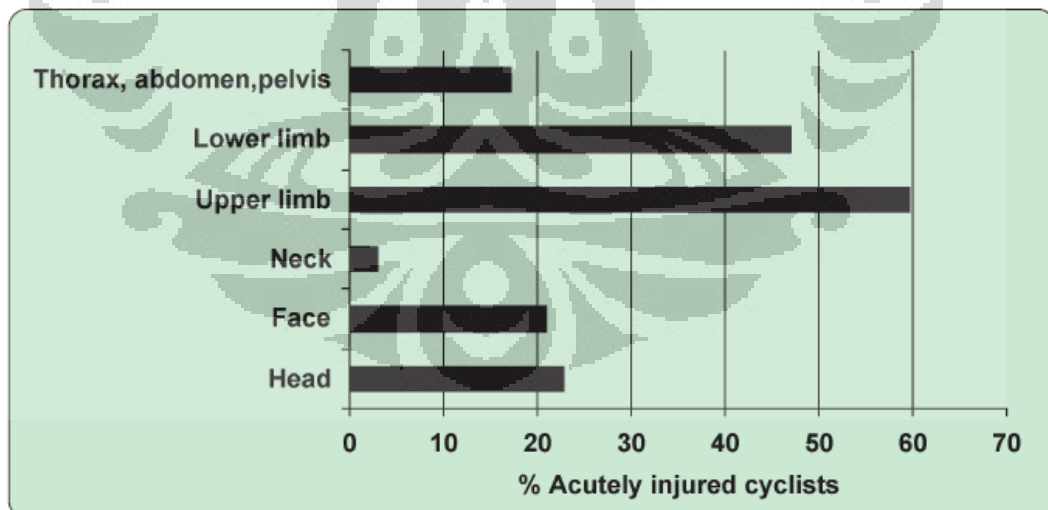
Sepeda adalah alat transportasi yang sangat umum dan luas penggunaannya di dunia yang digunakan oleh semua orang dari berbagai kalangan usia. Sekarang ini, bersepeda dianggap bukan hanya alat transportasi yang sehat dan efisien tetapi juga rekreasi dan aktifitas olah raga yang populer. Pengembangan dari bersepeda selama ini menjadikan berbagai macam desain, seperti sepeda *sport/road*, sepeda gunung, sepeda BMX, sepeda *standard utility (commuter)*, dan sepeda *hybrid* sekarang. Semua sepeda yang disebutkan di atas dispesialisasikan berdasarkan *basic diamond frame bicycle*, didesain sesuai dengan kebutuhan pengguna sepeda. Kebutuhan dan batasan ini sangat berhubungan dengan efisiensi, *power*, keamanan, dan kenyamanan bersepeda.

Efisiensi dan nyaman di sini tidak hanya berdasarkan desain sepeda itu sendiri, tetapi juga berdasarkan *bicycle fit*-nya. *Bicycle fit* mencakup ukuran kerangka sepeda, kemudian penyesuaian variasi dimensi, seperti ketinggian tempat duduk, posisi pengendara berdasarkan data antropometri si pengendara sepeda, sehingga postur yang paling tepat dapat diperoleh.

Bicycle fit juga sangat penting dalam hal mencegah kecelakaan. Beberapa masalah kesehatan dan gangguan lain yang berhubungan dengan sepeda adalah karena kurangnya *bicycle fit* dan kesalahan postur saat bersepeda. Masalah ini selalu diobservasi di daerah tertentu seperti leher, punggung bawah, lengan bawah, dan paling kering di lutut yang sering disebut sebagai *musculoskeletal disorders*. Kecelakaan atau cedera ini bisa mencapai 35-90% (untuk nilai lebih spesifik dapat dilihat pada gambar grafik di bawah). Tabel di bawah ini menjelaskan bagian tubuh yang sering cedera ketika mengendarai sepeda dan apa saja penyebabnya.

Tabel 1.1 Cedera Tubuh Yang Sering Terjadi Ketika Bersepeda

Gangguan Kesehatan	Kontribusi Posisi
Sakit Leher bagian belakang	Terlalu jauh menjangkau stang, stang terlalu rendah dan terlalu tegang
Sakit pada tangan	Terlalu besar tekanan pada stang, stang terlalu rendah, sadel yang terlalu jauh ke depan
Sakit punggung belakang	Terlalu tegang
tibialis anterior tendonopathy	Posisi sadel terlalu tinggi
Achilles tendonopathy	Posisi sadel terlalu tinggi Atau sadel terlalu rendah
Kebas pada bagian perieal	Posisi sadel terlalu tinggi



Gambar 1.1 Persentase Nilai Cedera Yang Sering Terjadi Pada Pengendara Sepeda Pada Beberapa Bagian Tubuh

Sumber: Schwellnus MP and Derman EW, 2005

Musculoskeletal disorders (MSDs) secara garis besar, merupakan cedera yang dialami oleh otot, saraf, tendon, ligamen, kartilago, atau piringan sendi tubuh. MSDs umumnya muncul bukan karena kejadian tiba-tiba (seperti terpeleset atau jatuh), namun merupakan akumulasi dari kegiatan/ postur yang kurang baik. MSDs dapat disebabkan karena aktivitas yang memerlukan tenaga besar, gerakan yang berulang-ulang, ataupun postur tubuh yang kurang baik, yang dilakukan dalam waktu lama dan frekuensi sering.

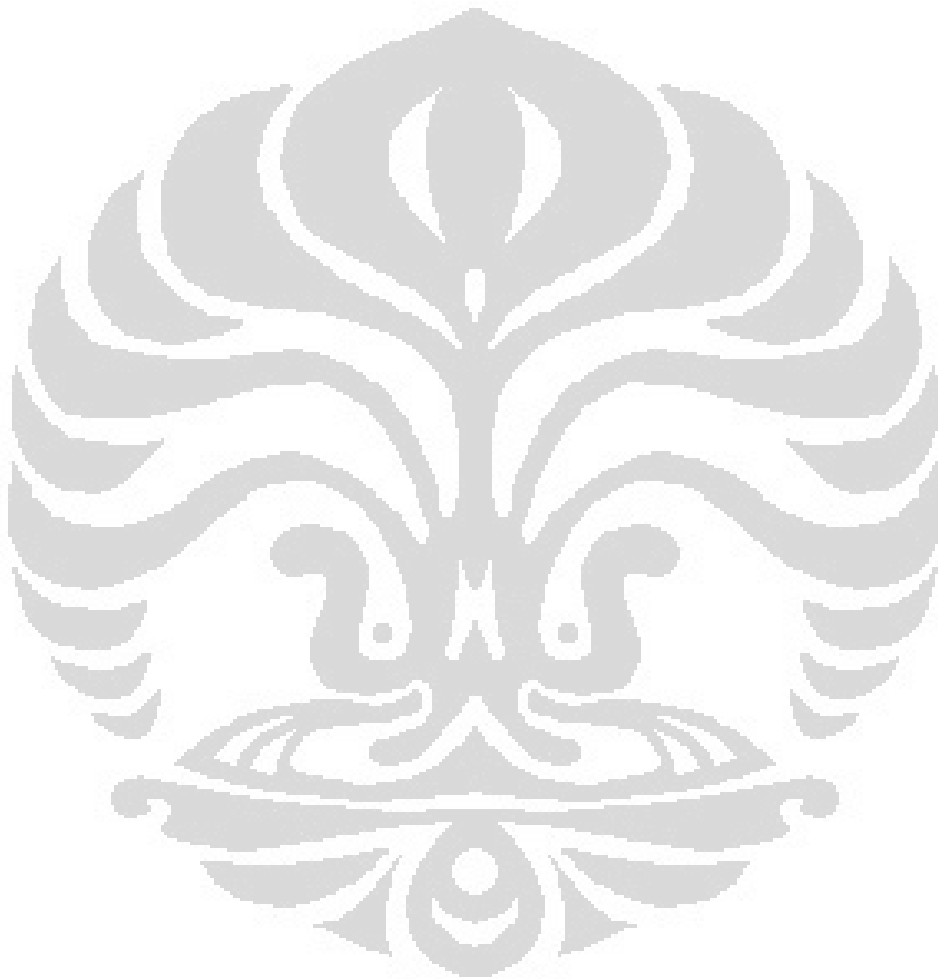
Pada kasus sepeda anak-anak *bicycle fit* yang tepat merupakan hal yang sangat penting untuk keamanan dan pencegahan kecelakaan. Keamanan sangat penting karena anak-anak belum memiliki pengalaman bersepeda yang baik dan cenderung sering mengalami kecelakaan. Lagi pula, sistem otot dan tulang anak-anak dalam tahap pertumbuhan, sehingga ketidaknyamanan bersepeda akan sangat kelihatan jelas dampaknya dan kecelakaan bersepeda akan berakibat fatal dan mungkin konsekuensinya permanen.

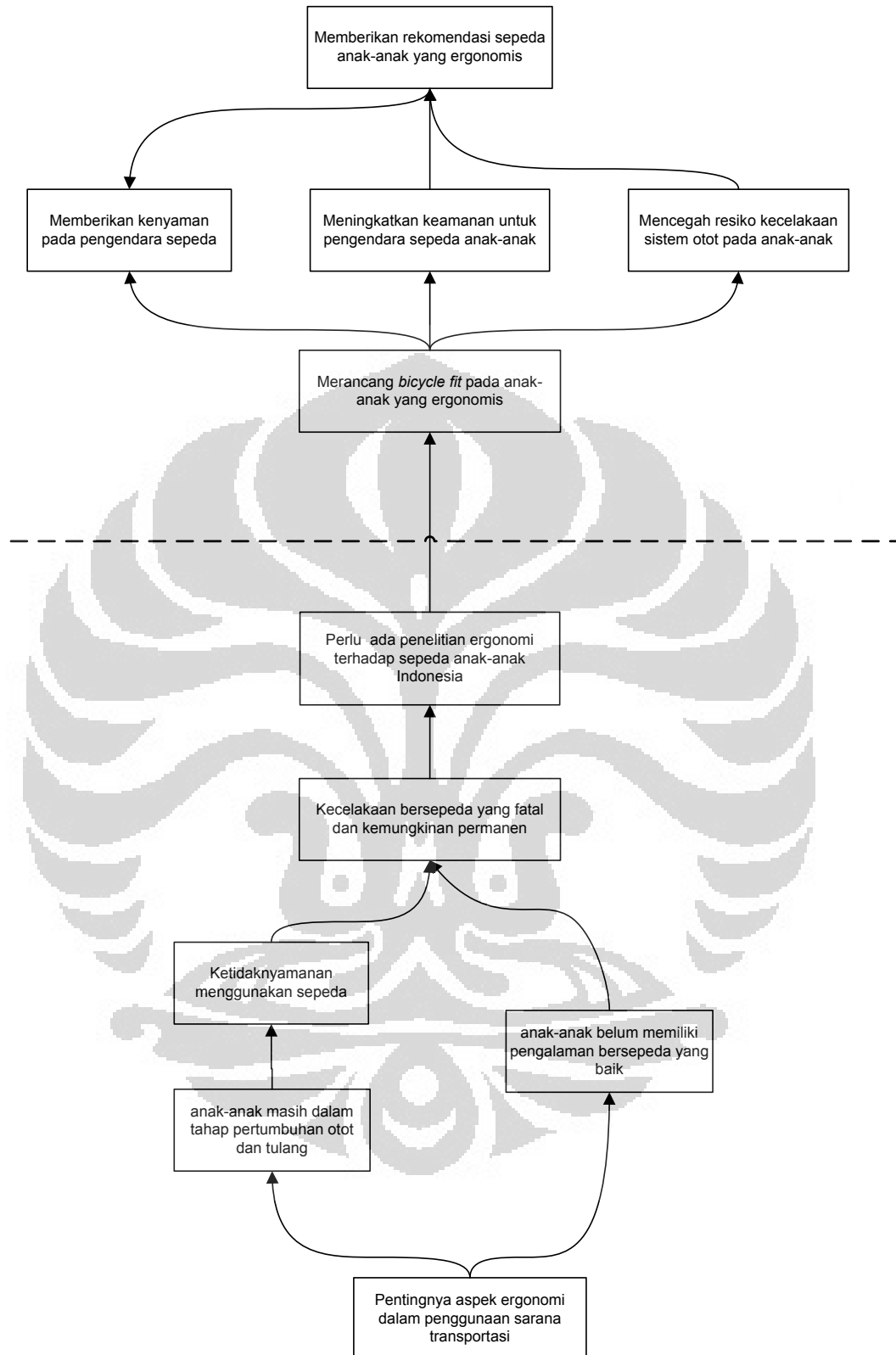
Oleh karena itu, sepeda yang tepat dan layak sangat penting untuk performa, efisiensi, kenyamanan, dan pencegahan kecelakaan saat bersepeda. Sehingga dibutuhkan sepeda yang ergonomis untuk anak-anak.

Ergonomi adalah salah satu ilmu yang mempelajari interaksi manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai sehingga dapat berperan untuk menyelesaikan masalah ketidakserasian manusia dengan peralatan yang dipakai (Bridger R.S, 2003). Analisis aspek ergonomi yang akan dilakukan terhadap sepeda anak-anak ini akan memperhatikan tiga aspek penting dalam desain sepeda yang berhubungan erat dengan pengendaranya yaitu stang (*handle bar*), bangku (*saddle*), dan pedal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis ketegangan otot/syaraf (*muscle tension*) yang dialami oleh pengendara saat mengendarai sepeda. Ketegangan otot/syaraf (*muscle tension*) memiliki kaitan dengan kenyamanan seseorang saat mengendarai sepeda dan menunjukkan apakah desain sepeda anak-anak sudah ergonomis bagi penggunaannya sehingga nyaman dan aman dipakai.

1.2. Diagram Keterkaitan Masalah

Diagram keterkaitan dibuat melihat gambaran umum bagaimana masalah-masalah yang ada saling berhubungan. Dengan adanya diagram keterkaitan ini, maka dapat diketahui apa tujuan yang ingin dicapai. Di bawah ini merupakan diagram keterkaitan analisis ergonomis sepeda anak-anak dengan menggunakan teknik *virtual human modeling*.





Gambar 1. 2 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka didapatkan permasalahan yang akan dibahas di dalam skripsi ini yaitu perlu adanya penelitian ergonomi terhadap sepeda anak-anak terhadap anak-anak usia 7-11 tahun. Sehingga didapatkan hipotesis awal adalah sepeda anak-anak belum memenuhi aspek ergonomis yang dapat memberikan kenyamanan pengendara sepeda, dan meminimalkan kemungkinan cedera dan kelelahan pada pengendaranya.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Melakukan simulasi *virtual model* dari proses mengendarai sepeda oleh anak-anak untuk analisis kondisi spesifikasi sepeda yang ergonomis.
2. Melakukan analisis ergonomis terhadap desain sepeda aktual dan konfigurasi terhadap pengendara anak-anak usia 7-11 tahun.
3. Memberikan hasil berupa rekomendasi rancangan desain sepeda yang telah memenuhi standar ergonomi dan memberikan kenyamanan bagi anak-anak.

1.5. Batasan Masalah

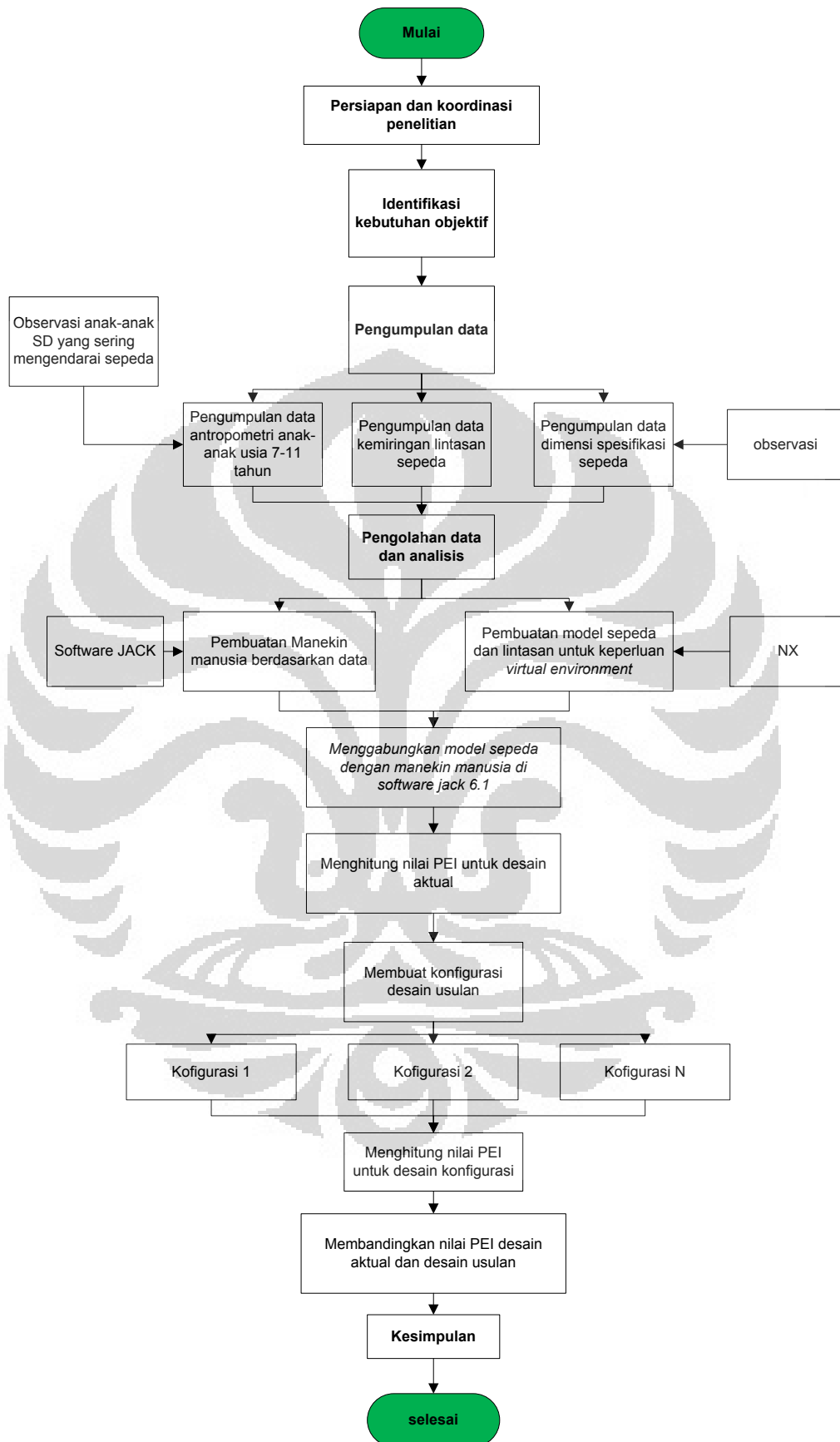
Dalam melakukan suatu penelitian, diperlukan adanya batasan masalah yang bertujuan agar penelitian yang dilakukan dapat memperoleh hasil yang sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu, batasan masalah yang dibuat dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Objek utama yang akan diamati adalah desain prototipe sepeda anak-anak
2. Observasi antropometri terhadap pengendara yang terdiri dari anak-anak dengan *sample* yang memadai sesuai teknik *sampling* dalam statistik
3. Hasil akhir berupa rekomendasi rancangan ergonomis dari sepeda anak-anak yang merupakan hasil simulasi dari *human modelling* dengan menggunakan *software jack 6.0* dengan merubah ketinggian stang dan sadel sepeda tersebut
4. Tidak memperhitungkan faktor biaya, dan cuaca

1.6. Metodologi Penelitian

Adapun metodologi penelitian dalam pembuatan skripsi ini adalah:

1. Tahap Pendahuluan, yang meliputi:
 - a. Persiapan dan Koordinasi Penelitian
 - b. Identifikasi Kebutuhan Objektif
2. Tahap Pengumpulan Data
Tahap ini merupakan tahap pengambilan data-data yang diperlukan seperti data spesifikasi sepeda anak-anak dan antropometri anak-anak.
3. Tahap Pengolahan Data dan Analisis
 - a. Pembuatan model sepeda untuk keperluan *virtual environment*
 - b. Pembuatan manekin manusia untuk keperluan *virtual environment*.
Data antropometri yang sudah didapatkan dijadikan sebagai data masukan untuk *software jack 6.1*
 - c. Manekin manusia digabung dengan model sepeda yang telah ada di *software jack 6.1*.
 - d. Mendapatkan nilai PEI (*Posture Evaluation Index*) untuk setiap desain aktual maupun rekomendasi sepeda yang ergonomis.
 - e. Melakukan analisis terhadap nilai PEI yang didapatkan.
4. Kesimpulan
Pada tahap ini, hasil analisis dibentuk menjadi kesimpulan yaitu *bicycle fit* untuk anak-anak.



Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi

1.7.Sistematika Penelitian

Secara garis besar, laporan akhir ini terdiri dari beberapa bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 – PENDAHULUAN

Pada Bab 1 terdapat penjelasan mengenai latar belakang dari topik yang diambil, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan dan metode penelitian, serta batasan permasalahan.

BAB 2 – LANDASAN TEORI

Bab 2 berisikan landasan teori yang mendukung penelitian ini, di antaranya teori mengenai ergonomi, teori mengenai antropometri, teori mengenai software jack 6.1, teori mengenai perkembangan sepeda, dan gaya kayuh sepeda.

BAB 3 – METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 terdapat rancangan penelitian, dimana akan dijelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini dan juga akan dibahas mengenai prosedur penelitian.

BAB 4 –PEMBAHASAN

Pada Bab 4 akan dibahas mengenai analisis dari penelitian yang dilakukan mengenai analisis desain sepeda anak-anak dan usulan desain sepeda yang ergonomis pada anak-anak.

BAB 5 – KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini akan diberikan kesimpulan dan saran terkait dengan penelitian yang dilakukan.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Ergonomi

Ergonomi (atau faktor manusia) adalah disiplin ilmu yang berfokus pada pemahaman tentang interaksi antara manusia dan elemen lain dari sistem, dan serta profesi yang mengaplikasikan prinsip-prinsip teoritis, data dan metode untuk desain yang mengoptimalkan manusia menjadi *well being* dan sistem secara keseluruhan.

Praktisi ergonomi, *ergonomists*, memberikan kontribusi pada perencanaan, desain, dan evaluasi tugas, pekerjaan, produk, organisasi, lingkungan dan sistem untuk membuat mereka kompatibel sehingga mampu memenuhi kebutuhan dan keterbatasan orang.

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani, *ergon* (kerja) dan *nomos* (hukum), ergonomi adalah disiplin sistem berorientasi, yang sekarang berlaku untuk semua aspek kegiatan manusia.

Ergonomi digolongkan menjadi:

1. Ergonomi Fisik

Ergonomi fisik berkaitan dengan anatomi manusia, anthropometri, karakteristik fisiologis dan biomekanis yang berkaitan dengan aktivitas fisik. Topik-topik yang relevan termasuk postur kerja, penanganan material, gerakan berulang-ulang, pekerjaan yang berhubungan dengan gangguan muskuloskeletal, tata letak tempat kerja, keselamatan dan kesehatan.

2. Ergonomi Kognitif

Ergonomi kognitif berkaitan dengan proses mental, mencari sebagai persepsi, respon memori, penalaran, dan motor, karena mereka mempengaruhi interaksi antara manusia dan elemen lain dari sistem ini topik yang relevan

meliputi beban kerja mental, pengambilan keputusan, kinerja terampil, manusia-komputer interaksi, kehandalan desain manusia, stres kerja dan pelatihan seperti ini mungkin berhubungan dengan sistem manusia.

3. Ergonomi Organisasi

Ergonomi organisasi berkaitan dengan optimalisasi sistem *sociotechnical*, termasuk struktur organisasi, kebijakan, dan proses. Topik-topik yang relevan meliputi komunikasi, manajemen sumber daya, desain pekerjaan, desain waktu kerja, kerja tim, desain partisipatif, ergonomi masyarakat, kerja koperasi, paradigma kerja baru, budaya organisasi, organisasi virtual, telework, dan manajemen kualitas.

2.2 Musculoskeletal Disorder

Work-Related Musculoskeletal Disorder (WMSD), disebut juga *Repetitive Motion Injury* (RMI) atau *Cumulative Trauma Disorder* (CTD), semakin dikenal di dalam dunia ergonomi selama 20 tahun terakhir. RMI pertama kali diperkenalkan pada tahun 1717 oleh Ramazzini di Italia. Ramazzini mendeskripsikan RMI yang dialami oleh juru tulis yang bekerja merupakan hasil dari gerakan tangan yang berulang – ulang, dengan postur tubuh yang terbatas dan tekanan mental yang berlebihan (Franco dan Fusetti, 2004).

Menurut Helander (2003), penyebab WMSD terdiri dari tiga bagian besar, yaitu metode kerja yang tidak sesuai, waktu istirahat yang tidak cukup serta kondisi yang sedang terjadi saat ini memang sudah berada dalam kondisi mengalami cedera atau gangguan. Utamanya, penyebab terjadinya WMSD merupakan kombinasi dari metode kerja yang tidak sesuai sehingga menyebabkan postur kerja yang buruk dan berakibat pada penggunaan kekuatan otot secara berlebihan dan dilakukan secara repetitif tanpa adanya waktu istirahat yang cukup untuk memulihkan kondisi fisik.

Faktor penyebab WMSDs dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu faktor primer, sekunder dan kombinasi. Faktor primer penyebab terjadinya WMSD adalah peregangan otot yang berlebihan, aktivitas berulang, sikap kerja tidak alamiah. Kemudian, faktor - faktor sekunder penyebab terjadinya WMSDs adalah: tekanan, terjadinya tekanan langsung pada jaringan otot yang lunak,

mikrolimat, paparan udara panas dan dingin yang tidak sesuai, getaran, dengan frekuensi tinggi menyebabkan kontraksi otot bertambah, yang menyebabkan peredaran darah tidak lancar dan penimbunan asam laktat dan akhirnya timbul rasa nyeri otot (Suma'mur, 1982). Terakhir, faktor kombinasi penyebab terjadinya WMSD adalah sebagai berikut: usia, pada umumnya keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 25 – 60 tahun (Choffin, 1979), jenis kelamin, secara fisiologis kemampuan otot wanita lebih rendah daripada pria, kebiasaan merokok, semakin lama dan semakin tinggi frekuensi merokok, semakin tinggi pula tingkat keluhan otot yang dirasakan, kesegaran jasmani, kekuatan fisik dan ukuran tubuh (anthropometri).

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

2.3 Antropometri

"Antropometri" kata berarti pengukuran tubuh manusia. Kata ini berasal dari bahasa Yunani "*anthropos*" (manusia) dan '*metron*' (mengukur). Data antropometri yang digunakan dalam ergonomi untuk menspesifikasikan dimensi fisik ruang kerja, perabot peralatan, dan pakaian untuk Memastikan bahwa ketidaksesuaian antara dimensi fisik peralatan dan produk dan dimensi pengguna yang sesuai dihindari.

Menurut cara pengukuran dan kegunaannya, data anthropometri dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe, yaitu:

1. Data anthropometri struktural

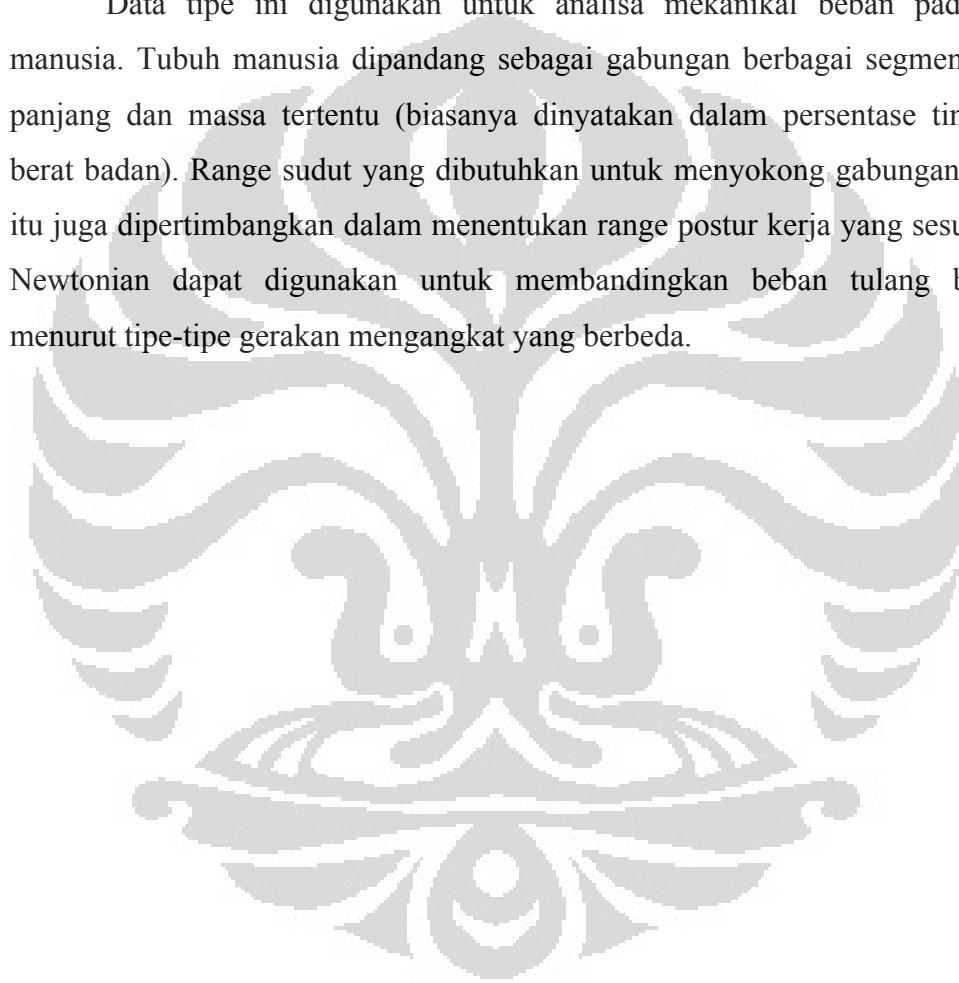
Data ini merupakan data ukuran tubuh manusia dalam posisi *fix* (statis). Pengukuran dilakukan pada titik tubuh terhadap suatu titik di ruangan (misalnya tinggi lutut dari lantai). Data anthropometri struktural digunakan misalnya untuk merancang dimensi perabot, range penyesuaian (*adjustment*) perabot, dan range ukuran pakaian.

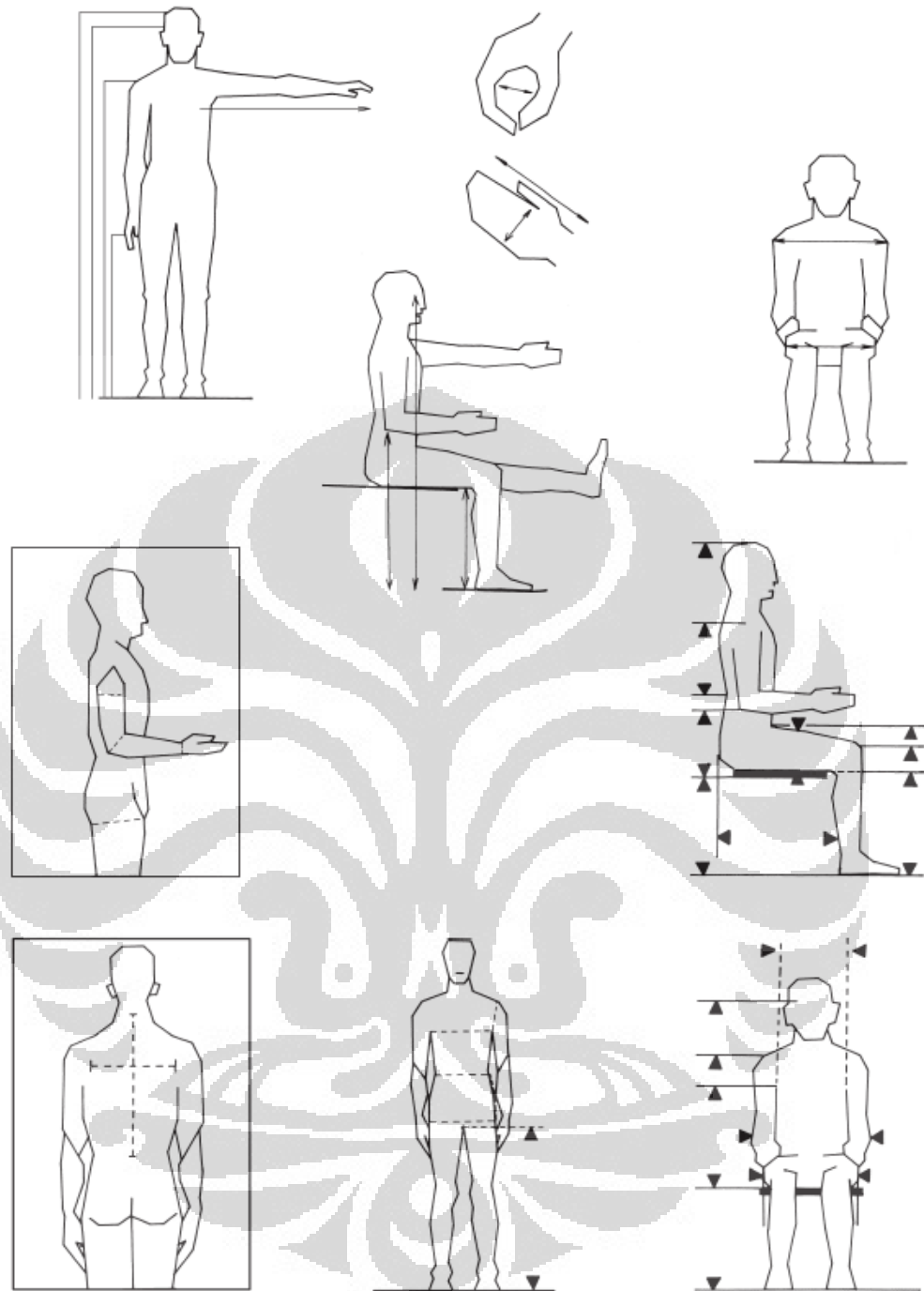
2. Data anthropometri fungsional

Data fungsional merupakan data ukuran tubuh manusia saat bergerak. Pergerakan manusia diukur terhadap titik acuan fix, misalnya mengukur area jangkauan tangan pada saat berdiri atau duduk. Data anthropometri fungsional berguna untuk merancang ruang kerja dan memposisikan peralatan didalamnya, seperti perancangan desain kokpit pesawat, interior kendaraan, dan panel kontrol pada industri.

3. Data anthropometri Newtonian

Data tipe ini digunakan untuk analisa mekanikal beban pada tubuh manusia. Tubuh manusia dipandang sebagai gabungan berbagai segmen dengan panjang dan massa tertentu (biasanya dinyatakan dalam persentase tinggi dan berat badan). Range sudut yang dibutuhkan untuk menyokong gabungan segmen itu juga dipertimbangkan dalam menentukan range postur kerja yang sesuai. Data Newtonian dapat digunakan untuk membandingkan beban tulang belakang menurut tipe-tipe gerakan mengangkat yang berbeda.





Gambar 2.1 Beberapa variabel antropometri struktural

Sumber: Bridger.R.S, 2003

2.4 Persentil

Untuk mengklasifikasikan ukuran anthropometri manusia, umumnya data dikategorikan dalam persentil. Persentil adalah nilai yang menunjukkan pada

persentase manakah suatu data berada diantara populasinya. Misalnya persentil 5, berarti 5% populasi berada di bawah angka ini.

Data anthropometri sendiri biasanya dibagi menjadi tiga kelompok persentil, yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95. Persentil 5 digunakan untuk mewakili ukuran minimum populasi, persentil 50 menunjukkan ukuran rata-rata, sedangkan persentil 95 mewakili ukuran maksimum populasi.

Perhitungan persentil dapat dilakukan dengan menggunakan rumus statistik. Pada penelitian ini, untuk memudahkan, digunakan Microsoft Excel, dengan langkah-langkah sederhana:

1. Klik pada sel kosong di *spreadsheet* dimana data berada.
2. Ketik “=percentile(“
3. Ketik range kolom/baris dimana data berada, atau langsung *drag* pada kolom tersebut, misalnya data berada pada sel A1 hingga A10, maka ketik “A1:A10”
4. Ketik tanda koma (atau titik koma) setelahnya, diikuti dengan persentil yang diinginkan. Misalnya untuk persentil 95, ketik “0,95”.
5. Ketik tanda tutup kurung “)”, lalu tekan Enter.
6. Diperolehlah angka persentil yang dicari.

2.5 Analisis Ergonomi pada Software Jack 6.1

2.5.1 Software Jack 6.1

Software JACK merupakan salah satu aplikasi *virtual environment* yang berfungsi untuk mensimulasikan atau memodelkan rangkaian pekerjaan.. *JACK* mengintegrasikan *virtual environment* dengan *virtual human* untuk menganalisis aspek ergonomis dalam kerja maupun perancangan produk.



Gambar 2.2 Interface Software Jack 6.1

Sumber: Siemens PELM Software Inc.

Software Jack memungkinkan penggunaanya untuk membuat model manusia virtual. Kemudian, model manusia virtual tersebut dibuat sedemikian rupa agar dapat memiliki postur dan rangkaian pekerjaan seperti dalam kondisi di dunia nyata. Dengan modul *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang berfungsi untuk menganalisa kondisi model manusia virtual dari sisi ergonomi, dapat diketahui estimasi risiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi; kemudian TAT dapat memberikan intervensi untuk mengurangi risiko – risiko tersebut. Selain itu, modul TAT dapat menunjukkan batasan maksimal kemampuan pekerja dalam mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membengkokkan ketika melakukan pekerjaan. Pada *Software* Jack 6.1 terdapat 9 tools analisa ergonomic yang dapat digunakan, yaitu:

1. *Fatigue analysis*, membantu kita untuk memperkirakan apakah waktu yang diberikan cukup untuk memulihkan pekerja sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja. *Tools* ini juga dapat menghitung seberapa durasi waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan itu.
2. *Lower back analysis*, membantu kita untuk menganalisis dan mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan pembebanan tertentu. Dengan analisis ini maka kita akan mengetahui seberapa besar pengaruh postur dan beban yang dialami manusia tersebut. Sehingga

kita dapat mengurangi resiko yang dialami oleh tulang belakang dengan melakukan perubahan postur dan bebannya.

3. *Manual material handling*, membantu kita untuk mengevaluasi dan mendesain pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang.
4. *Metabolic energy expenditure*, membantu kita untuk memprediksi kebutuhan energi yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan.
5. *NIOSH lifting analysis*, untuk mengevaluasi kegiatan mengangkat simetris dan asimetris suatu pekerjaan.
6. *Ovako working posture analysis (OWAS)*, menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan suatu operasi kerja dan mengukur tingkat urgensi perbaikan posisi kerja tersebut.
7. *Predetermined time standards*, untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*.
8. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*, untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami resiko sakit atau kelainan pada tubuh bagian atas.
9. *Static strength prediction tool* membantu kita untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan anthropometri.

Software Jack harus benar-benar dapat merepresentasikan keadaan di dunia nyata, pengerjaan model harus dilakukan secara berurutan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Membangun sebuah lingkungan virtual.

Lingkungan kerja, termasuk semua peralatan yang digunakan dalam suatu rangkaian pekerjaan dimasukkan ke dalam *software Jack* untuk membentuk lingkungan virtual yang menyerupai kondisi di dunia nyata. Proses ini dapat dilakukan dengan cara mengimpor file benda – benda kerja ke dalam *software Jack 6.1*.

2. Menciptakan manusia virtual.

Proses pembuatan model manusia virtual dalam *software* Jack 6.1 hanya diperlukan data antropometri tinggi badan saat berdiri dan berat badan saja. *Software* Jack akan dengan sendirinya membuat ukuran – ukuran tubuh lainnya yang kemudian menghasilkan model manusia yang proporsional sesuai dengan database antropometri yang dimiliki oleh *software* Jack.

3. Memposisikan manusia *virtual* di dalam lingkungan *virtual* tersebut.

Untuk memposisikan manusia virtual dalam lingkungan virtual dapat dilakukan dengan mudah, karena *software* Jack dilengkapi dengan modul move dan juga dengan modul human control beserta adjust joint, model manusia virtual dapat dikondisikan agar memiliki rupa postur yang menyerupai aslinya.

4. Memberikan tugas kepada manusia *virtual* tersebut.

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

5. Menganalisa performa manusia *virtual* tersebut.

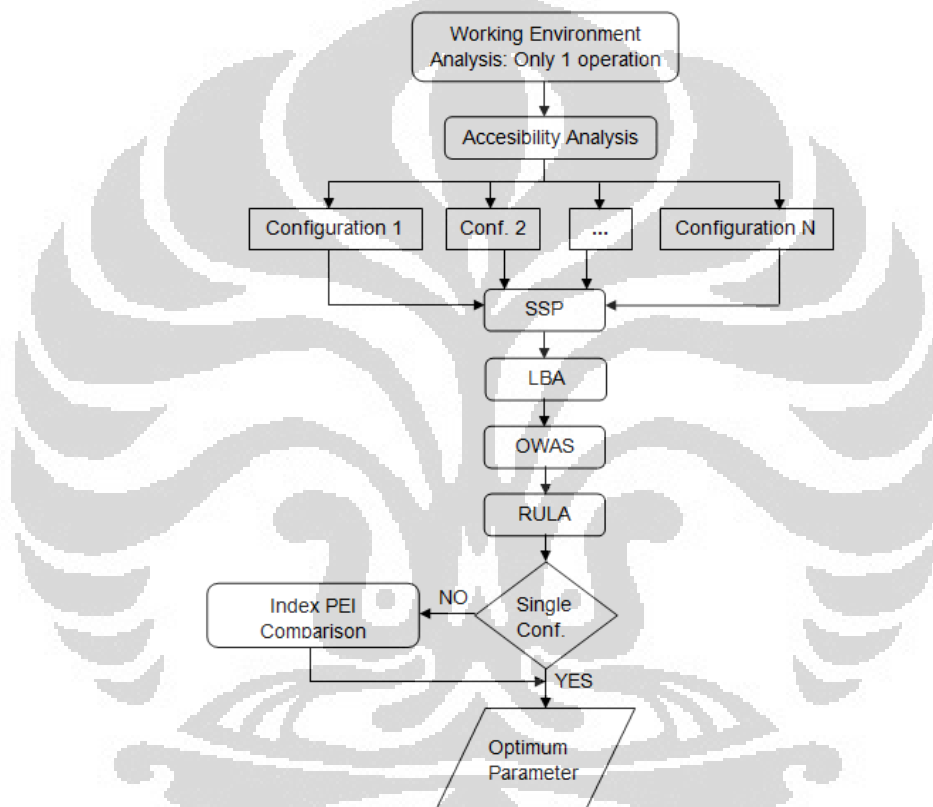
Analisa performa dilakukan setelah model selesai dibuat, dan analisis dilakukan oleh modul TAT yang telah disediakan oleh *jack 6.1*.

Penggunaan Jack sebagai *software* yang dapat menganalisis kondisi ergonomis dari suatu rangkaian dan lingkungan kerja, dapat membawa manfaat dan keuntungan, terutama bagi perusahaan atau pabrik yang menggunakan *software* ini. Modul *animation*, model manusia virtual dapat melakukan serangkaian pekerjaan yang sistematis, dalam satuan waktu.

2.5.2 Metode *Posture Evaluation Index* (PEI)

Lingkungan kerja yang baik adalah lingkungan kerja yang dapat keserasian dalam hal kenyamanan dan keamanan operator yang memiliki ukuran tubuh beragam. Optimasi dapat dilakukan pada lingkungan kerja dengan cara meninjau lingkungan kerja pada saat operator melakukan kerja, atau melakukan simulasi pada *virtual environment*. Dengan berdasarkan kepada alat ukur penilaian *Task Analysis Toolkit* yang dimiliki *software* Jack 6.1, dikembangkanlah metode *Posture Evaluation Index* (Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006). Metode PEI merupakan metode yang mengintegrasikan antara skor penilaian *Lower Back*

Analysis, dengan dua metode penilaian postur tubuh lainnya, yaitu OWAS dan RULA. Hasil integrasi antar ketiga metode tersebut memberikan suatu penilaian yang menyeluruh terhadap sebuah operasi kerja dalam suatu lingkungan kerja. Metode PEI digunakan untuk menetapkan optimasi terhadap suatu operasi dalam lingkungan kerja ditinjau dari sisi keilmuan ergonomi. Namun, secara umum PEI tidak dapat digunakan apabila terdapat lebih dari satu operasi pada area kerja yang ada, karena hanya satu operatorlah yang boleh ditinjau. **Gambar 2.3** menunjukkan diagram alir analisis ergonomi dengan PEI.



Gambar 2.3 Diagram Alir Analisis Ergonomi dengan PEI.

Posture Evaluation Index (PEI) menilai optimalisasi antara solusi perbaikan berupa kombinasi-kombinasi postur pada sebuah operasi di stasiun kerja. Dengan bantuan *software* Jack yang lebih memudahkan dalam membuat kemungkinan model perbaikan yang akan dibuat, kondisi kerja aktual dapat dikomparasikan dengan model konfigurasi yang telah dibuat, sehingga dapat diketahui risiko – risiko cedera apa saja yang dapat terjadi pada operator kerja.

Secara garis besar, tahapan dalam membuat model evaluasi operasi kerja dengan metode PEI terdiri dari 7 fase.

1. Analisis lingkungan kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja. Pada tahapan ini dilakukan tinjauan terhadap lingkungan kerja, termasuk gerakan – gerakan kerja yang terjadi selama pekerjaan berlangsung. Pada fase ini peneliti harus mencoba untuk memahami faktor-faktor yang akan berkontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil. Perlu dipikirkan pula alternatif – alternatif gerakan yang mungkin terjadi dalam rangkaian operasi kerja.

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 agar dapat dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. 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. Analisis *Static Strength Prediction* (SSP)

Pada tahapan ini maka 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 minimal 90%. Pekerjaan yang memiliki skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut.

4. Penilaian *Low Back Analysis* (LBA)

Low Back Analysis (LBA) merupakan modul analisa untuk mengevaluasi beban yang diterima oleh ruas – ruas tulang punggung. Evaluasi dilakukan secara real time, seiring perubahan *flexion* yang terjadi pada ruas – ruas tulang punggung model manusia virtual yang diujikan. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu sebesar 3400 N.

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

Dalam tahapan penilaian OWAS, tingkat kenyamanan pekerja ketika melakukan suatu pekerjaan dinilai dengan tingkat standar tingkat kenyamanan yang terdiri dari 4 tingkatan indeks kenyamanan. Metode ini juga memberikan rekomendasi apakah tindakan perbaikan dari postur kerja diperlukan atau tidak. Dalam metode PEI, indeks nilai tingkat kenyamanan yang dihasilkan akan dibandingkan dengan tingkat kenyamanan maksimum dalam metode OWAS, yaitu 4.

Metode ini menilai empat bagian tubuh yang dirangkum dalam 4 digit kode. Contoh kode misalnya 1121, 2121, dan sebagainya. Angka pertama dalam kode untuk menjelaskan postur kerja bagian *back* (tulang punggung), digit kedua adalah bagian *upper limb*, digit ketiga *lower limb* dan terakhir adalah beban yang digunakan selama proses kerja berlangsung. Berikut ini adalah gambaran dan detail kode OWAS.

Kode I	<p>Back</p> 
	<p>PUNGGUNG</p> <p>1 = Lurus, netral 2 = cenderung ke depan (bungkuk) atau ke belakang 3 = memutar (twist) atau cenderung ke samping 4 = bungkuk (bent) dan memutar (twist)</p>
Kode II	<p>Arms</p> 
	<p>BAGIAN TUBUH ATAS (Tangan)</p> <p>1 = Kedua tangan di bawah bahu 2 = Satu tangan berada pada atau di atas bahu 3 = Kedua tangan berada pada atau di atas bahu</p>
Kode III	<p>Legs</p> 
	<p>BAGIAN TUBUH BAWAH (Kaki)</p> <p>1 = Duduk 2 = Berdiri dengan kedua kaki lurus 3 = Berdiri lebih ditopang dengan satu kaki 4 = Berdiri atau jongkok dengan kedua kaki tertekuk 5 = Berdiri atau jongkok dengan satu kaki tertekuk 6 = Berlutut dengan satu atau kedua kaki 7 = Berjalan atau bergerak</p>
Kode IV	<p>BEBAN</p> <p>1 = Sama dengan atau kurang dari 10 kg 2 = 10-20kg 3 = Lebih dari 20 kg</p>

Gambar 2.4 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

(Sumber: Waldemar Karwowski, 2001, telah diolah kembali)

Setelah mendapatkan nilai – nilai dari keempat parameter diatas, dilakukan perhitungan untuk menghasilkan skor akhir OWAS. Skor akhir ini memiliki range

nilai dari 1 hingga 4, dengan keterangan dari masing – masing skor dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Kode dan Skor akhir nilai OWAS

Kode	Keterangan	Penjelasan
1	Normal posture	Tindakan perbaikan tidak diperlukan
2	Slightly harmful	Tindakan perbaikan diperlukan di masa datang
3	Distinctly harmful	Tindakan perbaikan diperlukan segera
4	Extremely harmful	Tindakan perbaikan diperlukan secepat mungkin

6. Penilaian *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.

Penilaian RULA pada bagian tubuh manusia pada dasarnya dibagi menjadi 2 bagian besar. Bagian – bagian tersebut adalah kelompok A dan kelompok B. Masing – masing kelompok memiliki anggota tubuh yang menjadi objek penilaian. Kelompok A terdiri dari bagian lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Sedangkan kelompok B terdiri dari bagian leher, punggung, dan kaki. Masing – masing anggota tubuh pada kedua kelompok tersebut akan mendapatkan skor berdasarkan postur tubuh yang terbentuk selama pekerjaan berlangsung. Kemudian dengan sistem penilaian standar RULA, skor masing – masing anggota tubuh tersebut dikombinasikan untuk mendapatkan nilai kelompok, dan kemudian menghasilkan nilai *grand score* RULA.

Tabel 2.2 Kode dan Skor akhir nilai RULA

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

7. Perhitungan skor PEI

PEI merupakan metode pengukuran postur yang merupakan hasil integrasi dari hasil penilaian menggunakan metode *Low Back Analysis*, OWAS, dan RULA yang dirangkum ke dalam tiga variabel adimensional I_1 , I_2 dan I_3 . Variabel I_1 menunjukkan evaluasi dari nilai LBA dibandingkan dengan nilai maksimal aman *compression strength* yang mengikuti standar NIOSH (3400 N). Variabel I_2 dan I_3 menunjukkan index OWAS yang dibagi dengan nilai kritisnya ("4") dan index RULA yang dibagi dengan nilai kritisnya ("7"). Berikut ini persamaan dari metode PEI:

$$PEI = I_1 + I_2 + I_3 \times mr$$

Dimana:

$$I_1 = LBA/3400 \text{ N}$$

$$I_2 = OWAS/4$$

$$I_3 = RULA/7$$

$$mr = \text{amplification factor} = 1,42$$

Definisi PEI dan hasil penggunaan dari LBA, OWAS, dan RULA bergantung kepada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- a. Prinsip faktor risiko untuk pekerjaan yang membutuhkan pengangkutan beban.
- b. Postur tubuh yang ekstrim

Variabel – variabel yang berkontribusi dalam menghasilkan nilai PEI, sangatlah bergantung dari postur yang memiliki beragam tingkat ketidaknyamanan. Semakin besar nilai variabel tersebut, semakin besar pengaruhnya untuk memperbesar nilai PEI. Hal ini mengindikasikan, semakin kecil nilai PEI, semakin kecil pula variabel – variabel yang menyusun nilai PEI, yang berarti semakin baik pula postur tubuh manusia ketika melakukan pekerjaan. Untuk menjamin kesesuaian kerja dengan standard keselamatan dan kesehatan, postur dengan nilai index *II* melebihi atau sama dengan 1 dianggap tidak berlaku. Postur yang memiliki nilai tersebut memiliki *compression strength* pada ruas L4 dan L5 tulang belakang yang melebihi standar NIOSH yaitu 3400 N.

2.6 Sejarah Perkembangan Sepeda

Draisienne Hobby Horse/Kuda Mainan diciptakan oleh Karl Drais dari Jerman pada 1817. Cikal bakal sepeda ini menggunakan kemudi, namun belum menggunakan pedal. Cara menggerakannya adalah dengan menapakkan kaki ke tanah seperti berjalan. Walau demikian, dengan kekuatan kaki, *Draisienne* mampu melaju 15km/jam. Pemakai sepeda ini sedikit demi sedikit makin bertambah sampai tahun 1830-an. Tahun 1834 roda *Draisienne* disempurnakan dengan tambahan karet solid.

Macmillan Velocipede menandai babak baru desain sepeda yang digerakkan dengan kayuhan pedal. Kendaraan roda dua ini didesain oleh Kirkpatrick Macmillan, pandai besi dari Skotlandia. Penggunaan pedal menandai kemunculan kategori dari waktu ke waktu. Penambahan pedal memberi sumbangan inovasi bagi kebiasaan orang yang bersepeda masa itu, yakni mengurangi sentuhan ke tanah.

Velocipede jenis ini didesain oleh Pierre dan Ernest Michaux tahun 1860 di Prancis. Dalam kesehariannya Pierre Michaux bekerja memperbaiki kereta kuda,

kereta bayi dan sebagainya. Ia menciptakan desain velocipede yang baru saat pelanggannya datang untuk memintanya memperbaiki draisienne. Saat itulah ia betul-betul menyadari bahwa draisienne adalah kendaraan yang sangat tidak nyaman dan sulit dikendarai. Ia mencermati kesalahan-kesalahan desain draisienne saat melihat Ernest anak laki-lakinya mengalami kesulitan saat mengendarainya di jalan turunan. Ia kemudian memperbarui desain dengan suatu terobosan kreatif yakni menghubungkan langsung roda depan dengan pedal. Ernest Michaux sendiri tercatat sebagai penemu pedal dan crank pada 1861.

Sepeda balap sudah ada sejak lama dan merupakan hasil karya berbagai pembuat sepeda yang mengadu cepat hasil ciptaannya. Sejarah mencatat satu desain sepeda balap kayu beroda besi dengan bell-bearing yang memenangkan balap sepeda tingkat dunia di Parc de Saint-Cloud 31 Mei 1868. Dengan sepeda itu, pembalap Inggris James Moore menjadi yang tercepat di lintasan sepanjang 1,2km. Sejak itu desain sepeda balap terus dikembangkan dan menjadi populer hingga resmi menjadi cabang olah raga Olimpiade Athena 1896.

Phantom diluncurkan di Inggris oleh Reynold pada tahun 1869. Bentuk dan strukturnya sudah menyerupai desain sepeda roda besar (*ordinary cycle*) dengan rangka metal yang ringan, jeruji ganda di tiap ban, karet solid yang melindungi ban, dan bentuk komponen lainnya.

Ariel hasil desain James Starley dan William Hillman diluncurkan oleh Industri sepeda di Coventry, Inggris. Ariel membuka babak baru desain sepeda melalui roda depan dan belakang yang berbeda ukurannya. Perbedaan besaran roda ini berguna untuk memperoleh akselerasi yang lebih baik dibanding jenis sebelumnya. Sebutan Ariel terinspirasi dari nama tokoh dalam karya sastra Shakespeare "The Tempest", yakni tokoh yang memiliki spirit intelektualitas abadi. Ariel lebih ringan dibanding versi sebelumnya. Desain ini juga mulai menerapkan titik kemudi garis tengah roda dan adjustable crank; kecepatannya mampu mencapai 23-24 km/jam.

Salvo merupakan desain sepeda roda tiga yang juga didesain oleh James Starley. *Salvo* diproduksi massal tahun 1876 oleh Coventry Lever. Oleh Starley,

sepeda tiga roda ini dibuat seringan mungkin dengan penyempurnaan pada bagian mekanisme rantai jeruji ban dan gir ganda. Pada masa itu, *Salvo* lebih populer dibanding kereta kuda karena nyaman, ringan dikayuh, dan dilengkapi dengan lampu untuk malam hari.

Kangaroo mengenalkan penerapan sistem gir dan elemens remem sebagaimana yang digunakan oleh jenis sepeda modern untuk pertama kali. Penggunaan rem ketika itu sangat dibutuhkan karena penyemournaan desain, baik mekanisme gir maupun perbesaran roda menjadikan seoesa mampu melaju semakiin cepat dan berpotensi membahayakan pengendara. Paten *Kangaroo* dicatatkan pada tahun 1878 oleh Otto dan Wallace sepagai seeda yang mamou melaju cepat dengan ukuran roda depan lebih kecil dibandingkan roda depan varian desai sebelumnya.

Bayliss Thomas dinilai sebagai puncak penyempurnaan desain sepeda roda dua. Salah satu alasannya adalah karena sepeda ini memelopori penggunaan material pipa kosong (*hollow tubing*) pada rangka dan garpu (*fork*). Dengan pipa kosong, rangka menjadi lebih ringan dibandingkan versi sebelumnya yang menggunakan besi solid. Sebagai catatan, berat sepeda ini hanya 22kg dengan pedal berbahan karet dan elemen-elemen yang mendukung lebih ringan.

Domestic Bonemaker dibuat di Jepang pada taun 1877 dengan rangka (frame) dari besi. Bentuknya merupakan pengembangan jenis *safety cycle*. Ukuran sepeda ini diperkecil, disesuaikan dengan postur fisik orang Jepang. Diameter rodanya juga diperkecil (roda depan 36" dan roda belakang 32") jauh lebih kecil dibandingkan versi vekocipede.

Lawson model diproduksi tahun 1879 di Inggris oleh Harry John Lawson. Desain sepeda ini menandai awal penempatan pedal di antara roda depan dan belakang. Pedal dihubungkan dengan rantai dari tengah ke roda belakang. Selang lima tahun kemudian, model ini disempurnakan menjadi *Lawson Bicycleette* yang dianggap sebagai desain sepeda yang paling akurat.

Dicycle (regular style) yang paling populer adalah yang didesain oleh E.C.F. otto ketika jenis sepeda roda besar banyak dikenal tahun 1880. Pada

prinsipnya, sepeda ini ditopang oleh dua roda besar di kanan dan kiri yang digerakkan masing – masing oleh roda kecil dan pedal. Dengan sistem semacam ini, dengan menahan salah satu pedal, *dicycle* mampu berbelok lebih halus. Dibanding dengan jenis *ordinary cycle* yang lain, *dicycle* ini menempatkan pengendara tidak lagi di atas ketinggian rosa, melainkan lebih rendah di posisi tengah roda demi menambah stabilitas dan keamanan berkendara.

Rover dirancang oleh John Kemp Starley kemenakan James Starley dengan menerapkan dua roda yang sama besarnya. Desain sepeda ini memenuhi permintaan masyarakat yang mampu melaju sangat cepat, ringan dan sesuai untuk balap sepeda. Untuk itu, Starley menempatkan posisi sadel, kemudi dan cranks dalam posisi yang sama dengan sepeda modern seperti sekarang. Dua tiga tahun setelah kemunculan *Rover*, muncullah upaya – upaya yang mengembangkan dedain komponen seperti gir, rantai, sadel, dan komponen – komponen lain yang makin mendukung kenyamanan sepeda.

Pneumatic-tired Safety Cycle menandai untuk pertama kalinya pengguna ban karet isi udara. Penciptanya ialah dokter hewan dari Skotlandia yang bernama John Boyd Dunlop, pada tahun 1887, ketika ia berusaha untuk membuat sepeda roda tida yang nyaman dikendarai di jalan kasar oleh anaknya. Penggunaan ban pneumatik makin populer seiring dengan perkembangan industri dar waktu ke waktu.

Domestic ordinary Bicycle dibuat khusus pula di Jepang tahun 1890 sebagai pengembangan jenis *ordinary cycle* yang disesuaikan dengan postur fisik orang Jepang. Produk ini dibuat di wilayah Kansai semasa kekuasaan Meiji. Karena dibuat dengan keahlian yang tinggi, misalnya roda yang sengaja diperhalus dengan teknik lacquered dan dibuat dengan melibatkan perajin unggulan dari istana, sepeda roda besar ini kini menjadi aset penting untuk museum dan kolektor.

Domestic Safety Bicycle diproduksi dipabrik senapan Miyata tahun 1892 oleh Eisuke Miyata. Miyata yang ahli membuat senapan saat itu meragukan prospek usaha senjatanya. Apalagi ketika ia didatangi pelanggan yang

menginginkannya mendesain sepeda *safety cycle* dengan memanfaatkan rangka dan pipa besi yang sebelumnya digunakan sebagai material pembuat pistol. Akhirnya dia berlatih memproduksi sepeda. Dengan bekal alat produksi di pabrik senjata miliknya ia kemudian membuat seluruh komponen sepeda kecuali roda.

Folding Bike pertama kali didesain oleh Michael B. Ryan di Amerika. Patennya tercatat pada 26 Desember 1893. Tujuannya agar mudah disimpan ketika tidak dikendarai. Dalam perkembangannya sepeda lipat banyak dibutuhkan oleh masyarakat perkotaan modern karena kepraktisan dan efisiensi ruang. Desainnya pun mengalami banyak penyempurnaan, khususnya pada teknik pelipatan.

Kid's Bike dilumcurkan seusa Perang Dunia I 1920 oleh beberapa pabrikan, misalnya Mead, Sears Roebuck, dan Montgomery Ward. Desainnya dikembangkan dari bentuk sepeda motor untuk menarik minat anak – anak. Dengan desain itu, anak – anak merasa seperti mengendarai sepeda motor. Dalam perkembangannya bentuk sepeda semacam ini mengalami penyederhanaan dan efisiensi.

Moulton Folding Bike menginspirasi sepeda lipat tahun – tahun berikutnya. Dibuat oleh Moulton Bicycle, sepeda lipat ini menarik minat banyak orang melalui rodanya yang kecil. Sebelumnya sepeda lipat roda kecil sudah dibuat oleh Prancis dan militer Inggris di masa Perang Dunia II, namun kurang populer karena kuatnya dominasi mobil dan sepeda motor.

Stingray merupakan sepeda jenis cruiser yang dikenalkan pertama kali oleh Schwinn, perusahaan sepeda di Chicago. Sepeda jenis ini dianggap cikal bakal sepeda jenis BMX (*bicycle-motocross*) dan *low rider*. Bentuk awal sadel *stingray* adalah seperti pisang, dengan setang kemudi yang tinggi. *Stingray* terinspirasi dari bentuk dragster, salah satu merk motor yang populer saat itu.

Mini Bicycle diproduksi oleh Jepang tahun 1965 akibat pengaruh sepeda merk Moulton buatan Inggris. Inovasi sepeda ini adalah bentuknya yang kecil untuk memenuhi kebutuhan serba praktis para penggunanya. Selain itu, kelebihan sepeda ini adalah harganya yang terjangkau dan mudah dikendarai baik

perempuan maupun pria. Awalnya besaran roda adalah 16” dan 18”, namun seiring perkembangan medan jalan raya di Jepang, roda yang digunakan menjadi 20”, 22”, dan akhirnya 24”.

Bicycle Motocross dikenal publik awal 1970 ketika anak-anak mulai menggemari bersepeda di alam bebas di selatan California. Anak – anak terinspirasi dari kepopuleran olahraga motorcross waktu itu. sosok BMX berawal dari sosok *Stingray* buatan Schwinn dengan penyesuaian di beberapa elemen agar mampu menghadapi medan terjal. Dalam perkembangannya kini, BMX banyak diminati oleh para pemuda untuk medan perkotaan, hingga memunculkan subjenis BMX baru seperti *BMX freestyle, racing, dirty jump*, dan sebagainya.

Mountain Bike atau *all terrain bike* tercatat dikenalkan pertama kali tahun 1977 oleh kerja sama Joe Breeze, Otis Guy, dan Gary Fisher di California. Sepeda gunung memiliki rangka yang ringan, memanfaatkan suspensi berpedam kejut, dan ban dengan kembangan yang mencengkram tanah. Dalam perkembangannya terdapat beberapa subjenis sepeda gunung, yakni downhill, untuk medan yang sangat ekstrem, *cross country* untuk ekstrem menengah, dan *all mountain* untuk berbagai kondisi jelajah.

2.6.1 Elemen Sepeda

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

Kerangka (*frame*) merupakan jantung dan jiwa dari sebuah sepeda. Kerangka menterjemahkan 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 dan berat badan.

Kinerja rangka sebuah sepeda ditentukan oleh material penyusun, material, dan cara pembuatannya. Secara umum, perancangan desain kerangka merupakan usaha untuk menemukan keseimbangan yang paling baik antara kekuatan, kekakuan, dan berat.

2.6.2 Gaya Kayuh Sepeda

Misalnya massa total sepeda + pengendaranya = M kg. Berat total = W kN

Untuk membuat sepeda bergerak, kita butuh percepatan a , dan gaya yang dibutuhkan untuk mencapai percepatan tersebut adalah

$$F_{\text{sepeda}} = M \times a$$

F_{sepeda} ini 100% dihasilkan dari roda belakang, karena roda belakang adalah roda penggerak. Tapi perlu diingat bahwa besar gaya penggerak roda (F_{rb}) selalu lebih besar daripada yang dibutuhkan (F_{sepeda}). Ini disebabkan karena adanya gaya gesek statik antara roda dan jalan.

Kenapa gaya gesek statik? Karena antara roda dan jalan tidak terjadi slip. Seandainya terjadi slip, maka yang digunakan adalah gaya gesek kinetik. Anggaplah gaya gesek ini disimbolkan dengan f_s , yang besarnya adalah

$$f_s = N_{\text{rb}} \times \mu_s$$

μ_s adalah koef gesek statik antara roda dan jalan.

N_{rb} adalah gaya normal. Jika kira asumsikan kedua roda memikul beban yang sama, maka $N_{\text{rb}} = 0.5W$.

Jadi, gaya penggerak roda belakang sepeda F_{rb} besarnya adalah

$$F_{rb} = F_{speda} + f_s$$

Gaya ini bekerja pada lingkaran luar roda belakang. Dengan membuat model sederhana sistem gaya-gaya dari roda, gir belakang, teralis, gir depan, tuas pedal, dan ke pedal itu sendiri, maka kita akan mendapatkan hasil sbb:

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

dimana,

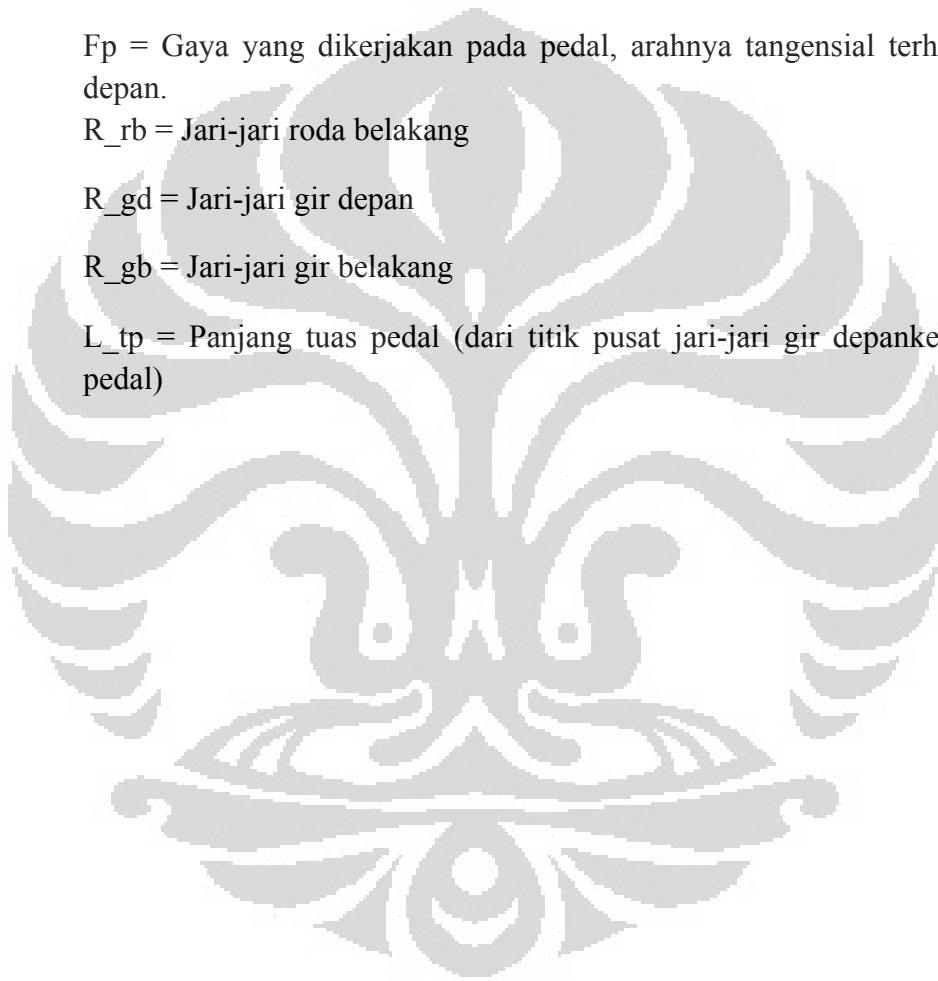
F_p = Gaya yang dikerjakan pada pedal, arahnya tangensial terhadap gir depan.

R_{rb} = Jari-jari roda belakang

R_{gd} = Jari-jari gir depan

R_{gb} = Jari-jari gir belakang

L_{tp} = Panjang tuas pedal (dari titik pusat jari-jari gir depan ke pijakan pedal)



BAB 3

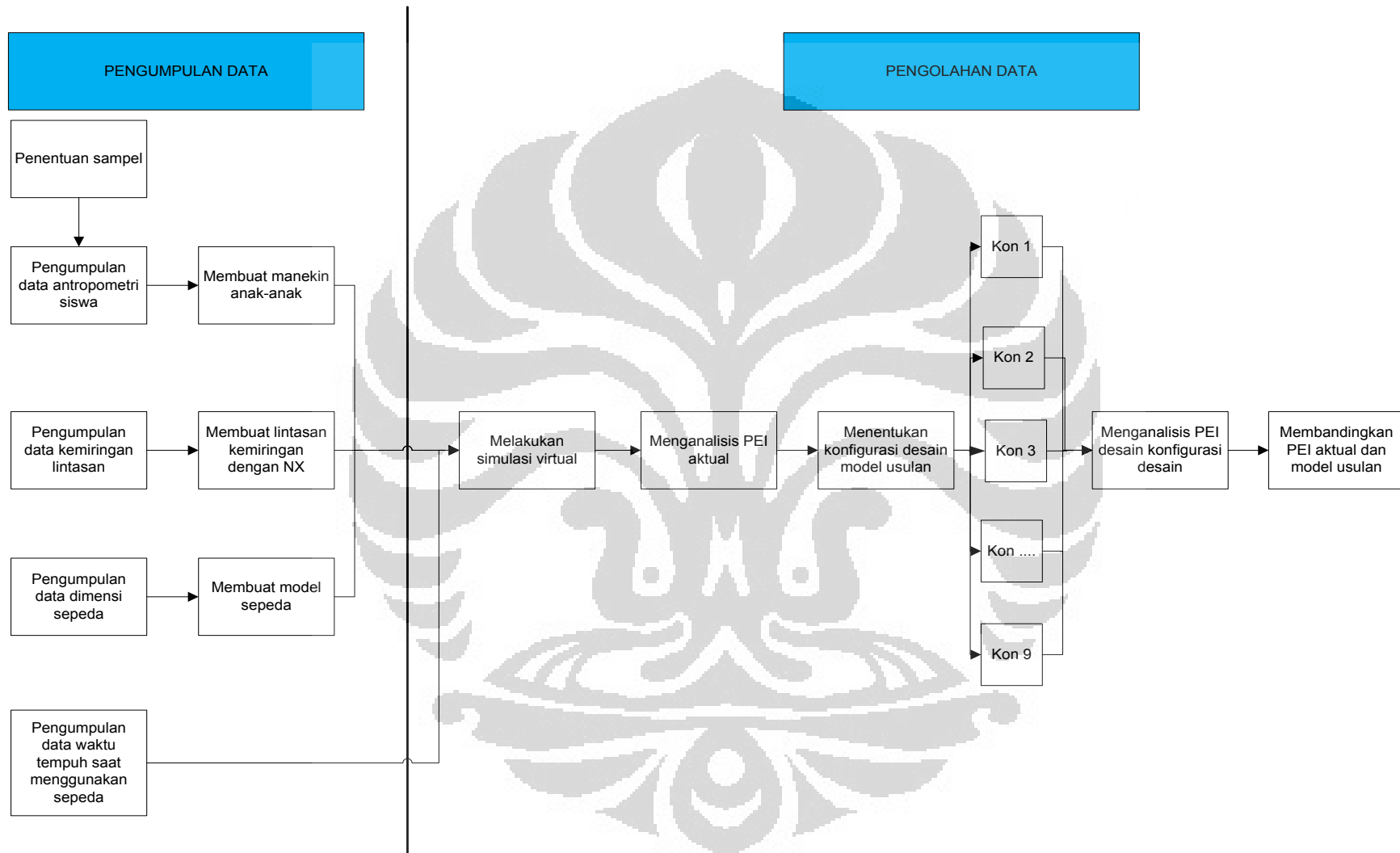
METODE PENELITIAN

Dalam bab 3 ini, akan dijelaskan mengenai tahap-tahap pengumpulan data, yaitu berupa pengukuran antropometri siswa SD kelas 1-5, dimensi sepeda anak-anak, jarak dan kemiringan lintasan sepeda dimana lintasan sepeda UI sebagai *virtual environment*-nya, dan waktu yang dibutuhkan ketika menggunakan sepeda. Seluruh data yang dibutuhkan untuk perancangan desain ditampilkan pada bab ini.

3.1 Alur Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

Untuk memahami pengumpulan data dan melihat bagaimana keterkaitannya dengan pengolahan data yang nantinya akan dilakukan, maka disajikan alur pengumpulan dan pengolahan data pada gambar 3.1. Pada diagram tersebut, dijelaskan bahwa ada empat komponen utama yang dibutuhkan yaitu data antropometri siswa SD kelas 1-5 (usia 7-11 tahun), dimensi sepeda anak-anak, jarak dan lintasan kemiringan beberapa tanjakan jalur sepeda Universitas Indonesia, dan waktu yang diperlukan saat menggunakan sepeda tersebut.

Untuk penggunaan data itu sendiri, data antropometri digunakan sebagai *virtual human* dalam simulasi, dan sepeda dan kemiringan lintasan digunakan sebagai *virtual environment* dalam simulasi.



Gambar 3.1 Alur pengumpulan dan Pengolahan Data

3.2 Pengumpulan Data Antropometri

Data antropometri pada penelitian ergonomi ini diambil dengan prinsip antropometri statis (tetap). Data antropometri yang diambil untuk penelitian ini dilakukan dengan dua cara yaitu posisi berdiri dan duduk. Dimensi yang diukur dalam penelitian ini ada 12 variabel yang dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 3.1 Dimensi-dimensi data antropometri anak yang diukur

No.	Variabel	Kondisi
1	Tinggi badan	Berdiri tegak
2	Panjang telapak tangan	Berdiri tegak
3	Lebar telapak tangan	Berdiri tegak
4	Panjang telapak kaki	Berdiri tegak
5	Lebar pinggul	Berdiri tegak
6	Lebar telapak kaki	Berdiri tegak
7	Panjang lengan	Berdiri tegak
8	Panjang dari lutut sampai bokong/pantat	Duduk
9	Panjang dari bahu sampai siku	Duduk
10	Panjang dari siku sampai ujung jari tangan terpanjang	Duduk
11	Tinggi mata kaki	Duduk
12	Tinggi lutut	Duduk

Pengambilan data antropometri ini menggunakan alat sederhana, yaitu meteran, meteran tinggi badan, penggaris panjang, kursi, dan dua operator. Dua operator mengambil data dengan standard pengambilan data antropometri untuk menghindari kesalahan dalam analisis. Semua data antropometri yang diambil dalam satuan cm.

Data antropometri ini diambil di sekolah SD N 1 Pondok Cina dan SD Madrasah Ibtidaiyah "Ar-Rahman". Pengukuran dilakukan di ruangan tata usaha sd tersebut sebanyak 50 orang siswa kelas 1-5.

Setelah data antropometri diperoleh, maka data ini diolah untuk mendapatkan nilai persentil 5, 50, dan 95 bagi pengendara sepeda anak-anak pada lintasan sepeda UI. Data ini dihitung dengan menggunakan Microsoft Excel 2007.

B54		fx = =PERCENTILE(B2:B51;0,95)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	dimensi	tinggi badan	panjang lengan	lebar tangan	panjang tangan	lebar pinggul	lebar kaki	panjang kaki	tinggi mata kaki	tinggi lutut saat duduk	panjang siku ke jari	jarak bahu-siku	jarak pantat-lutut
21	20	136	56	8,5	14	23,2	8	22,6	6	41	34	24,3	42
22	21	124,5	55,2	7,8	14	22	7	18,8	4,6	41	33,2	25,3	41,3
23	22	135,6	59	8	14,5	22,5	8	20,5	5	43	36,3	36	44,9
24	23	127,3	57,5	8,5	14,3	22,5	8,3	19	4,5	40	34,5	26	42,5
25	24	117,3	52,7	8,4	16	20,5	7,6	18,6	3,5	37,4	33,1	24,8	37,3
26	25	131	59,3	8,4	15	21	7,9	20,6	4	41,5	35,8	27,3	43,4
27	26	121,2	52	8	14,3	20	7	18,2	4,3	38	31,5	24	40,6
28	27	125,8	57,3	9	14,5	25	8,3	19,7	3,8	37	33,9	26	42,7
29	28	125,8	56	8,6	15,3	20	7,6	19,6	4,5	39,4	35,2	25,8	42,4
30	29	121,3	55,3	8	14,8	19	8	18,7	4,6	39,1	32,9	25	39,6
31	30	127,6	57,3	9	14,8	21,5	8,5	20,9	5	39,9	34,4	25,3	41
32	31	130,2	60	9,2	15,4	27,5	8,9	20,8	4,2	40,4	36,3	36,2	45
33	32	126	58,5	8,3	14,9	21	7,5	19,3	4,3	38	34,5	28	41
34	33	127,9	54,3	8	14	20,5	7,6	19,4	3,8	39	33	25,9	43
35	34	124	54,8	9	16,5	20	8,3	18	3,5	36,5	33,8	24,4	38,3
36	35	135,5	56,8	8	13,5	24	8	20	5	40,1	34,3	24,5	42,4
37	36	135,3	57,3	7,5	13,7	23	6,9	20	5	40,2	34,3	25,3	39,5
38	37	136,6	59	9	14	28,3	7,5	20,3	5	40,4	37,4	25,5	44,4
39	38	127,2	54,5	8,5	13,5	25,7	8	20,2	4,6	37,6	33,5	24,1	38,8
40	39	143	60,5	8,5	15	24,2	8	24	4,8	43,3	37,7	25,3	44
41	40	131,3	56,2	7,8	13,3	21,8	8	21	4	37,7	33,8	25,3	39,6
42	41	148,1	64,5	8	15	26,5	8,5	22	5	44,4	38,5	28,1	46,1
43	42	137	58,6	8,6	15,6	24,4	9	20,8	5	41,2	36,3	26,3	42,8
44	43	145,5	62,3	9	15	30	9	21	5	43,3	38,5	28,9	43,5
45	44	154	72,2	10,5	16,6	29,2	10	26	5	47,2	43,7	32,5	47,6
46	45	141,9	60,6	9	14,3	29,7	8	23,5	5	42,8	39,5	27,2	45,3
47	46	151,6	67,7	8,5	15	30	8	22	5,5	46,7	41,6	30,9	49,3
48	47	126,3	52,6	7,6	13	22,4	7	18	4,5	37,5	32,6	24	38,2
49	48	146	63	10	14,6	34	9,8	21,6	5,8	43,8	39	26,7	49,6
50	49	160,6	67,4	9,7	17,5	30	7,6	25,5	6	48,5	41,3	29,5	53,3
51	50	151,5	68,4	9,1	15,2	32	9	24,1	6	47,9	41,7	30,5	51,5
52	percentile 5	116,545	47	7	11,135	19,09	6,09	17	3,5	32,335	28,725	20	34
53	percentile 50	127,45	55,75	8	14	22,5	7,6	19,55	4,5	38,75	33,85	25	40,3
54	percentile 95	151,555	67,565	9,475	16,275	30	9	24,055	5,91	46,975	41,1	31,78	49,465

Gambar 3.2 Perhitungan data persentil Antropometri anak-anak kelas 1-5 SD (usia 7-11 tahun)

Tabel dibawah ini menunjukkan nilai persentil yang sudah diolah berdasarkan data antropometri di atas.

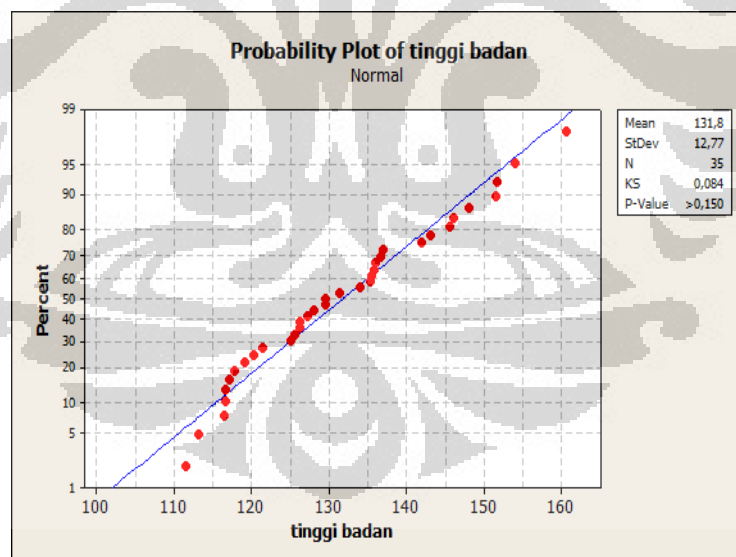
Tabel 3.2 Nilai persentil data antropometri anak

Dimensi	Percentile 5	Percentile 50	Percentile 95
Tinggi badan	116,545	127,45	151,555
Panjang lengan	47	55,75	67,565
Lebar tangan	7	8	9,475
Panjang tangan	11,135	14	16,275

Tabel 3.2 Sambungan

Lebar pinggul	19,09	22,5	30
Lebar kaki (foot breadth)	6,09	7,6	9
Panjang kaki	17	19,55	24,055
Tinggi mata kaki	3,5	4,5	5,91
Tinggi lutut saat duduk	32,335	38,75	46,975
Panjang siku ke jari	28,725	33,85	41,41
Jarak bahu-siku	20	25	31,78
Jarak pantat-lutut	34	40,3	49,465

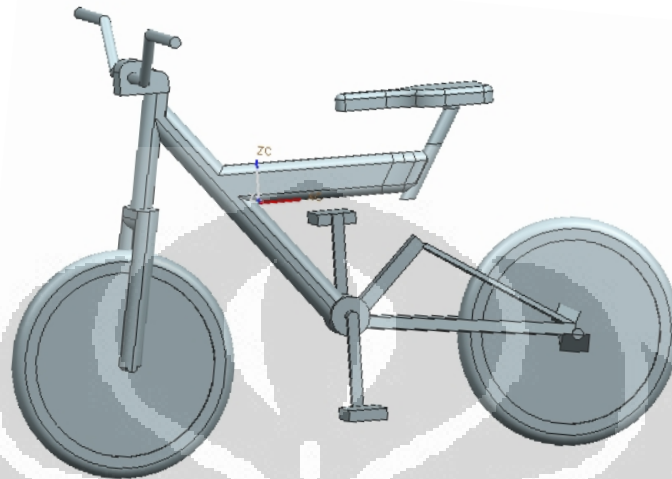
Untuk mengetahui apakah data antropometri yang diperoleh cukup baik untuk digunakan dalam penelitian ini, maka dilakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal dengan menggunakan Minitab 15. Jika hasil uji normalitas data menghasilkan p-value lebih dari 0,05 bisa disimpulkan data terdistribusi dengan normal. Hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah.

**Gambar 3.3** Uji normalitas data tinggi badan siswa

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa P-value $>0,150$. Artinya data tersebut dapat digunakan sebagai data antropometri yang sudah terdistribusi normal dalam penelitian ini.

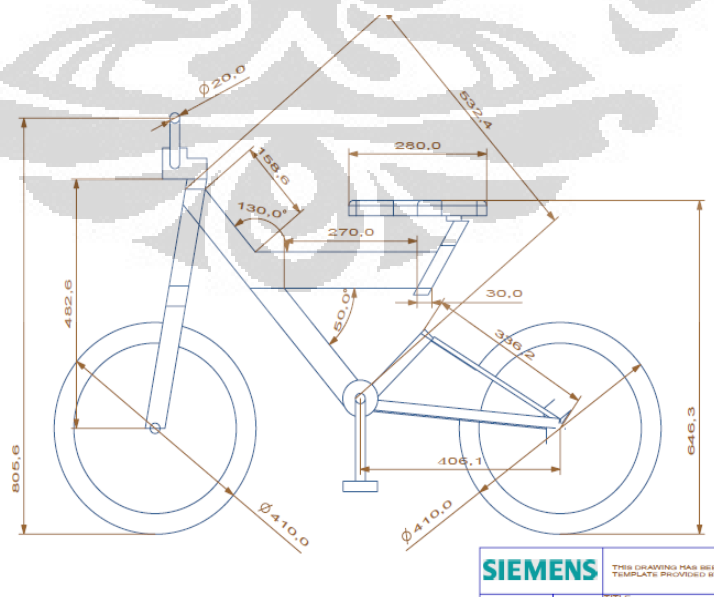
3.3 Dimensi sepeda anak-anak

Dibawah ini adalah gambar prototype sepeda anak-anak yang digunakan dalam simulasi ini.

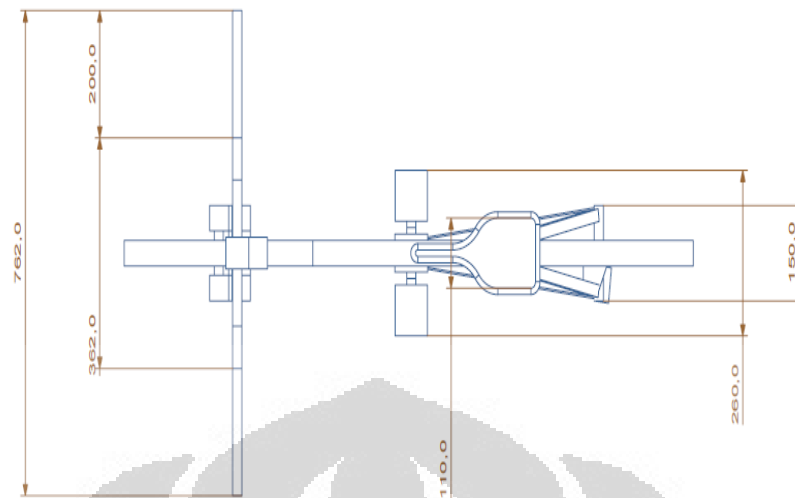


Gambar 3.4 desain sepeda anak-anak

Ukuran dimensi sepeda tersebut tergambar dalam gambar dua dimensinya yang ditampilkan dalam tampak samping dan tampak atas. Semua ukuran dimensi pada gambar adalah dalam satuan milimeter (mm).



Gambar 3.5 Tampak samping



Gambar 3.6 Tampak atas

3.4 Tanjakan pada Lintasan Sepeda Universitas Indonesia

Jalur sepeda UI merupakan jalur sepeda yang memiliki panjang 22 km yang mengitari kampus UI dan lebar jalur sekitar 2 m. Jalur sepeda ini memiliki lintasan yang mendatar dan lintasan menanjak. Secara umum, lintasan menanjak akan menggunakan energi yang besar oleh si pengendara sepeda dibandingkan dengan lintasan mendatar.

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh ada sembilan tanjakan yang akan memberikan kelelahan kepada pengendara sepeda, yaitu seperti tersaji dalam tabel berikut.

Tabel 3.3 Persen kemiringan lintasan sepeda UI

Titik Lintasan yang Diukur	Persen Kemiringan
Pusgiwa	3,05
Menara air	7,83
Balairung-BNI (Balai Sidang)	2,82
Balairung-Danau UI	8,93

Tabel 3.3 sambungan

	2,06
Gerbang UI 1	7,13
Gerbang UI 2	11,5
	6,06
Halte UI	9,14
	9,3
RM Mang Engking	3,8
	4,01

Dalam penelitian ini, kemiringan lintasan akan digunakan sebagai virtual environment dalam simulasi. Kemiringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah RM Mang Engking dengan persen kemiringan sebesar 4,01. Hal ini dilakukan karena berdasarkan observasi yang dilakukan, si anak tidak bisa mengayuh sepeda pada lintasan >5% seperti Menara Air, Gerbang UI, dan Halte UI.

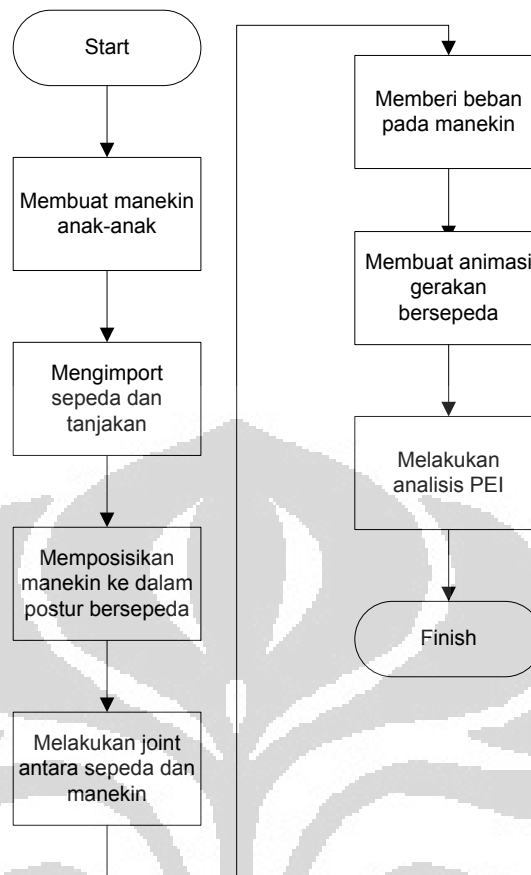
3.5 Waktu untuk Simulasi *Virtual Environment*

Salah satu variabel yang juga menentukan adalah waktu untuk simulasi. Yang diperlukan adalah operator yang menggunakan stopwatch dan anak-anak pengendara sepeda.

Hasil observasi menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan pengendara sepeda adalah 20 detik.

3.6 Perancangan Model

Alur yang dilakukan dalam perancangan model ini dapat digambarkan dalam flowchart berikut.



Gambar 3.7 Alur Perancangan model aktual

Data yang sudah berhasil dikumpulkan kemudian diolah untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Data ini digunakan juga untuk model *software Jack 6.1*.

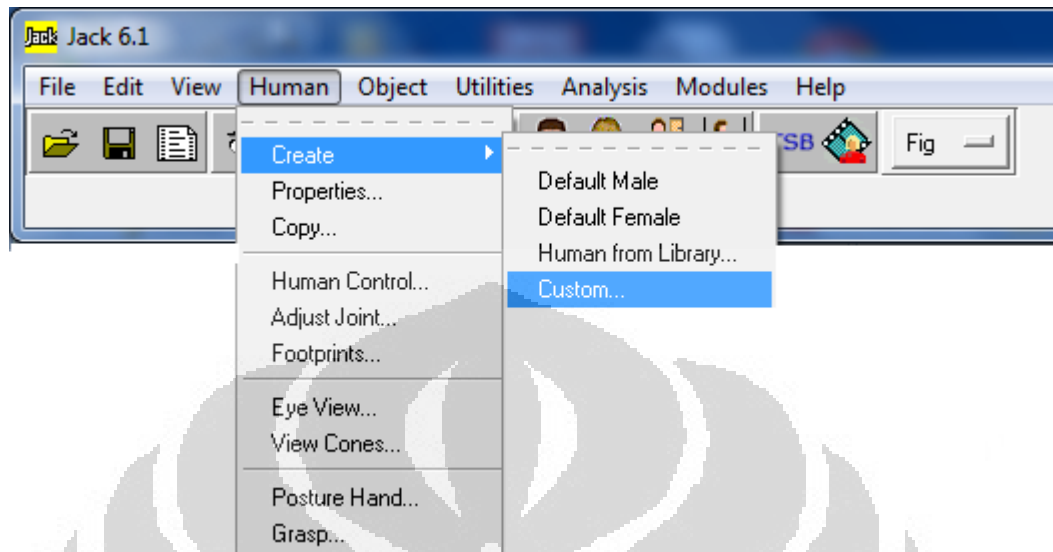
Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengerjaan simulasi ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Manusia Virtual

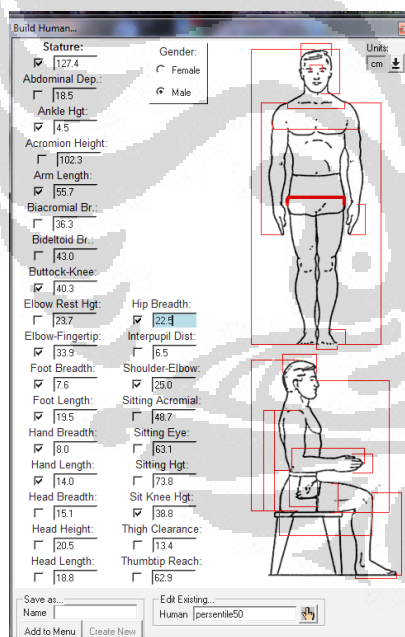
Pembuatan manusia virtual dilakukan dengan memasukkan data antropometri yang telah diukur sebelumnya. Hal itu dilakukan dengan mengklik *Human-Create-Custom*.

Setelah tampilan *build human* muncul, maka klik pada *child* kemudian *advanced scaling*. Pada jendela ini terdapat 26 ukuran tubuh yang dapat dimasukkan secara manual, mulai dari tinggi badan (*stature*) hingga jangkauan jari (*thumbtip reach*) yang juga ditunjukkan pada gambar manusia disebelahnya,

sehingga dapat dihasilkanlah *virtual human* dengan ukuran yang akurat sesuai yang diinginkan.



Gambar 3.8 Langkah membuat Manusia Virtual



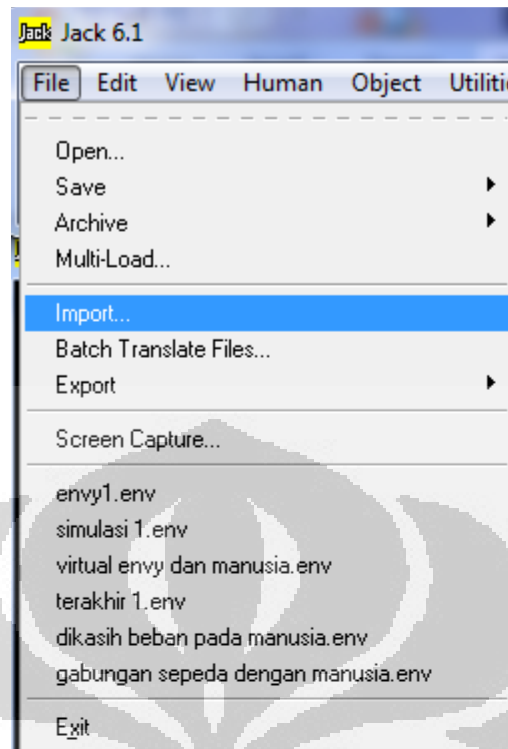
Gambar 3.9 Memasukkan ukuran manusia virtual yang diinginkan



Gambar 3.10 Tampilan manusia virtual

2. Import Sepeda dan Tanjakan

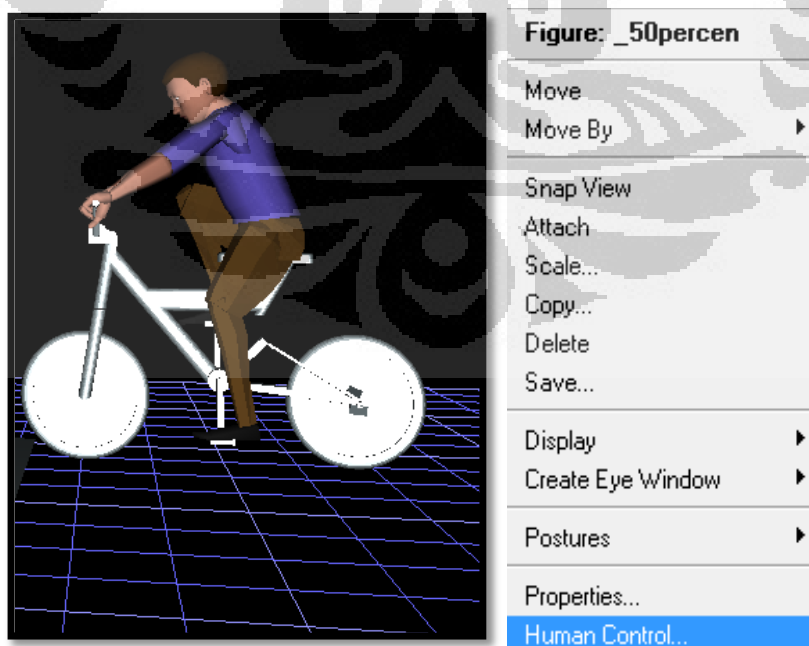
Selanjutnya mengimport sepeda dan tanjakan sebagai lingkungan virtual yang akan digunakan oleh manusia virtual yaitu anak-anak dalam simulasi sepeda nantinya.



Gambar 3.11 Cara mengimport sepeda dan lintasan

3. *Human Controlling* dengan sepeda

Setelah mengimport sepeda dan lintasan, maka langkah selanjutnya adalah memeposisikan manusia virtual dalam situasi bersepeda.



Gambar 3.12 Cara Melakukan *Human Control*

4. Melakukan *joint* pada manusia dengan sepeda

Joint ini berguna untuk membuat pedal sepeda dapat bergerak sesuai yang diinginkan. *Joint* yang dilakukan adalah pada dua bantalan pedal dan batang pedal sepeda. Caranya adalah *Object-Cereate-Create Joint*.

Pada model simulasi ini DOF yang digunakan adalah $R\{y\}$ yang berarti pedal bergerak sesuai sumbu y .

5. Memberi beban pada manusia virtual

Dalam penelitian ini beban yang diberikan kepada manekin ada dua yaitu beban pada bahu karena dianggap menggunakan tas sehingga beban yang diberikan adalah 2 kg, dan juga gaya kayuh sepeda.

Gaya kayuh sepeda:

Lintasan menanjak:

$$F_{rb} = F_{sp} + F_s$$

$$F_{sp} = m \cdot a; v = 0, \text{ maka } a = 0$$

$$F_{sp} = 0$$

$$F_s = W(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$F_s = \{(10 + 34,8) \cdot 9,8\} \times \{(0,85 \times 0,99)$$

$$+ 0,04\} = 387,01$$

$$F_{rb} = 0N + 387,01N = 387,01N$$

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

$$F_p = (387,01 \times 8,5 \times 22,5) / (4 \times 11)$$

$$= 1682,2N$$

$$F_p = 1682,2N / 2 = 841,1N$$

Beban untuk kaki

$$= 841,1 / 9,8 = \mathbf{85,83kg}$$

Lintasan mendatar:

$$F_{rb} = F_{sp} + F_s$$

$$F_{sp} = m \cdot a; v = 0, \text{ maka } a = 0$$

$$F_{sp} = 0$$

$$F_s = \mu m g$$

$$F_s = 0,85 \times (10 + 34,8) \times 9,8$$

$$= 373,18N$$

$$F_{rb} = 0N + 373,18N = 373,18N$$

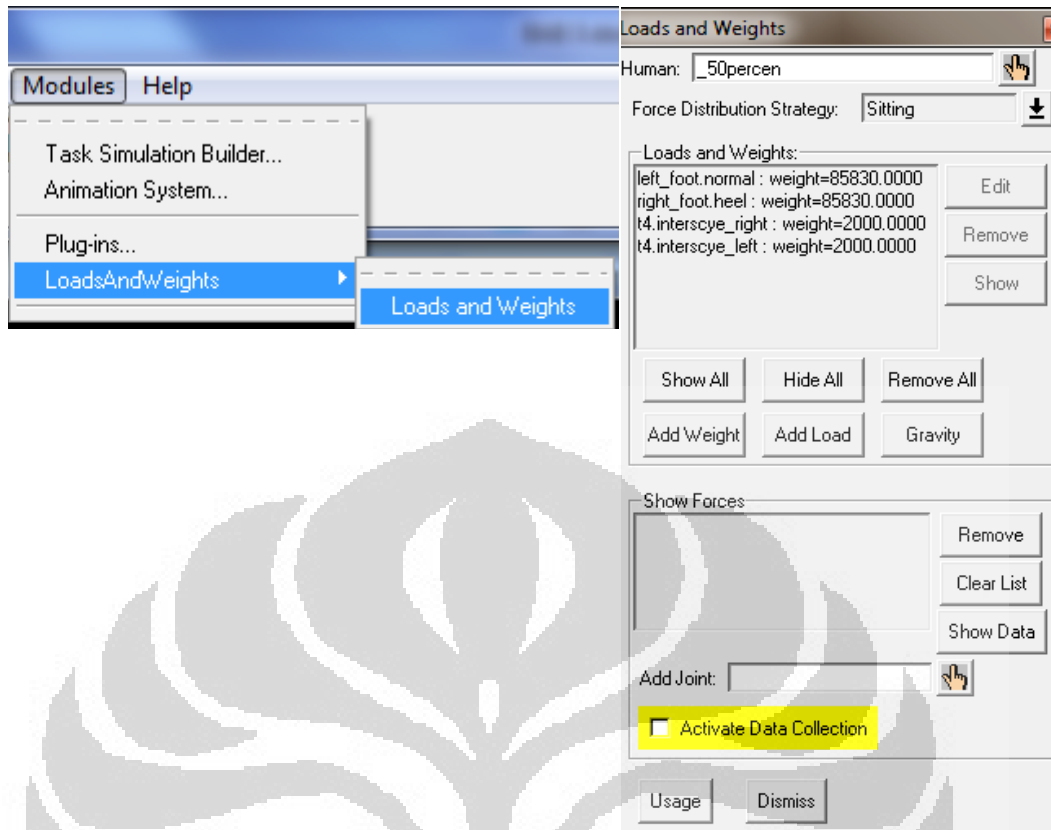
$$F_p = (F_{rb} \times R_{gd} \times R_{rb}) / (R_{gb} \times L_{tp})$$

$$F_p = (373,18N \times 8,5 \times 22,5) / (3 \times 11) = 2162,7N$$

$$F_p = 2162,7N / 2 = 1081,35N$$

Beban untuk kaki

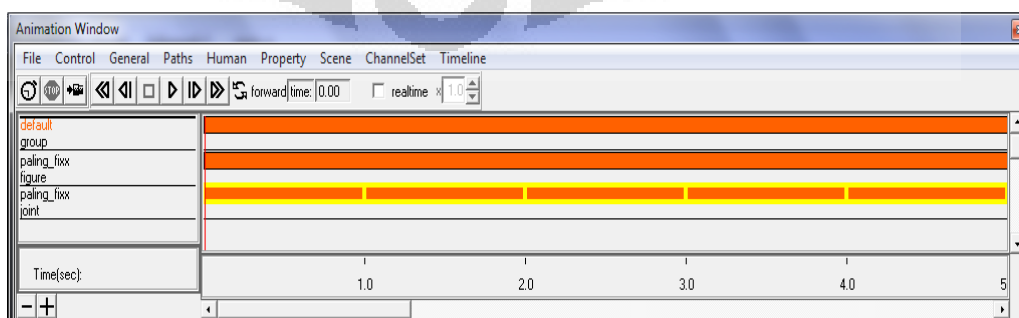
$$= 1081,35 / 9,8 = \mathbf{110,3kg}$$



Gambar 3.13 Langkah memberi beban kepada manusia virtual

6. Membuat gerakan simulasi bersepeda

Tahap selanjutnya adalah membuat animasi pergerakan sepeda yang digunakan oleh manusia virtual yaitu anak-anak dalam melewati tanjakan RM Mang Engking. Pembuatan animasi ini dilakukan dengan menggunakan *command animation system* dengan cara mengklik *modules-animation system*.



Gambar 3.14 Tampilan *Command Box Animation System*

3.7 Analisis PEI Model Aktual

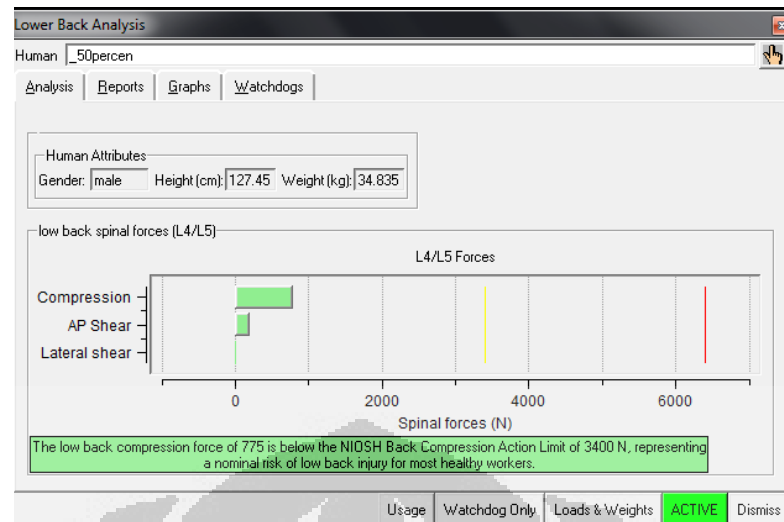
Tahap selanjutnya setelah *virtual environment* dirancang adalah melakukan analisa ergonomi untuk postur *human* yang ada. Analisa dilakukan dengan mengukur nilai PEI (*Posture Evaluation Index*)-nya. Nilai PEI sendiri diperoleh dari kombinasi perhitungan nilai LBA (*Lower Back Analysis*), OWAS (*Ovako Working Posture Analysis*), dan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*), seperti yang dijelaskan pada bab 2. Sebelum menguji LBA, OWAS, RULA, dilakukan pengujian SSP (*Static Strength Prediction*) terlebih dulu, untuk mengetahui kapabilitas manusia dalam melakukan postur yang disimulasikan. Kesemua uji ini terdapat pada menu *Task Analysis Toolkit* pada Jack.

Capability Summary Chart

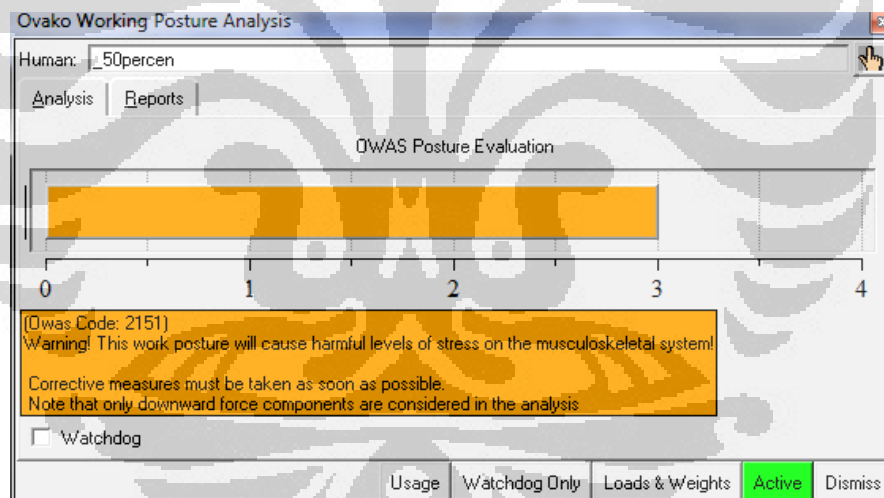
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	57	14	100	-0	--	63	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	68	17	100	-3	ABDUCT	71	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	66	19	100	0	--	69	20	100
	Humeral Rot	-0	--	30	7	100	-0	--	31	7	100
Trunk	Flex/Ext	-33	EXTEN	320	101	100					
	Lateral Bending	0	--	352	79	100					
	Rotation	0	--	98	26	100					
	Hip	-0	--	202	81	99	0	--	68	19	100
	Knee	0	--	164	57	100	-0	--	123	43	100
	Ankle	-0	--	156	52	100	0	--	176	58	100

Gambar 3.15 Hasil SSP pada Desain Aktual

Percent capable yang baik >90% untuk bagian tertentu yang dianggap banyak melakukan gerakan simulasi. Analisis selanjutnya dapat dilakukan dengan mendapatkan nilai PEI.



Gambar 3.16 Nilai LBA pada Desain Aktual



Gambar 3.17 Nilai OWAS pada Desain Aktual

The screenshot shows the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software interface. It includes a header with 'Task Entry', 'Reports', and 'Analysis Summary' tabs. Below the header are input fields for Job Title, Location, Comments, Job Number, Analyst, and Date. The main area displays posture ratings for Body Group A (Upper arm: 3, Lower arm: 3, Wrist: 2, Wrist Twist: 1, Total: 4) and Body Group B (Neck: 1, Trunk: 3, Total: 5). It also shows Muscle Use (Normal, no extreme use), Force/Load (< 2 kg intermittent load), and Arms (Supported). A 'Legs and Feet Rating' section indicates 'Seated, Legs and feet well supported. Weight even.' A prominent red box displays 'Grand Score: 5' and 'Action: Investigation and changes are required soon.' At the bottom, there are 'Update Analysis', 'Usage', and 'Dismiss' buttons.

Gambar 3.18 Nilai RULA pada Desain Aktual

Pengujian desain sepeda aktual untuk anak-anak usia 7-11 tahun persentil 50 menghasilkan nilai LBA 775, OWAS 3, dan RULA 5. Nilai ini dikonversi menjadi nilai PEI, sehingga menghasilkan PEI sebesar 1,99. Pada dasarnya, tidak ada standar nilai PEI yang baik/buruk, akan tetapi, diusahakan untuk memperoleh nilai PEI sekecil mungkin. Pada simulasi awal ini, nilai LBA sudah baik (masih berada dalam zona hijau), tetapi nilai OWAS dan RULA-nya cukup beresiko.

3.8 Konfigurasi Desain Sepeda Anak-Anak

Desain aktual ini kemudian diubah pada bagian stang dan juga sadel untuk mendapatkan 9 jenis desain aktual sepeda anak-anak yang terdiri dari satu desain aktual dan 8 desain usulan. Stang sepeda anak-anak akan diubah dengan adanya penambahan 10cm dan 20 cm. Sadel akan diubah dengan penambahan 5 cm dan 10cm. Penambahan ukuran ini dilakukan juga untuk kombinasi keduanya.

Tabel 3.4 Keterangan Konfigurasi Desain Anak-Anak

No Konfigurasi	Ukuran (mm)		Keterangan
	Sadel	Stang	
1	646	805	Aktual
2	646	905	Kofigurasi
3	646	1005	Kofigurasi
4	696	805	Kofigurasi
5	696	905	Kofigurasi
6	696	1005	Kofigurasi
7	746	805	Kofigurasi
8	746	905	Kofigurasi
9	746	1005	Kofigurasi

Kesembilan kofigurasi ini akan diujicobakan di dalam *virtual environment* dengan menggunakan *software Jack 6.1*, juga akan diujicobakan pada lintasan menanjak dan juga lintasan mendatar pada jalur sepeda UI.

BAB 4

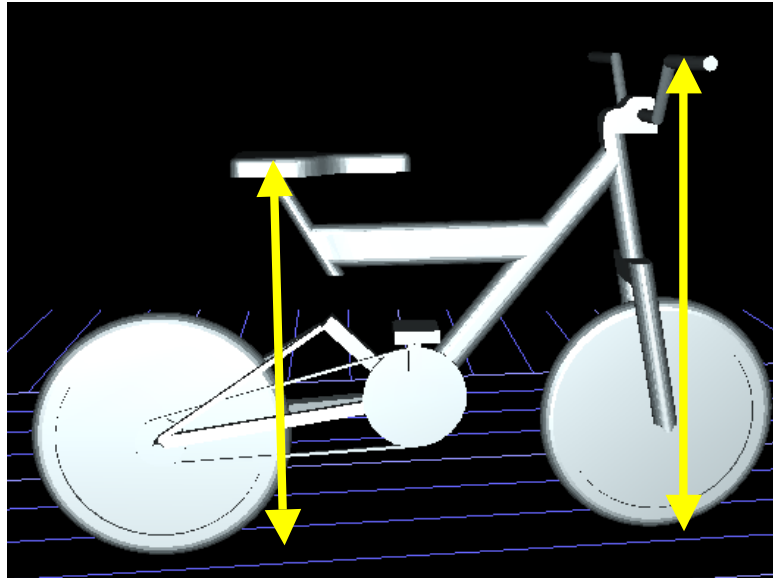
PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas tentang hasil-hasil dan analisis ergonomi berdasarkan model simulasi *virtual model* sepeda anak-anak terhadap pengendaranya yaitu anak-anak usia 7-11 tahun yang dibuat menggunakan *software Jack 6.1*. Sub-bab yang ada dalam bab ini adalah simulasi menggunakan *software Jack 6.1*, nilai PEI (Posture Evaluation Index) desain aktual dan usulan sepeda anak-anak.

4.1 Simulasi Menggunakan *Software Jack 6.1*

Sebelum melakukan perhitungan nilai PEI, maka terlebih dahulu dibangun dulu model sepeda anak-anak dan juga persentil 50 dari anak-anak. Desain ini kemudian diubah pada bagian stang dan juga sadel untuk mendapatkan 9 jenis desain aktual sepeda anak-anak yang terdiri dari satu desain aktual dan 8 desain usulan. Stang sepeda anak-anak akan diubah dengan adanya penambahan 10cm dan 20 cm. Sadel akan diubah dengan penambahan 5 cm dan 10cm. Penambahan ukuran ini dilakukan juga untuk kombinasi keduanya.

Gambar 4.1 di bawah ini menunjukkan bagian dari desain aktual sepeda anak-anak yang akan diubah untuk mendapatkan konfigurasi desain sepeda anak-anak yang akan diujicobakan dengan menggunakan *software Jack 6.1*



Gambar 4.1 Variabel Ubahan Sepeda Anak-Anak

Tabel 4.1. Keterangan Konfigurasi Desain Anak-Anak

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

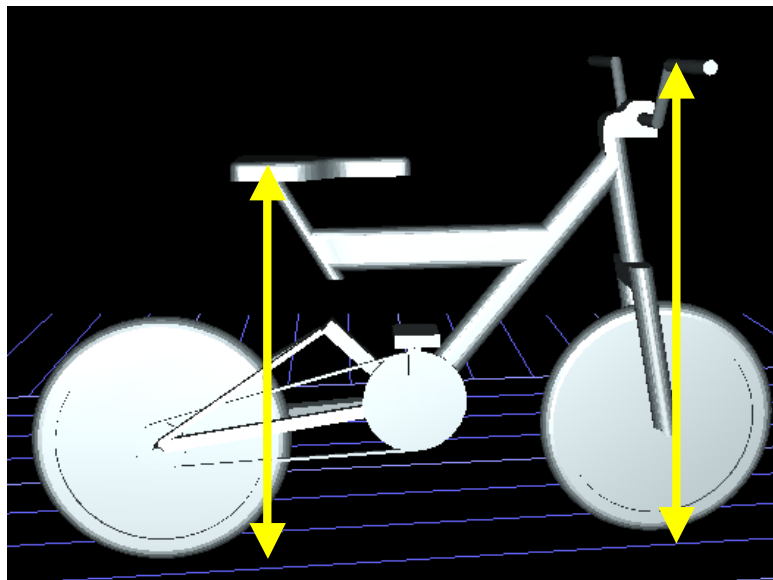
Kesembilan konfigurasi ini akan diujicobakan di dalam *virtual environment* dengan menggunakan *software Jack 6.1*, juga akan diujicobakan pada lintasan menanjak dan juga lintasan mendatar pada jalur sepeda UI. Lintasan menanjak yang dipakai dalam penelitian ini adalah lintasan yang memiliki kemiringan 4,01%. Lintasan mendatar juga disimulasikan dengan perlakuan yang sama untuk mendapatkan perbandingan desain sepeda anak-anak. Hal tersebut tidak dapat diabaikan karena lintasan mendatar juga merupakan bagian dari kontur lintasan

sepeda atau jalan raya. Sehingga didapatkan 18 model simulasi dengan menggunakan *software Jack 6.1* untuk penelitian sepeda anak-anak terhadap pengendara anak-anak.

4.2 Nilai PEI Desain Aktual Sepeda Anak-Anak

4.2.1 Model Aktual Sepeda Anak-Anak

Desain aktual sepeda anak-anak memiliki ukuran stang dan sadel seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2 Konfigurasi 1

Keterangan gambar 4.2, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	646	Sadel diukur dari tanah
2	805	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.2.1.1 Lintasan Menanjak

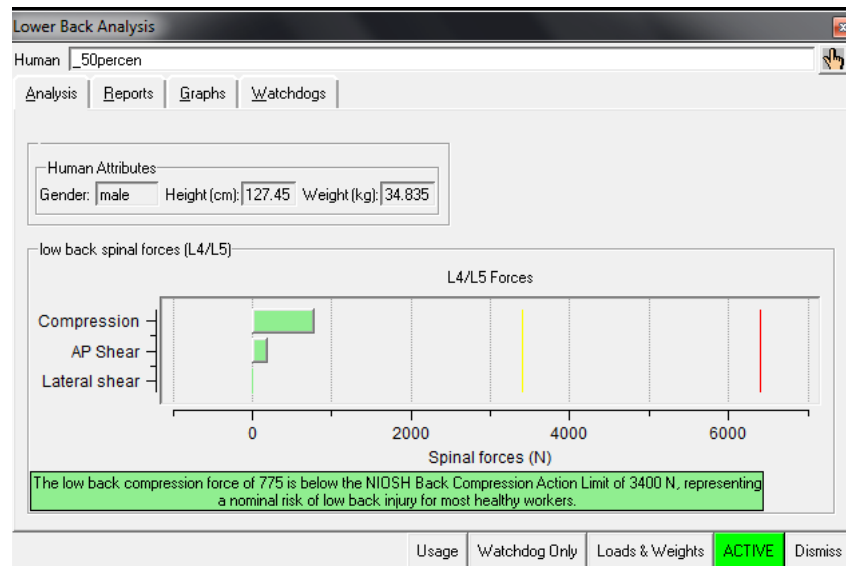
Pertama desain aktual sepeda anak-anak akan diuji persen kemampuan pengendaranya terhadap desain tersebut dengan menggunakan analisis SSP, dan didapatkan hasilnya, yaitu:

Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-0	--	57	14	100	-0	--	63	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	68	17	100	-3	ABDUCT	71	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	66	19	100	0	--	69	20	100
	Humeral Rot	-0	--	30	7	100	-0	--	31	7	100
Trunk	Flex/Ext	-33	EXTEN	320	101	100					
	Lateral Bending	0	--	352	79	100					
	Rotation	0	--	98	26	100					
Hip		-0	--	202	81	99	0	--	68	19	100
Knee		0	--	164	57	100	-0	--	123	43	100
Ankle		-0	--	156	52	100	0	--	176	58	100

Gambar 4.3 Grafik SSP Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak

Dari grafik SSP pada gambar 4.3 terlihat bahwa analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS dapat dilakukan karena persen kapabilitas *virtual human* pada model ini memiliki nilai lebih besar dari 90% yang menandakan bahwa kegiatan simulasi pada *software Jack 6.1* ini dapat dilakukan oleh pengendara anak-anak.

Nilai LBA yang didapatkan pada model ini adalah sebesar 775 N seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 di bawah ini.

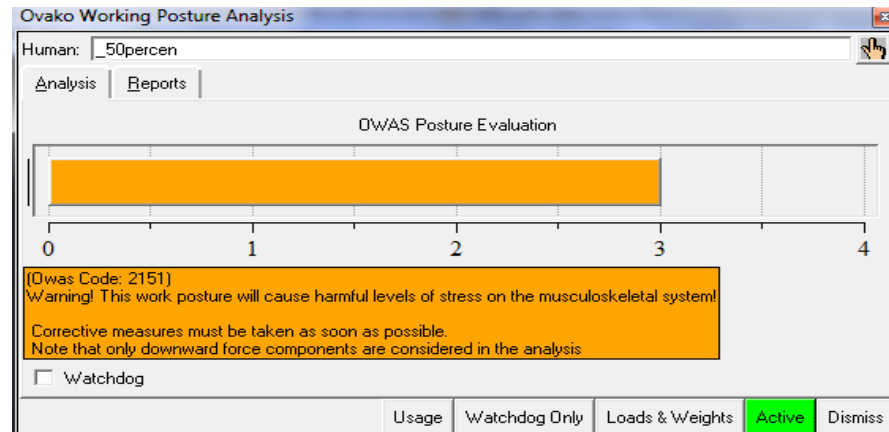


Gambar 4.4 Nilai LBA Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak

Nilai selanjutnya yang perlu diketahui adalah nilai RULA, pada desain aktual sepeda anak-anak didapatkan sebesar 5.

Gambar 4.5 Nilai RULA Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak

Terakhir adalah nilai OWAS.pada model aktual atau konfigurasi 1 didapatkan nilai OWAS sebesar 3, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6 Nilai OWAS Konfigurasi 1 pada Lintasan Menanjak

Nilai PEI untuk desain aktual atau konfigurasi 1 sepeda anak-anak terhadap pengendara anak-anak seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

Nilai PEI konfigurasi 1 untuk lintasan menanjak

$$\begin{aligned}
 &= 775\text{N}/3400\text{N} + \frac{3}{4} + \frac{5}{7} * 1,42 \\
 &= 0,227 + 0,75 + 1,042 \\
 &= 1,99
 \end{aligned}$$

4.2.1.2 Lintasan Mendatar

Simulasi yang sama dilakukan pada lintasan yang mendatar, dalam hal ini perbedaannya adalah pada simulasi lintasan mendatar diberikan gaya yang lebih besar pada kaki karena beda gear yang digunakan. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3.

Dari model simulasi, dilakukan uji persen kapabilitas postur pada rangkaian animasi model tersebut dengan menggunakan SSP, dan didapatkan nilai SSP seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 di bawah ini.

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-0	--	57	14	100	-0	--	63	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	68	17	100	-3	ABDUCT	71	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	66	19	100	0	--	69	20	100
	Humeral Rot	-0	--	30	7	100	-0	--	31	7	100
Trunk	Flex/Ext	-33	EXTEN	320	101	100					
	Lateral Bending	0	--	352	79	100					
	Rotation	0	--	98	26	100					
Hip		-0	--	202	81	99	0	--	68	19	100
Knee		0	--	164	57	100	-0	--	123	43	100
Ankle		-0	--	156	52	100	0	--	176	58	100

Gambar 4.7 Grafik SSP Konfigurasi 1 pada Lintasan Mendatar

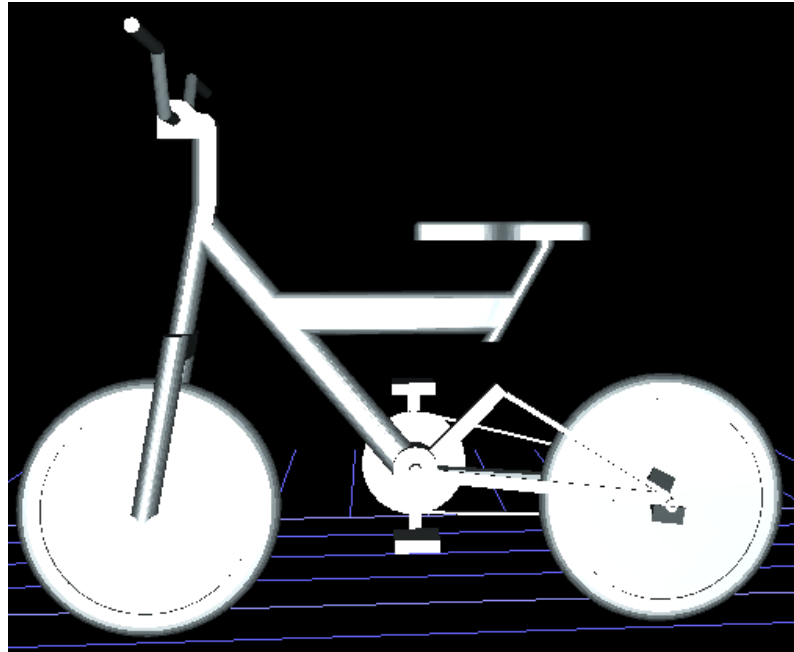
Tidak jauh beda dengan simulasi konfigurasi 1 atau model aktual pada lintasan menanjak, model ini juga didapatkan nilai LBA sebesar 785N, nilai RULA sebesar 5, dan nilai OWAS sebesar 3. Grafik untuk nilai LBA, RULA, dan OWAS diperlihatkan pada bagian lampiran. Kemudian, nilai analisis tersebut diolah untuk mendapatkan nilai PEI untuk desain aktual atau konfigurasi 1 pada lintasan mendatar. Maka nilai PEI untuk model ini adalah ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Nilai PEI} &= 785\text{N}/3400\text{N} + 3/4 + 5/7 * 1,42 \\ &= 1,995 \end{aligned}$$

4.3 Nilai PEI Desain Usulan Sepeda Anak-Anak

4.3.1 Nilai PEI Konfigurasi 2

Konfigurasi kedua merupakan kombinasi variabel sabel aktual dan penambahan ketinggian stang sebesar 10 cm dari kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 2 ini ditunjukkan pada gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 Konfigurasi 2

Keterangan gambar 4.8, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	646	Sadel diukur dari tanah
2	905	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.1.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 2 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Nilai Analisis Konfigurasi 2 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
2	645	3	4

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,751

4.3.1.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 2 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

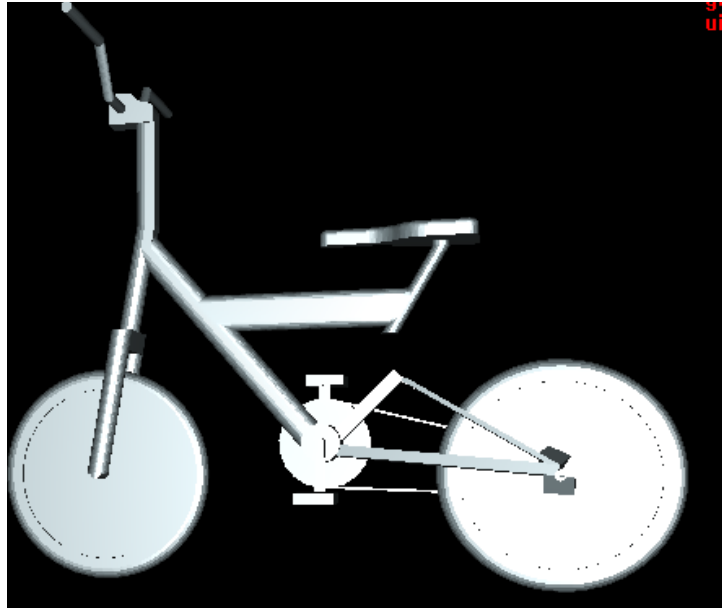
Tabel 4.3 Nilai Analisis Konfigurasi 2 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
2	658	3	4

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,755

4.3.2 Nilai PEI Konfigurasi 3

Konfigurasi ketiga merupakan kombinasi variabel sabel aktual dan penambahan ketinggian stang sebesar 20 cm dari kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 3 ini ditunjukkan pada gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4.9 Konfigurasi 3

Keterangan gambar 4.9, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	646	Sadel diukur dari tanah
2	1005	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.2.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 3 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Nilai Analisis Konfigurasi 3 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
3	649	3	4

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,752

4.3.2.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 3 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

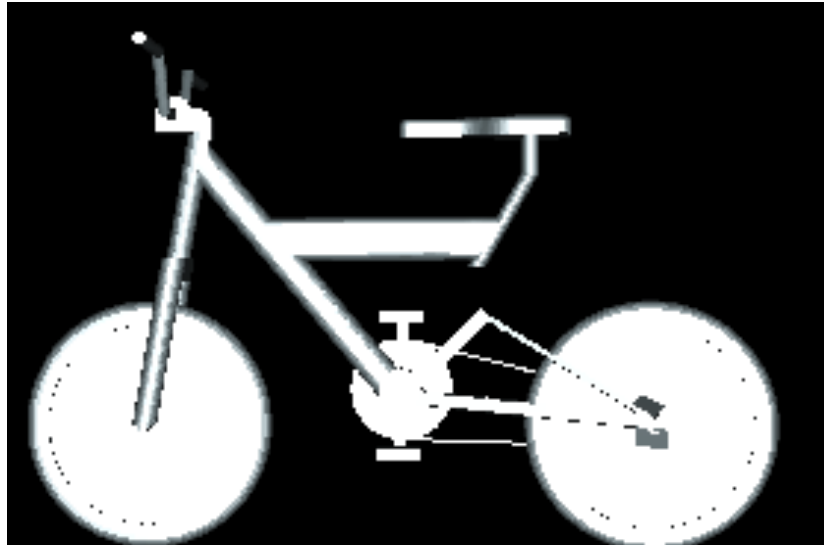
Tabel 4.5 Nilai Analisis Konfigurasi 3 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
3	662	3	4

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,756

4.3.3 Nilai PEI Konfigurasi 4

Konfigurasi keempat merupakan kombinasi variabel sabel lebih tinggi dari aktual sebesar 5 cm dan stang pada kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 4 ini ditunjukkan pada gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4.10 Konfigurasi 4

Keterangan gambar 4.10, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	696	Sadel diukur dari tanah
2	805	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.3.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 4 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.6 Nilai Analisis Konfigurasi 4 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
4	904	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,030

4.3.3.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 4 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

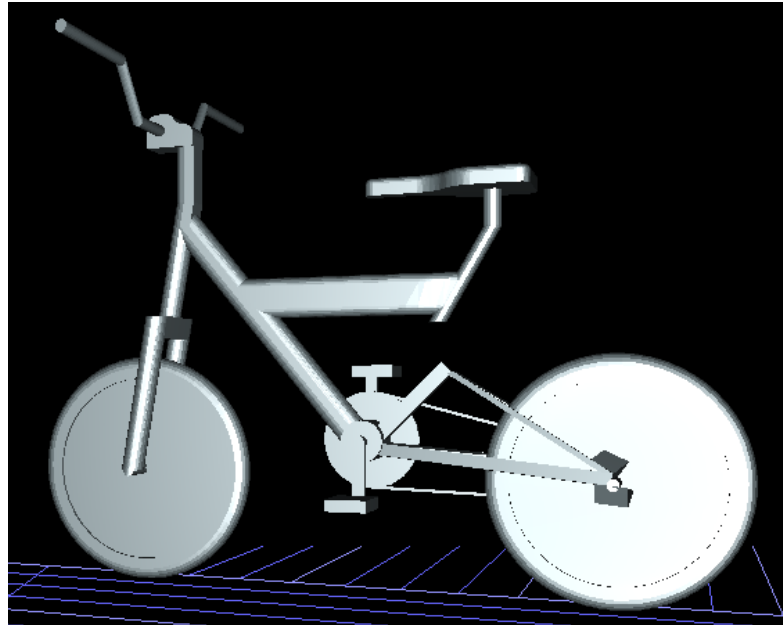
Tabel 4.7 Nilai Analisis Konfigurasi 4 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
4	915	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,033

4.3.4 Nilai PEI Konfigurasi 5

Konfigurasi kelima merupakan kombinasi variabel sabel lebih besar dari aktual sebesar 5 cm dan penambahan ketinggian stang sebesar 10 dari kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 5 ini ditunjukkan pada gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 Konfigurasi 5

Keterangan gambar 4.11, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	696	Sadel diukur dari tanah
2	905	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.4.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 5 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.8 Nilai Analisis Konfigurasi 5 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
5	823	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,006

4.3.4.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 5 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

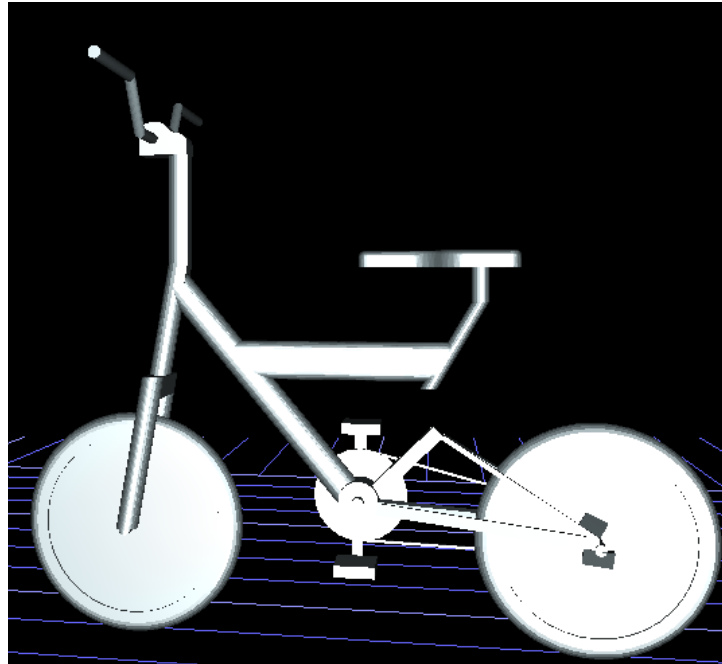
Tabel 4.9 Nilai Analisis Konfigurasi 5 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
5	844	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,012

4.3.5 Nilai PEI Konfigurasi 6

Konfigurasi keenam merupakan kombinasi variabel sabel lebih besar dari aktual senilai 5 cm dan penambahan ketinggian stang sebesar 20 cm dari kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 6 ini ditunjukkan pada gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12 Konfigurasi 6

Keterangan gambar 4.12, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	696	Sadel diukur dari tanah
2	1005	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.5.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 6 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.10 Nilai Analisis Konfigurasi 6 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
6	710	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,973

4.3.5.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 6 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

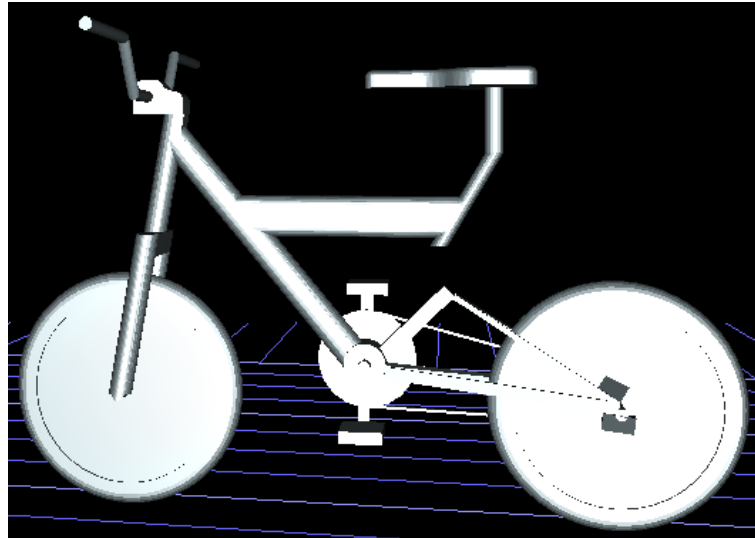
Tabel 4.11 Nilai Analisis Konfigurasi 6 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
6	734	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,980

4.3.6 Nilai PEI Konfigurasi 7

Konfigurasi ketujuh merupakan kombinasi variabel sabel lebih besar dari aktual senilai 10 cm dan tidak ada penambahan ketinggian stang dari kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 7 ini ditunjukkan pada gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.13 Konfigurasi 7

Keterangan gambar 4.13, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	746	Sadel diukur dari tanah
2	805	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.6.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 7 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.12 Nilai Analisis Konfigurasi 7 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
7	954	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,045

4.3.6.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 7 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

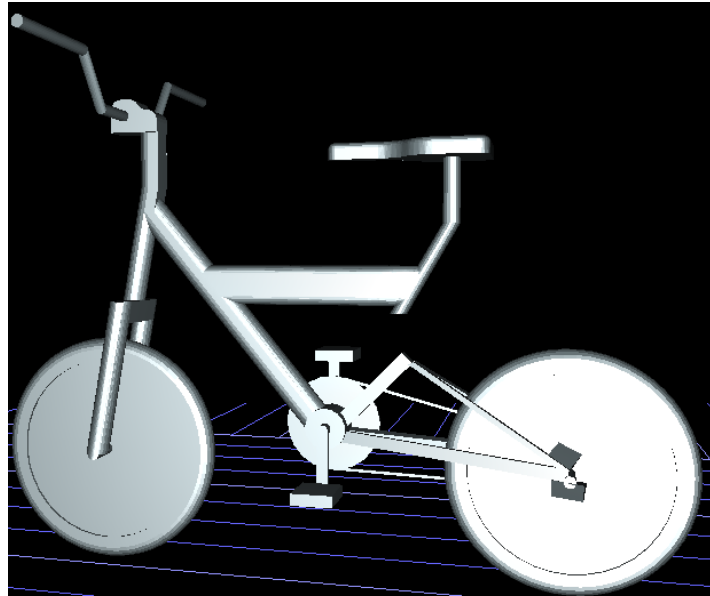
Tabel 4.13 Nilai Analisis Konfigurasi 7 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
7	974	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,051

4.3.7 Nilai PEI Konfigurasi 8

Konfigurasi kedelapan merupakan kombinasi variabel sabel lebih besar dari aktual sebesar 10 cm dan penambahan ketinggian stang sebesar 10 cm dari kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 8 ini ditunjukkan pada gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.14 Konfigurasi 8

Keterangan gambar 4.14, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	746	Sadel diukur dari tanah
2	905	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.7.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 8 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.14 Nilai Analisis Konfigurasi 8 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
8	843	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,012

4.3.7.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 8 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

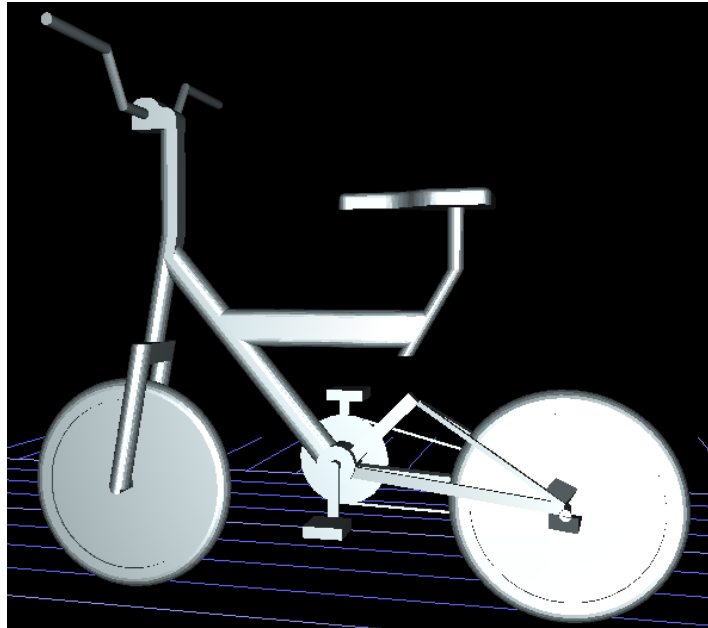
Tabel 4.15 Nilai Analisis Konfigurasi 8 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
8	857	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 2,016

4.3.8 Nilai PEI Konfigurasi 9

Konfigurasi kesembilan merupakan kombinasi variabel sabel lebih tinggi dari aktual sebesar 10 cm dan penambahan ketinggian stang sebesar 20 cm dari kondisi aktualnya. Gambar desain konfigurasi 9 ini ditunjukkan pada gambar 4.14 di bawah ini.



Gambar 4.15 Konfigurasi 9

Keterangan gambar 4.15, yaitu

No	Dimensi Ukuran (mm)	Keterangan
1	746	Sadel diukur dari tanah
2	1005	Stang diukur dari batang tengah sepeda

4.3.8.1 Lintasan Menanjak

Untuk lintasan menanjak, model desain konfigurasi 9 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.16 Nilai Analisis Konfigurasi 9 pada Lintasan Menanjak

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
9	751	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,985

4.3.8.2 Lintasan Mendatar

Untuk lintasan mendatar, model desain konfigurasi 9 memiliki persen kapabilitas yang dilihat dari hasil SSP adalah nilai lebih besar dari 90%. Sehingga model ini dapat dilanjutkan analisis untuk mendapatkan nilai LBA, RULA, dan OWAS. Ketiga nilai analisis tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.17 Nilai Analisis Konfigurasi 9 pada Lintasan Mendatar

No. Konfigurasi	NILAI		
	LBA	OWAS	RULA
9	766	3	5

Dari tabel di atas maka diperoleh nilai PEI dengan menggunakan rumus yang sama yaitu sebesar 1,990

4.4 Analisis Nilai PEI (*Posture Evaluation Index*)

4.4.1 Analisis Nilai *Static Strength Prediction* (SSP)

Model aktual maupun delapan model konfigurasi usulan yang telah dilakukan uji coba dengan menggunakan *software jack 6.1* memiliki nilai persen kapabilitas lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa desain aktual dan desain delapan desain konfigurasi usulan dapat digunakan oleh anak-anak pengguna sepeda. Nilai SSP ini juga menunjukkan bahwa analisis PEI yang memiliki elemen LBA (*Low Back Analysis*), RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*), dan juga OWAS (*Ovako Working Postrure Analysis*) dapat dilakukan selanjutnya. Dalam penelitian ini, nilai SSP dilampirkan dan dapat dilihat di lampiran 6.

4.4.2 Analisis Nilai *Lower Back Analysis* (LBA)

Setelah mendapat nilai persen kapabilitas dari semua model, maka analisis selanjutnya adalah nilai *Lower Back Analysis* (LBA). Seperti yang telah dijelaskan di bab sebelumnya, analisis ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar beban yang diterima oleh tulang belakang tubuh anak-anak persentil 50 ketika menggunakan sepeda. Dari seluruh model konfigurasi desain baik yang model aktual maupun usulan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.18 Nilai LBA pada Pengendara Sepeda Anak-Anak

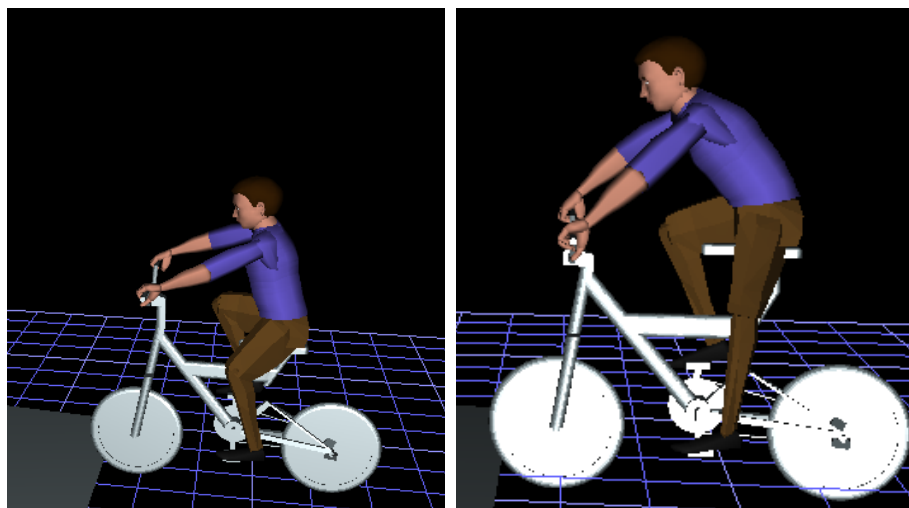
No konfigurasi	Nilai LBA (newton)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Menanjak	775	645	649	904	823	710	954	843	751
Mendatar	785	658	662	915	844	734	974	857	766

Berdasarkan nilai LBA yang didapatkan pada semua desain konfigurasi baik di lintasan mendatar maupun lintasan menanjak, maka dapat dilihat bahwa setiap nilai LBA memiliki nilai yang aman karena berada di bawah standard, 3400N. Hal tersebut juga dapat dilihat dari warna indikator grafik yaitu hijau, yang menandakan bahwa nilai tersebut merepresentasikan resiko yang nominal terhadap cedera tulang belakang untuk pengendara sepeda yang sehat.

Dari semua desain sepeda di atas dapat dilihat nilai LBA minimum dan maksimumnya. Desain sepeda yang memiliki nilai LBA paling minimum adalah desain konfigurasi 2 dengan nilai 645N dan yang memiliki nilai LBA maksimum adalah desain konfigurasi 7 dengan nilai 954N untuk lintasan menanjak. Desain sepeda yang memiliki nilai LBA paling minimum adalah desain konfigurasi 2

dengan nilai 658N dan yang memiliki nilai LBA maksimum adalah desain konfigurasi 7 dengan nilai 974N untuk lintasan mendatar.

Perbedaan nilai LBA tersebut terletak pada tinggi sadel dan stang sepeda yang dikendarai oleh pengendara sehingga berpengaruh pada postur tubuh pengendara. Pada desain konfigurasi 2 dapat dilihat postur tubuh yang tidak terlalu tegang atau bungkuk, sehingga tidak memberi tegangan yang ekstrem pada punggung bagian belakang. Hal itu dipengaruhi oleh tinggi sadel lebih rendah dari pada tinggi stang. Berbeda halnya dengan desain konfigurasi 7, dapat dilihat bahwa pengendara lebih bungkuk dari pada desain yang lainnya sehingga memberikan ketegangan ekstrem kepada pengendaranya. Hal itu dipengaruhi karena stang sepeda lebih rendah dari pada sadelnya. Artinya, semakin rendah sadel yang digunakan dari stangnya maka semakin kecil nilai LBAny.



Gambar 4.16 Postur Tubuh Pengendara pada Desain Konfigurasi 2 dan 7

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa tidak ada nilai LBA yang standard untuk pengendara sepeda, tetapi dalam penelitian ini diusahakan memilih nilai LBA yang paling kecil. Mengapa demikian? Karena semakin kecil nilai LBA mengartikan bahwa semakin kecil resiko kecelakaan pada tulang belakang pekerja. Oleh karena itu dalam penelitian ini juga berlaku hal yang sama. Maka desain konfigurasi sepeda anak-anak yang terbaik adalah desain konfigurasi konfigurasi 2 karena memiliki nilai 645 N

4.4.3 Analisis *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA)

Nilai RULA hanya menilai bagian tubuh lengan, pergelangan tangan, leher, dan batang tubuh atas secara keseluruhan. Untuk penelitian ini, maka diperoleh nilai RULA seperti pada tabel di bawah ini. Nilai RULA ini menjelaskan analisis bagian tubuh atas pada pengendara sepeda di lintasan menanjak dan juga mendatar.

Tabel 4.19 Nilai RULA untuk Semua Desain Konfigurasi Desain Sepeda Anak-Anak

No konfigurasi	Nilai RULA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Menanjak	5	4	4	5	5	5	5	5	5
Mendatar	5	4	4	5	5	5	5	5	5

Dalam tabel berikut, ditampilkan detail nilai RULA masing-masing konfigurasi, untuk mengetahui nilai ergonomi per bagian tubuh. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagian tubuh bagian atas mana yang paling bermasalah.

Tabel 4.20 Detail RULA Konfigurasi Sepeda Anak-Anak

No konfigurasi	Lintasan	RULA	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
1	Menanjak	5	3	3	2	1	1	3
2		4	3	3	2	1	1	2
3		4	3	3	2	1	1	2
4		5	3	3	2	1	1	3
5		5	3	3	2	1	1	3

Tabel 4.20 Lanjutan

6		5	3	3	2	1	1	3
7		5	3	3	2	1	1	3
8		5	3	3	2	1	1	3
9		5	3	3	2	1	1	3
1	Mendatar	5	3	3	2	1	1	3
2		4	3	3	2	1	1	2
3		4	3	3	2	1	1	2
4		5	3	3	2	1	1	3
5		5	3	3	2	1	1	3
6		5	3	3	2	1	1	3
7		5	3	3	2	1	1	3
8		5	3	3	2	1	1	3
9		5	3	3	2	1	1	3

Dari tabel analisis RULA di atas, dapat dilihat bahwa desain konfigurasi sepeda anak-anak yang memiliki nilai terendah adalah 4 dan tertinggi adalah 5. Untuk akhirnya bisa memperoleh nilai RULA tersebut dilakukan perubahan pada desain sepeda untuk mendapatkan postur yang lebih baik.

Postur *virtual human* persentil 50 anak-anak usia 7-11 tahun untuk konfigurasi yang memiliki nilai 4 memperlihatkan kemiringan tubuh bagian atas yang lebih kecil dibandingkan pada konfigurasi yang memiliki nilai 5. Hal ini akan menyebabkan leher akan terasa lebih cepat lelah karena posisi kepala yang harus melihat terus ke depan. Desain ini juga memperlihatkan jauhnya jangkauan yang harus diraih oleh tangan pada stang. Hal inilah yang menjadikan alasan mengapa desain sepeda anak-anak konfigurasi yang bernilai 5 dianggap sangat buruk.

Dalam penelitian ini, nilai RULA terkecil dianggap baik atau paling ergonomis untuk desain sepeda anak-anak yaitu desain sepeda dengan konfigurasi yang memiliki nilai 4 yaitu desain 2 dan 3.

4.4.4 Analisis *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS)

Untuk penelitian desain sepeda yang ergonomis untuk anak-anak usia 7-11 ini, keseluruhan model memiliki nilai OWAS yang sama yaitu 3.

Tabel 4.21 Detail OWAS Konfigurasi Sepeda Anak-Anak

No konfigurasi	Lintasan	OWAS	Kode OWAS
1	Menanjak	3	2151
2		3	2151
3		3	2151
4		3	2151
5		3	2151
6		3	2151
7		3	2151
8		3	2151
9		3	2151
1	Mendatar	3	2151
2		3	2151
3		3	2151
4		3	2151
5		3	2151
6		3	2151
7		3	2151
8		3	2151
9		3	2151

Kode nilai OWAS sendiri terdiri atas 4 angka, dimana angka pertama adalah penilaian untuk bagian batang tubuh, angka kedua untuk bagian tubuh atas, angka ketiga untuk bagian tubuh bawah (kaki), dan angka terakhir untuk penilaian

beban. Hasil simulasi seluruh konfigurasi kursi ternyata menghasilkan nilai OWAS yang sama, yaitu 3, yang berarti postur butuh perbaikan di masa mendatang (*slightly harmful*). Untuk kode OWAS, seluruh konfigurasi ternyata juga memiliki kode OWAS yang sama yaitu 2151, yang berarti:

- a. Postur punggung mendapat nilai 2, yaitu punggung berada dalam postur membungkuk/melengkung. Hal ini jelas, karena pada posisi duduk di sadel yang membungkuk, punggung penumpang akan melengkung ke depan.
- b. Postur bagian tubuh atas (lengan dan tangan) mendapat nilai 1, yang berarti kedua lengan dan tangan berada di bawah level ketinggian bahu. Ini juga jelas sesuai dengan postur bersepeda yang disimulasikan.
- c. Postur bagian tubuh bawah (kaki) mendapat nilai 5, yang berarti kaki dengan satu lutut menekuk. Secara umum, seluruh postur kaki manusia saat bersepeda akan masuk kriteria ini.
- d. Pembebanan/ gaya yang dikerjakan mendapat nilai 1. Nilai ini merupakan nilai terkecil, yang terjadi ketika kondisi beban yang ditanggung *human* kurang dari 10 kg.

Berdasarkan analisis yang dilakukan dengan *software Jack 6.1* diperoleh nilai OWAS sebesar 3 yang berarti bahwa postur tubuh manusia berada pada level berbahaya untuk kelainan pada sistem otot dan tulang. Karena nilai OWAS ini menilai postur kerja, maka hal ini akan berbahaya jika dilakukan dalam waktu yang cukup lama. Oleh karena itu dibutuhkan perubahan postur yang memungkinkan untuk mengurangi masalah ini.

4.4.5 Analisis Nilai PEI Sepeda Anak-Anak Terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun

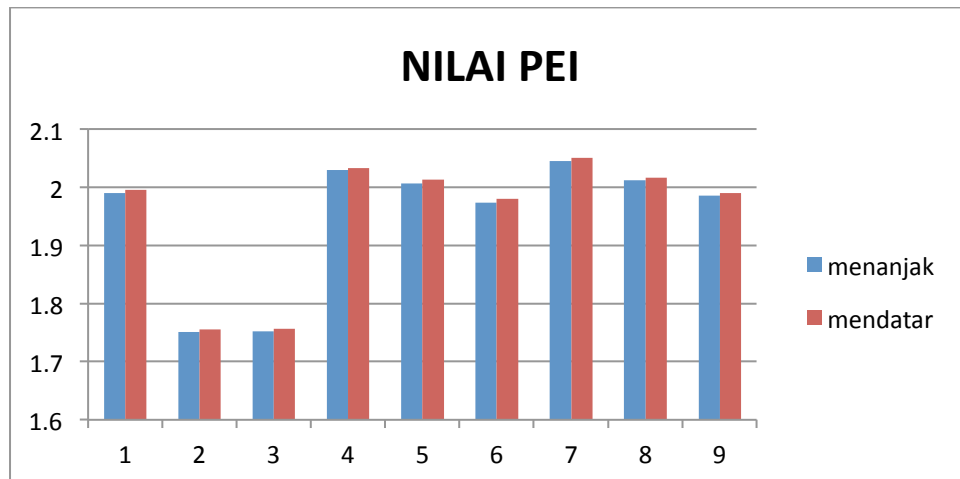
Setelah melakukan simulasi pada *software Jack 6.1* dan memperoleh nilai SSP, LBA, RULA, dan juga OWAS, maka dapat diperoleh nilai PEI untuk setiap konfigurasi desain sepeda. Nilai PEI dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.22 Nilai PEI Penelitian Sepeda Anak-Anak terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun

No konfigurasi	Nilai PEI								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Menanjak	1,99	1,751	1,752	2,030	2,006	1,973	2,045	2,012	1,985
Mendatar	1,995	1,755	1,756	2,033	2,0125	1,980	2,051	2,016	1,990

Tabel di atas menjelaskan tentang nilai PEI untuk setiap desain sepeda anak-anak usia 7-11 tahun dengan persentil 50. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tidak ada nilai PEI standard untuk pengendara sepeda, tetapi dalam penelitian ini diusahakan untuk mendapatkan nilai PEI yang paling kecil.

Dari semua desain sepeda, nilai PEI terkecil adalah desain konfigurasi 2 dan terbesar adalah konfigurasi 7. Dapat dilihat juga bahwa adanya perbedaan nilai PEI pada lintasan menanjak dan lintasan mendatar. Dalam penelitian ini nilai PEI pada lintasan menanjak lebih kecil daripada pada lintasan mendatar. Hal itu dipengaruhi oleh gaya pedal atau kayuh sepeda yang berbeda pada lintasan tersebut. Untuk lintasan sepeda yang menanjak, maka beban masing-masing kaki adalah 85,83 kg. Untuk lintasan sepeda yang mendatar, maka beban masing-masing kaki sebesar 110,30 kg. Dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan nilai PEI yang signifikan pada lintasan menanjak dan mendatar.



Gambar 4.17 Grafik Nilai PEI Penelitian Sepeda Anak-Anak terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun

Dari gambar grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi stang maka semakin kecil nilai PEI yang didapat.

Tabel di bawah ini menunjukkan rekapitulasi nilai LBA, RULA, OWAS dan PEI untuk semua desain konfigurasi sepeda anak-anak.

Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Desain Sepeda Anak-Anak Terhadap Pengendara Anak-Anak Usia 7-11 Tahun

No konfigurasi	Lintasan	LBA	RULA	OWAS	PEI
1	Menanjak	775	5	3	1,99
2		645	4	3	1,751
3		649	4	3	1,752
4		904	5	3	2,030
5		803	5	3	2,000
6		708	5	3	1,972
7		945	5	3	2,042
8		849	5	3	2,014
9		709	5	3	1,973
1	Mendatar	785	5	3	1,995

Tabel 4.23 Sambungan

2		658	4	3	1,755
3		662	4	3	1,756
4		915	5	3	2,033
5		844	5	3	2,013
6		734	5	3	1,980
7		974	5	3	2,051
8		857	5	3	2,016
9		766	5	3	1,990

Postur *human virtual* pada tiap konfigurasi untuk penelitian sepeda anak-anak ditunjukkan pada **gambar 4.16**, dan terlihat bahwa desain konfigurasi 2 adalah desain terbaik untuk desain sepeda anak-anak usia 7-11 tahun baik untuk lintasan menanjak maupun lintasan mendatar yaitu sebesar 1,751 dan 1,755. Nilai ini merupakan nilai terkecil dari semua desain konfigurasi di semua lintasan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang akan menjelaskan dengan singkat dan jelas mengenai analisis yang telah dilakukan terhadap sepeda ergonomis untuk anak-anak usia 7-11 tahun dengan menggunakan metode *Posture Evaluation Index (PEI)*.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap desain sepeda dengan pengendara anak-anak usia 7-11 tahun dengan metode *Posture Evaluation Index (PEI)*, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Desain aktual sepeda untuk anak-anak usia 7-11 tahun memiliki nilai PEI sebesar 1,99 dengan komponen nilai LBA 775N, RULA 5 dan OWAS 3. Semakin rendah nilai RULA dan OWAS maka semakin baik atau ergonomis sebuah desain.
2. Desain sepeda untuk anak-anak usia 7-11 tahun yang terbaik adalah desain konfigurasi 2 dengan penambahan ketinggian stang sebesar 10 cm dan ketinggian sadel tidak diubah atau pada kondisi aktual, karena memiliki nilai PEI terendah sebesar 1,751 pada lintasan menanjak dan 1,755 pada lintasan mendatar.
3. Dalam penelitian ini, ada tiga faktor yang mempengaruhi nilai PEI pada pengendara sepeda anak-anak usia 7-11 tahun yaitu jarak sadel ke stang, jarak pedal dan sadel, dan kesejajaran posisi sadel dengan stang sepeda.
4. Gaya yang mempengaruhi nilai PEI adalah gaya kayuh sepeda dengan elemen kemiringan lintasan, berat persentil dan sepeda, diameter gear dan panjang tuas sepeda. Semakin besar gaya kayuh yang diberikan maka semakin tinggi nilai PEInya.

5. Dalam perhitungan nilai PEI pada penelitian ini terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai PEI pada lintasan menanjak dan lintasan mendatar.

5.1. Saran

Setelah melakukan analisis maka ditemukan beberapa hal perbaikan terhadap sepeda anak-anak dengan pengendara anak-anak usia 7-11 tahun dengan menggunakan metode *Posture Evaluation Index (PEI)*, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Merubah tinggi stang dari sepeda anak-anak sebesar 10cm untuk akhirnya mendapatkan nilai PEI terendah sehingga memberikan kenyamanan bagi pengendara anak-anak usia 7-11 tahun.
2. Memperkecil jangkauan tangan si pengendara ke stang dengan cara mengurangi jarak antara sadel dan stang, supaya diperoleh nilai RULA terkecil.
3. Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada kondisi lintasan yang lebih curam dan memperhitungkan faktor waktu dalam perancangan model yang dianalisis.

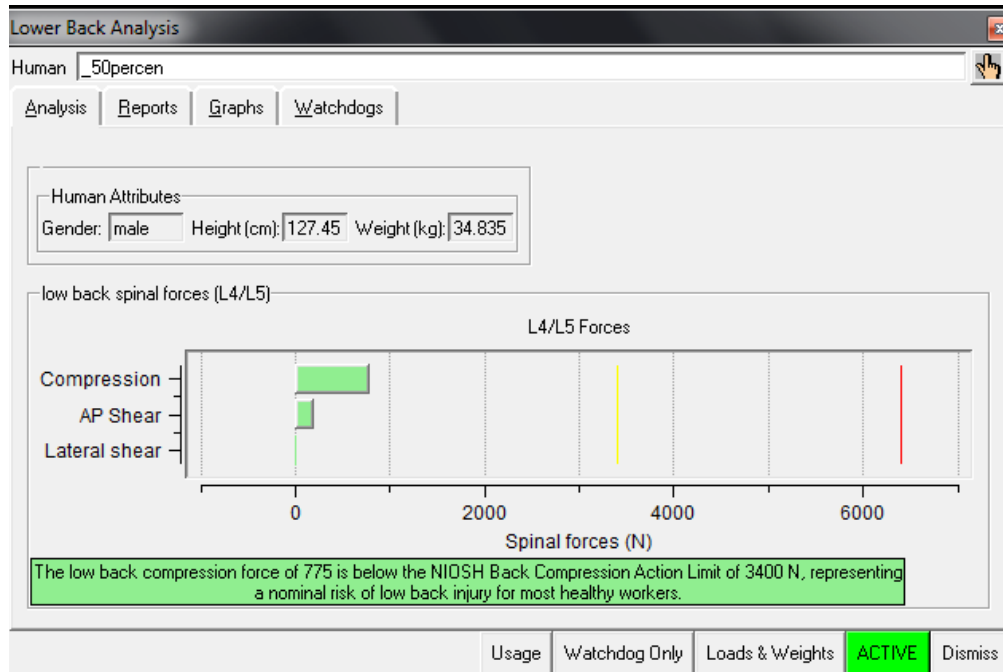
DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to ergonomics* (2nd ed). New York: Taylor & Francis.
- CA, Wilber, Holland GJ, Madison RE, Loy SF. *An epidemiological analysis of overuse injuries among recreational cyclists*.
- Choffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.
- Herlihy, David V. (2004). *Bicycle: The history*. USA: Yale university Press.
- Jack user manual version 6.1*. (2010). California: Siemens PLM Software.
- Karwowski, Waldemar. (2001). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*. New York: Taylor & Francis.
- Laios Lambros, John Giannatsis.(2010). *Ergonomics Evaluation and Redesign of Children Bicycles Based on Anthropometri Data*. Applied Ergonomi (41) Pg 428-435
- Leibovitcha Ilan , Yoram Morb. (2005) *TheVicious Cycling: Bicycling Related Urogenital Disorders*. European Urology (47) pg 277-287
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace : anthropometry, ergonomics and design of work (2nd ed)*. London: Taylor & Francis.
- Powell, Elizabeth C. , Robert R. Tanz. *Cycling Injuries Treated in Emergency Departments. Need for Bicycle Helmets Among Preschoolers*. Arch Pediatr Adolesc Med (154) Pg 1096-1100.
- Schwellnus MP and Derman EW. (2005). *Common Injuries in Cycling:Prevention,Diagnosis and Management*. SA Fam Pract (47) Pg 14-19.
- SilbermanMarc R., David Webner, Steven Collina, and Brian J. Shiple. *Road Bicycle Fit*. Clin J Sport Med (15) Pg 271-276.
- Wiyancoko, Dudy. (2010). *Desain Sepeda Indonesia*. Jakarta: KPG (Kepustakaan Populer Gramedia) bekerjasama dengan Polygon.

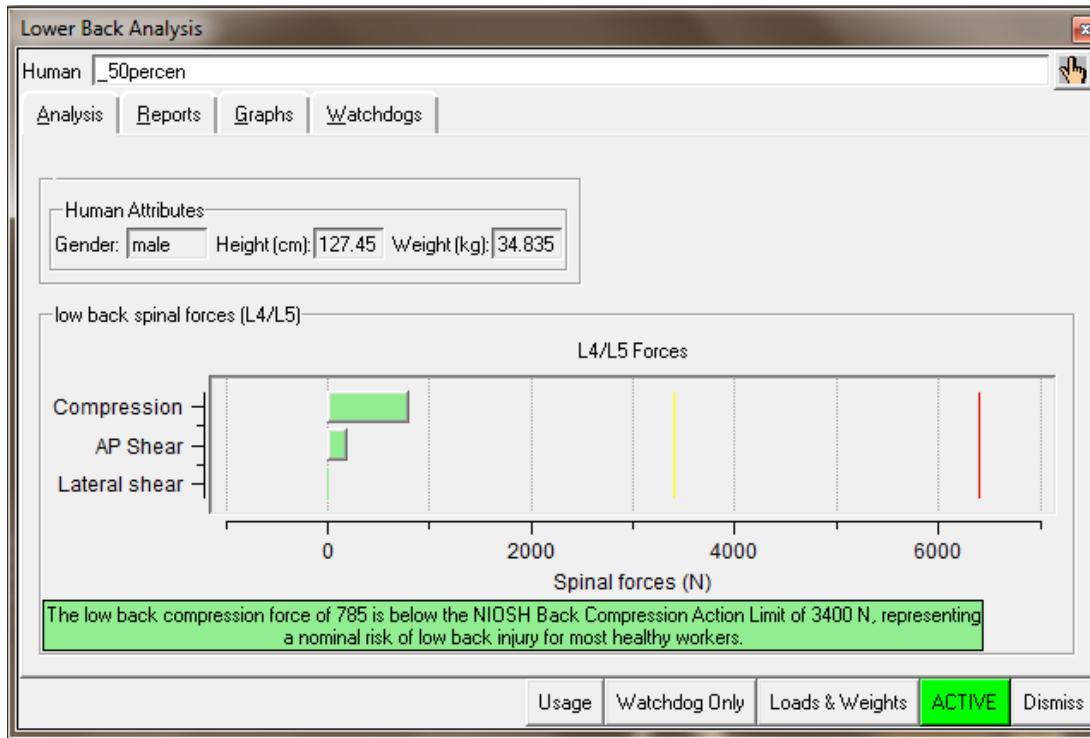
Lampiran 1 Data Hasil Antropometri

dimensi	tinggi badan	berat badan	panjang lengan	lebar tangan	panjang tangan	lebar pinggul	lebar kaki	panjang kaki	tinggi mata kaki	tinggi lutut saat duduk	panjang siku ke jari	jarak bahu-siku	jarak panta-t-lutut
1	126	24	55,5	8	14	22	7	20	5	39,5	35,5	22,5	37
2	116,6	16	48	7,5	11,5	19,5	6,5	17	4,5	32,5	10	19	33
3	116,7	16	47	7	11	20	6,5	16,8	3,5	32,9	10	21	35
4	126,3	22	53,5	7,5	13	20,8	7	20,5	4	37,5	33,5	23	37
5	117,2	18	49	7,5	11,8	18,2	6	18	4,7	34,6	29,3	21,5	34
6	119,1	16,5	47	7	11	22	6,2	18	3,8	33,3	29	20	35
7	116,5	15	47	6,8	11,3	19	7	18	3	32,2	29	20	31,7
8	113,2	16,5	45,6	7	11	19,2	7,3	16,5	3,5	31,3	28,5	19,7	34
9	111,6	16	47,3	7	11,5	20,5	6	17,5	3,5	32,5	29,5	21	34
10	134	29	56,5	8,5	15	25	7	19	4	38,5	33	27	41,5
11	117,8	16	51	7,5	12	23,5	6	17	3,5	33,5	30	22	36
12	125	34	54,5	9	13	29	8	19	4	38	34	25	38
13	121,5	18,5	49	7,5	12	24	7	17	4	31	32	21	36
14	120,3	18	48	7,5	12	22,5	7	17,5	4	32,9	29,5	21,5	37
15	129,5	20	54,5	8	13	23	7	19	4,8	36,3	32	24,5	39,8
16	135,8	29	59	8	14	27	8	20	4,5	41,5	34,5	24	40
17	125,5	22	52	7,5	13	22	7,5	19,5	4,5	36,5	32,5	23,5	38
18	129,6	23,5	54	7,7	13,5	22,3	7	19	4,5	37,2	33	25	38
19	128	21,5	53,3	7,2	13	22,2	7	19	4,5	37	33,5	22,5	37
20	136	26	56	8,5	14	23,2	8	22,6	6	41	34	24,3	42
21	124,5	23	55,2	7,8	14	22	7	18,8	4,6	41	33,2	25,3	41,3
22	135,6	28	59	8	14,5	22,5	8	20,5	5	43	36,3	36	44,9
23	127,3	25	57,5	8,5	14,3	22,5	8,3	19	4,5	40	34,5	26	42,5
24	117,3	20	52,7	8,4	16	20,5	7,6	18,6	3,5	37,4	33,1	24,8	37,3
25	131	28	59,3	8,4	15	21	7,9	20,6	4	41,5	35,8	27,3	43,4
26	121,2	26	52	8	14,3	20	7	18,2	4,3	38	31,5	24	40,6
27	125,8	35	57,3	9	14,5	25	8,3	19,7	3,8	37	33,9	26	42,7
28	125,8	21	56	8,6	15,3	20	7,6	19,6	4,5	39,4	35,2	25,8	42,4
29	121,3	21	55,3	8	14,8	19	8	18,7	4,6	39,1	32,9	25	39,6
30	127,6	31	57,3	9	14,8	21,5	8,5	20,9	5	39,9	34,4	25,3	41
31	130,2	40	60	9,2	15,4	27,5	8,9	20,8	4,2	40,4	36,3	36,2	45
32	126	29	58,5	8,3	14,9	21	7,5	19,3	4,3	38	34,5	28	41
33	127,9	23	54,3	8	14	20,5	7,6	19,4	3,8	39	33	25,9	43
34	124	23	54,8	9	16,5	20	8,3	18	3,5	36,5	33,8	24,4	38,3
35	135,5	26	56,8	8	13,5	24	8	20	5	40,1	34,3	24,5	42,4
36	135,3	21,5	57,3	7,5	13,7	23	6,9	20	5	40,2	34,3	25,3	39,5
37	136,6	38	59	9	14	28,3	7,5	20,3	5	40,4	37,4	25,5	44,4
38	127,2	27	54,5	8,5	13,5	25,7	8	20,2	4,6	37,6	33,5	24,1	38,8
39	143	28,5	60,5	8,5	15	24,2	8	24	4,8	43,3	37,7	25,3	44
40	131,3	24	56,2	7,8	13,3	21,8	8	21	4	37,7	33,8	25,3	39,6
41	148,1	26	64,5	8	15	26,5	8,5	22	5	44,4	38,5	28,1	46,1
42	137	26	58,6	8,6	15,6	24,4	9	20,8	5	41,2	36,3	26,3	42,8
43	145,5	35	62,3	9	15	30	9	21	5	43,3	38,5	28,9	43,5
44	154	40	72,2	10,5	16,6	29,2	10	26	5	47,2	43,7	32,5	47,6
45	141,9	36,5	60,6	9	14,3	29,7	8	23,5	5	42,8	39,5	27,2	45,3
46	151,6	35	67,7	8,5	15	30	8	22	5,5	46,7	41,5	30,9	49,3
47	126,3	21,5	52,6	7,6	13	22,4	7	18	4,5	37,5	32,6	24	38,2
48	146	40	63	10	14,6	34	9,8	21,6	5,8	43,8	39	26,7	49,6
49	160,6	35,5	67,4	9,7	17,5	30	7,6	25,5	6	48,5	41,3	29,5	53,3
50	151,5	40	68,4	9,1	15,2	32	9	24,1	6	47,9	41,7	30,5	51,5

Lampiran 2 Nilai LBA konfigurasi desain aktual pada lintasan menanjak

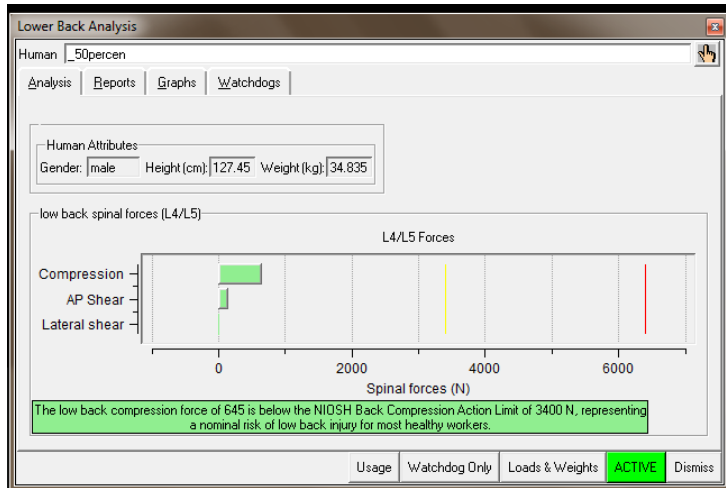


Lampiran 3 Nilai LBA konfigurasi desain aktual pada lintasan mendatar

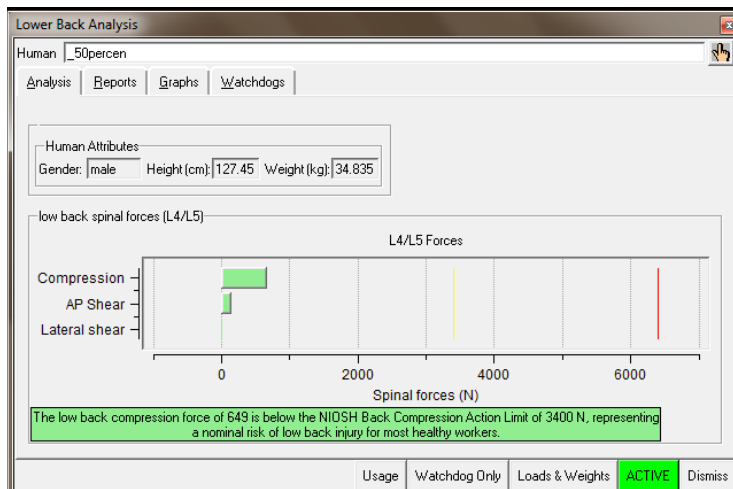


Lampiran 4 Nilai LBA konfigurasi desain usulan pada lintasan menanjak

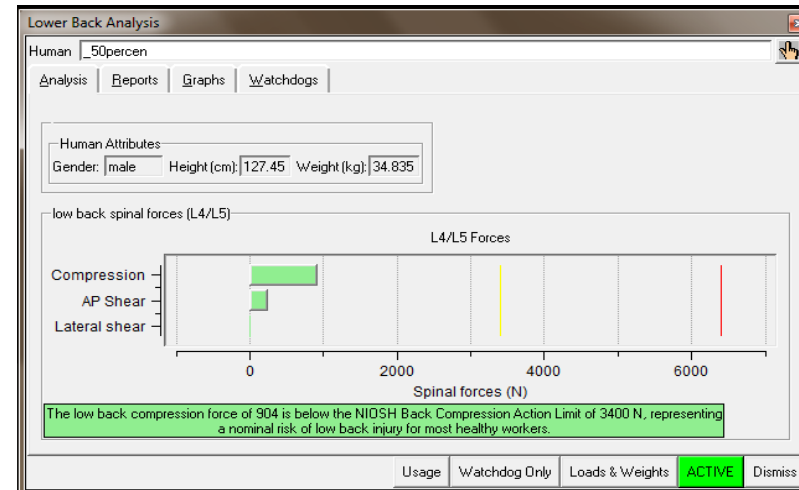
Konfigurasi 2:



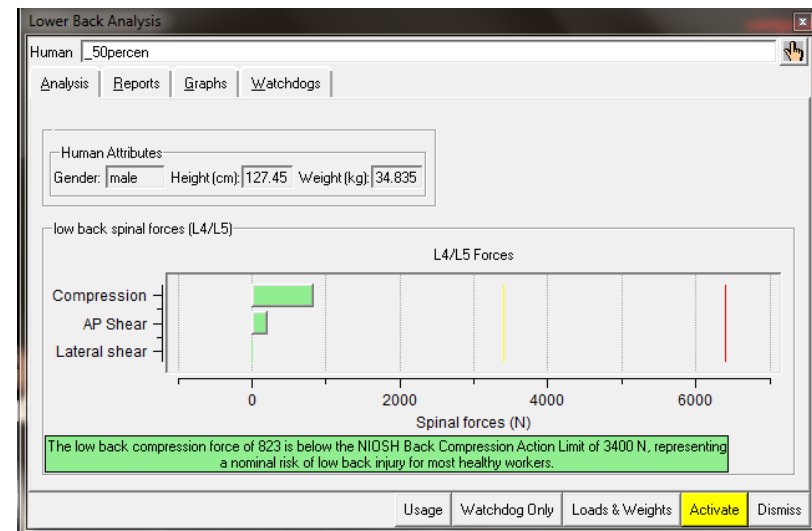
Konfigurasi 3:



Konfigurasi 4:

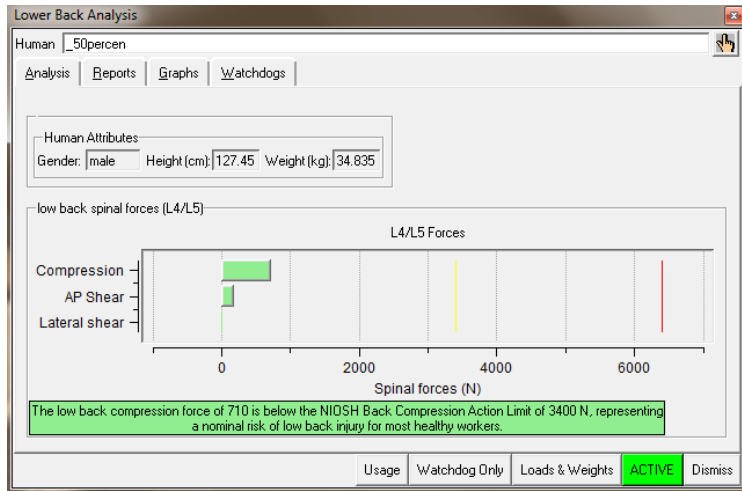


Konfigurasi 5

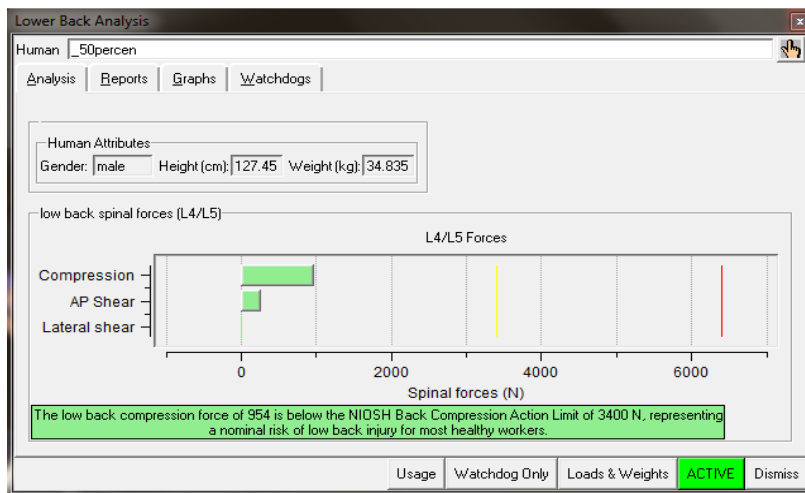


Lampiran 4 Nilai LBA konfigurasi desain usulan pada lintasan menanjak (sambungan)

Konfigurasi 6

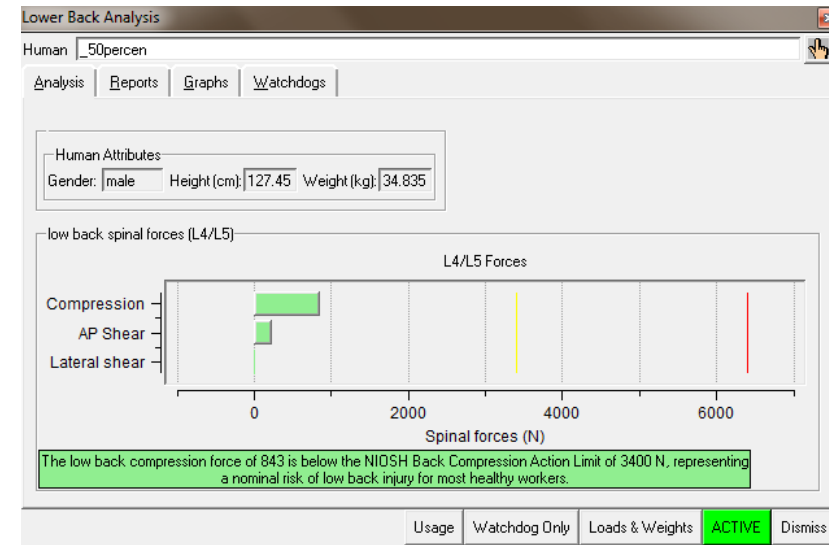


Konfigurasi 7

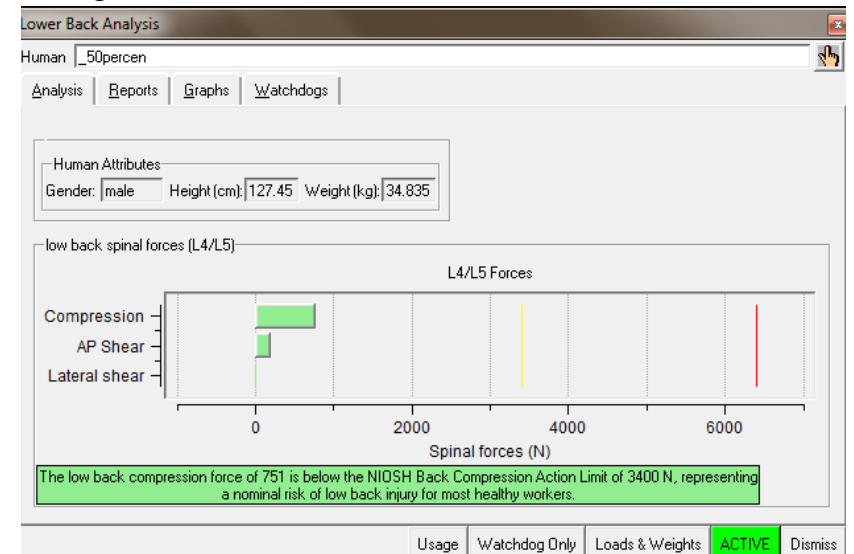


Lampiran 5 Nilai LBA konfigurasi desain usulan pada lintasan mendatar

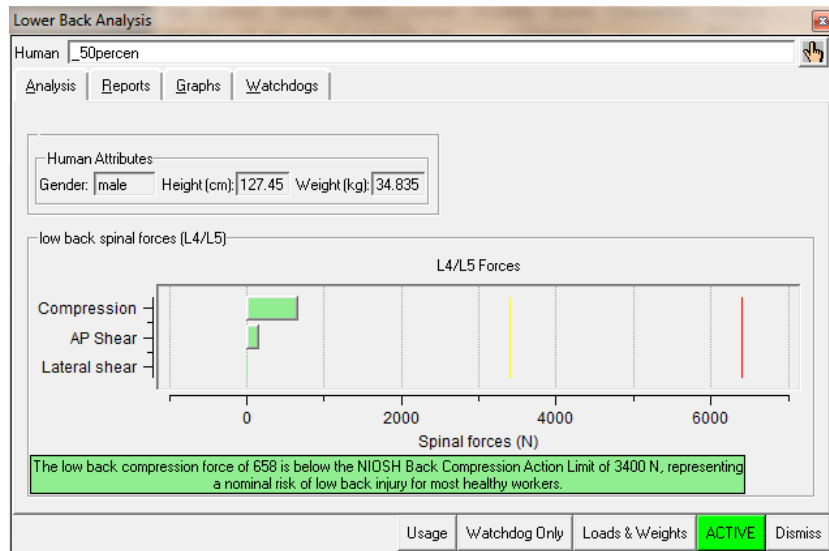
Konfigurasi 8



Konfigurasi 9



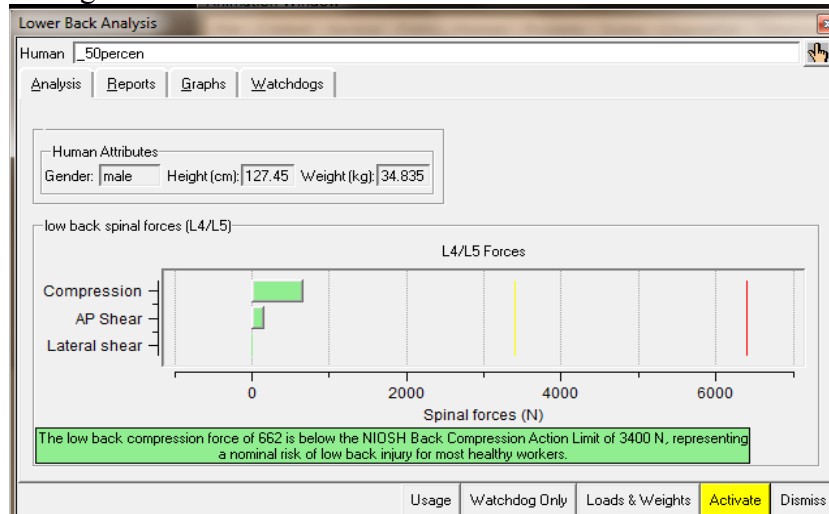
Konfigurasi 2



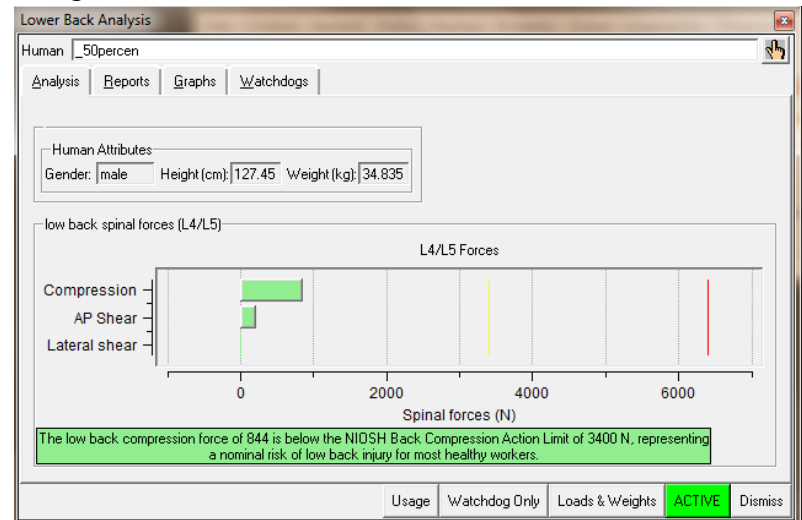
Konfigurasi 4



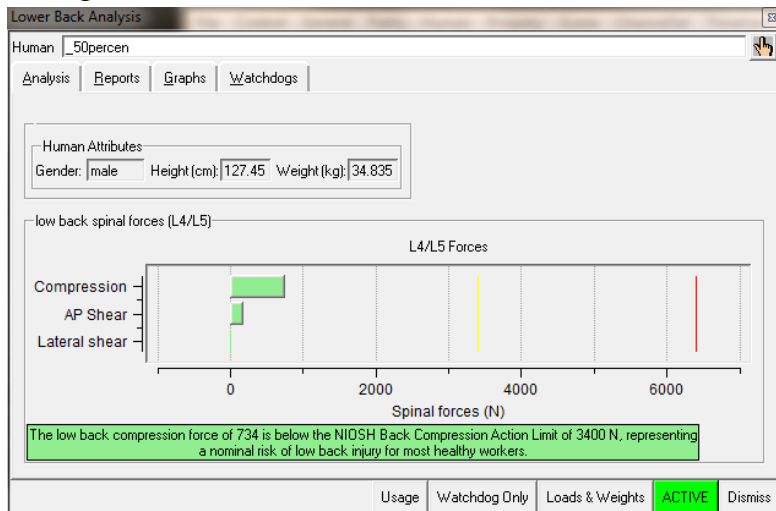
Konfigurasi 3



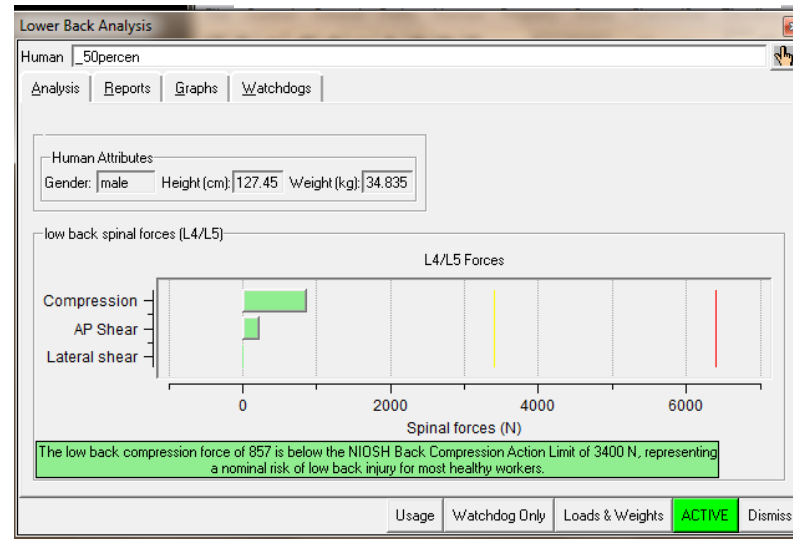
Konfigurasi 5



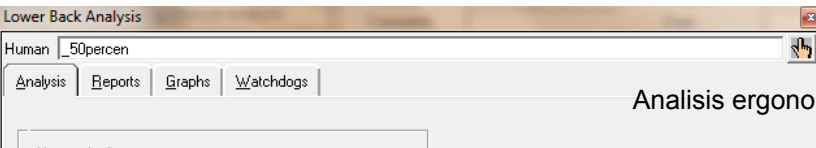
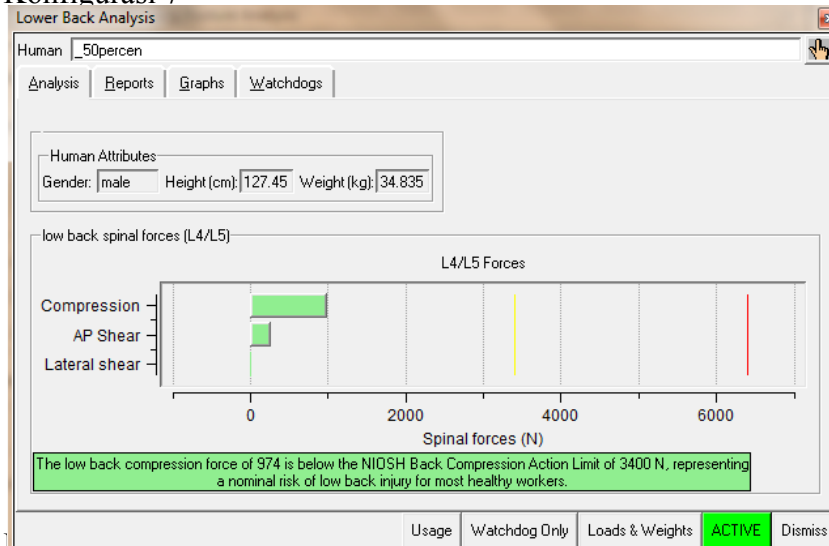
Lampiran 5 Nilai LBA konfigurasi desain usulan pada lintasan mendatar
(sambungan)
Konfigurasi 6



Konfigurasi 8



Konfigurasi 7



Lampiran 6 Nilai *Capability Summary Chart* SSP pada lintasan menanjak

Konfigurasi 2

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	57	14	100	-0	--	63	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	68	17	100	-3	ABDUCT	71	17	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	89	24	100	0	--	69	20	100
	Humeral Rot	-0	--	31	7	100	-0	--	31	7	100
Trunk	Flex/Ext	-25	EXTEN	354	111	100					
	Lateral Bending	0	--	272	61	100					
	Rotation	0	--	93	25	100					
	Hip	-0	--	208	84	99	-0	--	258	104	99
	Knee	0	--	170	59	100	0	--	123	43	100
	Ankle	0	--	168	56	100	0	--	159	53	100

Kofigurasi 3

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	66	16	100	-4	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	63	19	100	0	--	67	20	100
	Humeral Rot	-0	--	29	7	100	-0	--	30	7	100
Trunk	Flex/Ext	-25	EXTEN	354	111	100					
	Lateral Bending	0	--	272	61	100					
	Rotation	0	--	93	25	100					
	Hip	-0	--	208	84	99	-0	--	258	104	99
	Knee	0	--	170	59	100	0	--	123	43	100
	Ankle	0	--	168	56	100	0	--	159	53	100

Lampiran 6 Nilai *Capability Summary Chart* SSP pada lintasan menanjak (lanjutan)

Konfigurasi 4

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	66	16	100	-3	ABDUCT	70	17	100
	Rotation Bk/Fd	1	--	65	19	100	1	--	68	20	100
	Humeral Rot	-0	--	28	6	100	-0	--	30	7	100
Trunk	Flex/Ext	-42	EXTEN	360	114	100					
	Lateral Bending	-0	--	418	90	100					
	Rotation	-0	--	99	26	100					
Hip		-0	--	210	84	99	0	--	73	20	100
Knee		0	--	168	59	100	0	--	133	46	100
Ankle		0	--	158	52	100	0	--	159	52	100

Kofigurasi 5

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	66	16	100	-3	ABDUCT	70	17	100
	Rotation Bk/Fd	1	--	65	19	100	1	--	68	20	100
	Humeral Rot	-0	--	28	6	100	-0	--	30	7	100
Trunk	Flex/Ext	-42	EXTEN	360	114	100					
	Lateral Bending	-0	--	418	90	100					
	Rotation	-0	--	99	26	100					
Hip		-0	--	210	84	99	0	--	73	20	100
Knee		0	--	168	59	100	0	--	133	46	100
Ankle		0	--	158	52	100	0	--	159	52	100

Konfigurasi 6

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	66	16	100	-4	ABDUCT	70	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	64	19	100	0	--	67	20	100
	Humeral Rot	-0	--	29	7	100	-0	--	30	7	100
Trunk	Flex/Ext	-29	EXTEN	331	104	100					
	Lateral Bending	-0	--	292	63	100					
	Rotation	-0	--	91	24	100					
Hip		0	--	221	60	100	0	--	112	30	100
Knee		0	--	168	59	100	0	--	133	46	100
Ankle		0	--	158	52	100	0	--	159	52	100

Lampiran 6 Nilai *Capability Summary Chart* SSP pada lintasan menanjak (lanjutan)

Konfigurasi 7

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	66	16	100	-3	ABDUCT	70	17	100
	Rotation Bk/Fd	1	--	65	19	100	1	--	69	20	100
	Humeral Rot	-0	--	28	6	100	-0	--	30	7	100
Trunk	Flex/Ext	-45	EXTEN	337	106	100					
	Lateral Bending	-0	--	458	99	100					
	Rotation	-0	--	101	27	100					
	Hip	0	--	219	60	100	-0	--	256	103	99
	Knee	0	--	141	49	100	0	--	141	49	100
	Ankle	0	--	143	47	100	0	--	157	52	100

Kogirasi 8

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	57	14	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	69	17	100	-3	ABDUCT	70	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	66	19	100	0	--	68	20	100
	Humeral Rot	-0	--	34	8	100	-0	--	30	7	100
Trunk	Flex/Ext	-39	EXTEN	320	101	100					
	Lateral Bending	0	--	386	87	100					
	Rotation	0	--	102	27	100					
	Hip	0	--	224	61	100	-0	--	248	100	99
	Knee	0	--	141	49	100	0	--	141	49	100
	Ankle	0	--	143	47	100	0	--	157	52	100

Konfigurasi 9

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	57	14	100	-0	--	62	15	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	69	17	100	-3	ABDUCT	72	18	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	65	19	100	0	--	69	20	100
	Humeral Rot	-0	--	34	8	100	-0	--	34	8	100
Trunk	Flex/Ext	-29	EXTEN	301	95	100					
	Lateral Bending	0	--	302	68	100					
	Rotation	0	--	95	25	100					
	Hip	0	--	228	62	100	-0	--	240	96	99
	Knee	0	--	141	49	100	0	--	141	49	100
	Ankle	0	--	143	47	100	0	--	157	52	100

Lampiran 7 Nilai *Capability Summary Chart* SSp pada lintasan mendatar

Konfigurasi 2

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-0	--	57	14	100	-0	--	63	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	68	17	100	-3	ABDUCT	71	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	66	19	100	0	--	70	20	100
	Humeral Rot	-0	--	31	7	100	-0	--	32	7	100
Trunk	Flex/Ext	-26	EXTEN	354	112	100					
	Lateral Bending	0	--	279	63	100					
	Rotation	0	--	94	25	100					
Hip		0	--	212	58	100	-0	--	246	99	99
Knee		0	--	170	59	100	0	--	131	46	100
Ankle		0	--	168	56	100	0	--	162	54	100

Konfigurasi 3

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	66	16	100	-4	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	63	19	100	0	--	67	20	100
	Humeral Rot	-0	--	29	7	100	-0	--	30	7	100
Trunk	Flex/Ext	-25	EXTEN	354	111	100					
	Lateral Bending	0	--	272	61	100					
	Rotation	0	--	93	25	100					
Hip		-0	--	208	84	99	0	--	117	32	100
Knee		0	--	170	59	100	0	--	131	46	100
Ankle		0	--	168	56	100	0	--	159	53	100

Lampiran 7 Nilai *Capability Summary Chart* SSp pada lintasan mendatar (lanjutan)

Konfigurasi 4

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	66	16	100	-3	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	63	19	100	1	--	67	20	100
	Humeral Rot	-0	--	29	6	100	-0	--	29	7	100
Trunk	Flex/Ext	-38	EXTEN	364	115	100					
	Lateral Bending	0	--	388	87	100					
	Rotation	0	--	100	27	100					
Hip		-0	--	211	85	99	0	--	113	31	100
Knee		0	--	167	59	100	0	--	141	49	100
Ankle		0	--	151	50	100	0	--	157	52	100

Konfigurasi 5

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	66	16	100	-3	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	63	19	100	1	--	67	20	100
	Humeral Rot	-0	--	29	6	100	-0	--	29	7	100
Trunk	Flex/Ext	-38	EXTEN	364	115	100					
	Lateral Bending	0	--	388	87	100					
	Rotation	0	--	100	27	100					
Hip		-0	--	211	85	99	0	--	113	31	100
Knee		0	--	167	59	100	0	--	141	49	100
Ankle		0	--	151	50	100	0	--	157	52	100

Konfigurasi 6

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	25	5	100	0	--	28	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	66	16	100	-4	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	63	18	100	0	--	66	19	100
	Humeral Rot	-0	--	29	6	100	-0	--	29	7	100
Trunk	Flex/Ext	-31	EXTEN	348	110	100					
	Lateral Bending	0	--	316	71	100					
	Rotation	0	--	96	26	100					
Hip		-0	--	207	83	99	0	--	131	36	100
Knee		0	--	167	59	100	0	--	141	49	100
Ankle		0	--	151	50	100	0	--	157	52	100

Lampiran 7 Nilai *Capability Summary Chart* SSp pada lintasan mendatar (lanjutan)

Konfigurasi 7

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	66	16	100	-3	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	1	--	65	19	100	1	--	68	20	100
	Humeral Rot	-0	--	29	6	100	-0	--	29	7	100
Trunk	Flex/Ext	-47	EXTEN	333	105	100					
	Lateral Bending	0	--	503	113	100					
	Rotation	0	--	107	29	100					
Hip		-0	--	204	82	99	-0	--	246	99	99
Knee		0	--	118	41	100	0	--	152	53	100
Ankle		-0	--	131	43	100	0	--	153	51	100

Konfigurasi 8

Capability Summary Chart

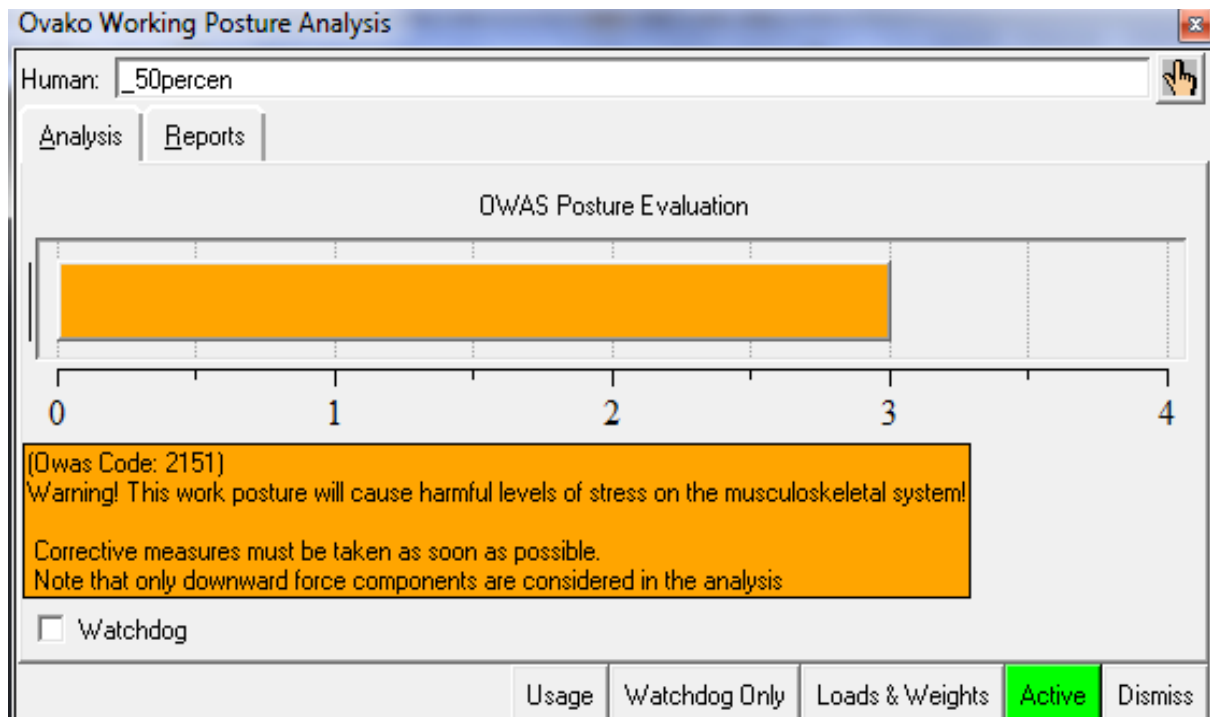
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	26	5	100	0	--	29	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	66	16	100	-3	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	64	19	100	1	--	67	20	100
	Humeral Rot	-0	--	29	7	100	-0	--	29	7	100
Trunk	Flex/Ext	-39	EXTEN	333	105	100					
	Lateral Bending	0	--	395	89	100					
	Rotation	0	--	101	27	100					
Hip		-0	--	204	82	99	-0	--	244	98	99
Knee		0	--	155	54	100	0	--	146	51	100
Ankle		-0	--	145	48	100	0	--	155	51	100

Konfigurasi 9

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-0	--	60	15	100	0	--	31	6	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	64	16	100	-3	ABDUCT	67	16	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	63	18	100	0	--	67	19	100
	Humeral Rot	-0	--	28	6	100	-0	--	29	6	100
Trunk	Flex/Ext	-33	EXTEN	312	98	100					
	Lateral Bending	0	--	337	76	100					
	Rotation	0	--	97	26	100					
Hip		0	--	226	62	100	0	--	136	37	100
Knee		0	--	154	54	100	0	--	144	51	100
Ankle		0	--	148	49	100	0	--	156	51	100

Lampiran 8 Nilai OWAS seluruh desain



Lampiran 9 Nilai RULA seluruh desain

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 3
 Lower arm: 3
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 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

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

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 5
 Action: Investigation and changes are required soon.

Update Analysis

Usage Dismiss

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 3
 Lower arm: 3
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 Total: 4

Body Group B Posture Rating

Neck: 1
 Trunk: 2
 Total: 4

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Supported

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

Legs and Feet Rating

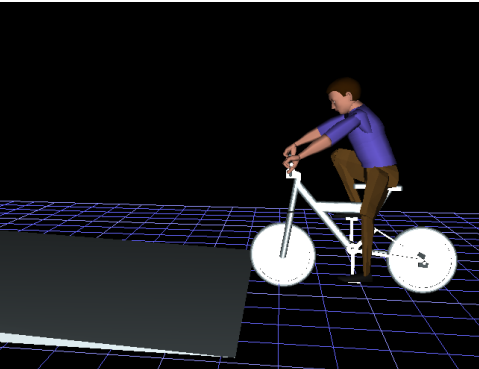
Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 4
 Action: Further investigation needed. Changes may be required.

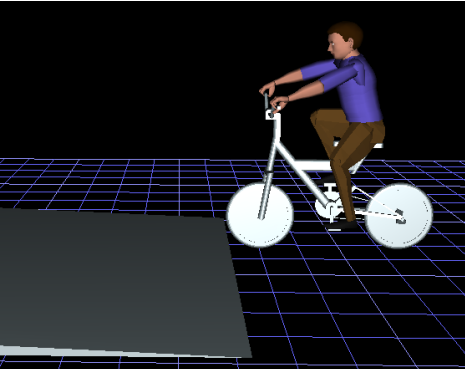
Update Analysis

Usage Dismiss

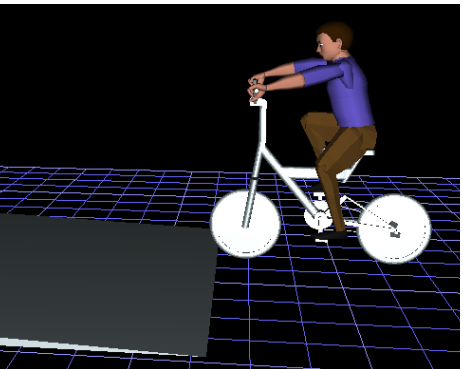
Lampiran 10 Tampilan Postur tubuh seluruh konfigurasi



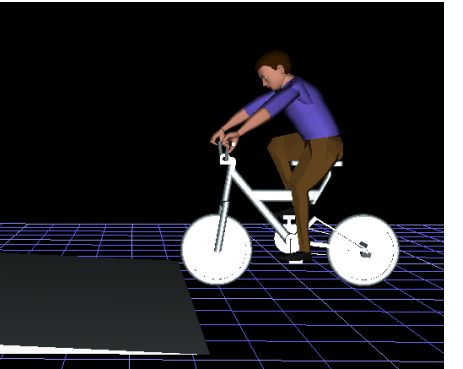
Konfigurasi 1



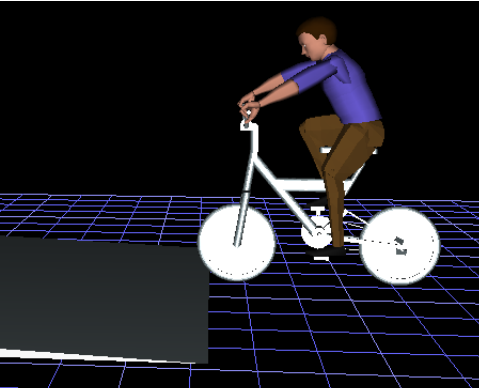
Konfigurasi 2



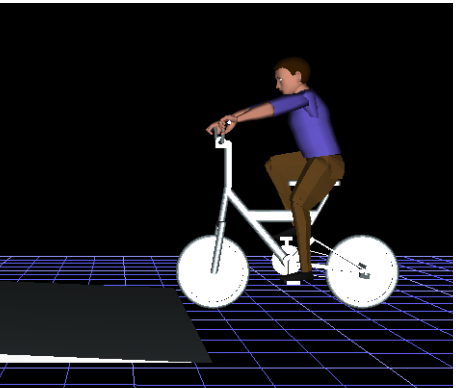
Konfigurasi 3



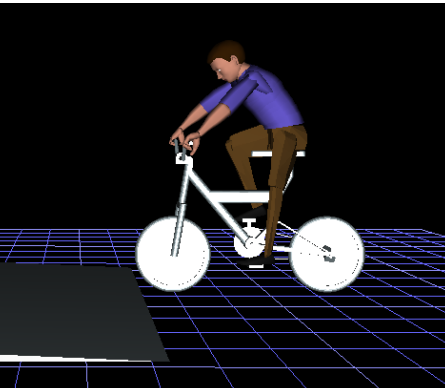
Konfigurasi 4



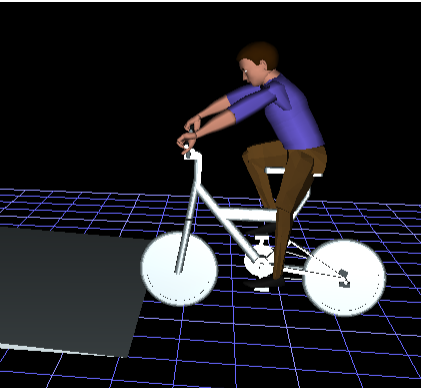
Konfigurasi 5



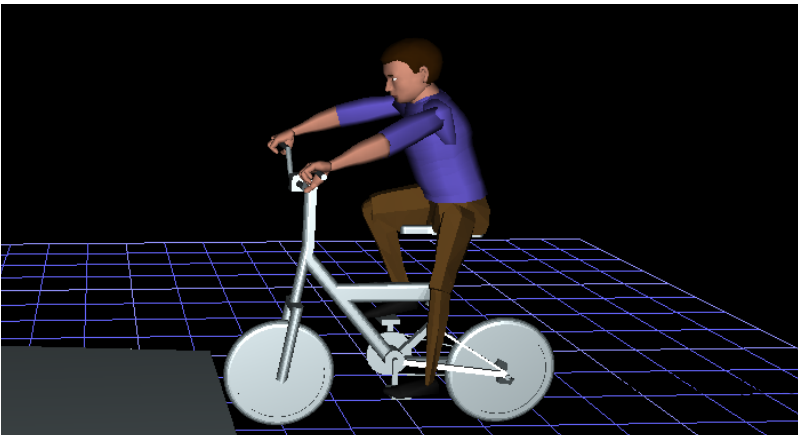
Konfigurasi 6



Konfigurasi 7



Konfigurasi 8



Konfigurasi 9