



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN KURSI MASINIS YANG ERGONOMIS
PADA KRL *COMMUTER* JABODETABEK DENGAN
MENGUNAKAN *VIRTUAL HUMAN MODELLING***

SKRIPSI

**CITRA PRANA PARAMITA
0806337472**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN KURSI MASINIS YANG ERGONOMIS
PADA KRL *COMMUTER* JABODETABEK DENGAN
MENGUNAKAN *VIRTUAL HUMAN MODELLING***

SKRIPSI

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

**CITRA PRANA PARAMITA
0806337472**

**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 yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Citra Prana Paramita

NPM : 0806337472

Tanda tangan :



Tanggal : Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Citra Prana Paramita
NPM : 0806337472
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi :

**PERANCANGAN KURSI MASINIS YANG ERGONOMIS PADA KRL
COMMUTER JABODETABEK DENGAN MENGGUNAKAN *VIRTUAL
HUMAN MODELLING***

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 MSIE ()
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MHI ()
Penguji : Arian Dhini, S.T., M.T. ()
Penguji : Ir. Dendi P. Ishak, MSIE ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 20 Juni 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas segala Petunjuk-Nya dan segala Rahmat-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan dapat terwujud tanpa bimbingan, bantuan, dan sumbangan pikiran dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE, yang telah memberikan banyak waktu, tenaga, pikiran, kesabaran serta dukungan untuk memberikan saran serta pengarahan selama proses pengerjaan skripsi ini.
2. Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE, Maya Arlini Puspasari S.T., M.T., MBA., Dwinta Utari S.T., M.T., MBA yang bersedia meluangkan waktu hampir setiap minggunya untuk selalu memberikan masukan dan evaluasi yang berkaitan dengan ergonomi.
3. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Industri yang telah membimbing dan memberikan wawasan yang sangat berharga kepada penulis selama 4 tahun masa kuliah di Teknik Industri UI.
4. Bapak Yanto Yulianto selaku Manajer Teknik Sarana PT. KCJ yang telah banyak membantu perihal perijinan dan pengambilan data dalam penelitian ini.
5. Orang tua serta adik tercinta, atas seluruh kasih sayang, doa dan dukungan yang tiada henti.
6. Karyawan Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang telah memberikan bantuan dalam menyediakan waktu menggunakan laboratorium dan mengurus surat-surat yang berhubungan dengan skripsi ini.
7. Asisten laboratorium Ergonomi: Meilin, Ivan, Rengkung, Dwiki, Aisyah, Neni, Iif, Sendhi, Nauli, Rina, Satrio, Adi Wira, Pandhe, Andri serta mas Taufan selaku laboran Ergonomics Centre atas kerja sama dan bantuannya.

8. Aninditha Kemala D., Aisyah Iadha N., Meilinda Dorris S., dan Sofrida Rosita selaku sahabat-sahabat terdekat penulis yang senantiasa membantu, memberikan semangat dan berjuang bersama dalam melewati masa-masa senang dan sulit di Teknik Industri..
9. Stephanie Rengkung, Tegar Septyan, Adissa Andam Dewi, Shelly Apsari, Steffi Link, Neni Diankrisna, Nurintan Nauli, Bram Bratanata, Reza M. Alfaiz, Pramudya Rizfa D., Sendhi Rachmawan, dan seluruh teman-teman lain yang seringkali ada di lab *Ergonomics Centre* untuk setiap waktu kita bertukar pikiran, dan segala bentuk penghiburan dan motivasi yang kalian berikan di lab.
10. Masinis *Commuter Line* Jabodetabek, atas waktu dan kerjasamanya selama pengumpulan data.
11. Seluruh mahasiswa Teknik Industri angkatan 2008, yang telah banyak membantu dalam pembuatan skripsi ini.
12. Seluruh pihak lain yang telah membantu penulis dari awal penelitian sampai selesainya skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna dikarenakan oleh keterbatasan penulis. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini dapat memberikan manfaat pada masyarakat luas khususnya dunia pendidikan dan industri.

Depok, Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Citra Prana Paramita
NPM : 0806337472
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:

**Perancangan Kursi Masinis yang Ergonomis pada KRL Commuter
Jabodetabek dengan Menggunakan *Virtual Human Modelling*.**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Juni 2012
Yang Menyatakan



Citra Prana Paramita

ABSTRAK

Nama : Citra Prana Paramita
Departemen : Teknik Industri
Judul Skripsi : Perancangan Kursi Masinis yang Ergonomis pada KRL
Commuter Jabodetabek dengan Menggunakan *Virtual Human Modelling*.

Postur kerja yang baik pada masinis sangatlah diperlukan pada lingkungan kerja yang cenderung statis, terutama untuk meningkatkan konsentrasi, performa serta mengurangi resiko *musculoskeletal disorder*. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk memberikan usulan desain kursi terbaik, baik dari segi ukuran dan material yang mampu mengakomodasi masinis dari segala bentuk resiko cedera akibat postur maupun getaran yang ditimbulkan oleh kereta. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) yang diperoleh menggunakan konfigurasi *Virtual Human Modeling* pada *software* Jack dan pengukuran *Whole Body Vibration*. Hasil yang terbaik merupakan usulan desain yang memberikan nilai PEI terendah dan memiliki kemampuan meredam getaran terbaik.

Kata Kunci:

Desain Ergonomi, Antropometri, *Virtual Human Modelling*, *Posture Evaluation Index*, Getaran

ABSTRACT

Name : Citra Prana Paramita
Department : Industrial Engineering
Title : Design of Ergonomic Seat for Commuter Jabodetabek Train Drivers Using Virtual Human Modelling

Appropriate working posture is really important for train driver since their work environment is tend to be static. Good working posture can increase train driver's concentration, performance and reduce the risk of musculoskeletal disorder. The study was conducted with the purpose to provide the best proposed seat design, with appropriate seat size based on train driver's anthropometry and appropriate material to accommodate them from the risk of injury due to posture and vibration caused by train. The research was conducted by comparing the value of Posture Evaluation Index (PEI) obtained using the configuration of the Virtual Human Modeling by Jack software and also Whole Body Vibration measurement. The best design is selected from which can give the lowest value of PEI and have the best material ability to reduce vibration.

Key words:

Ergonomic Design, Anthropometry, Virtual Human Modelling, Posture Evaluation Index, Vibration

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3. Rumusan Permasalahan	6
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Pembatasan Masalah	6
1.6. Metodologi Penelitian	7
1.7. Sistematika Penulisan	10
2. DASAR TEORI	12
2.1. Ergonomi	12
2.2. <i>Work-related Musculoskeletal Disorder</i> (WMSD)	15
2.3. Antropometri	16
2.4. <i>Virtual Environment</i>	23
2.5. Software UGS NX 7.0	25
2.6. Software Jack	25
2.7. Metode <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI)	29
2.7.1. <i>Static Strength Prediction</i>	33
2.7.2. <i>Lower Back Analysis</i>	34
2.7.3. <i>Ovako Working Posture Analysis</i> (OWAS)	36
2.7.4. <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> (RULA)	38
2.8. Getaran/ <i>Vibration</i>	41
2.8.1. Pengertian Getaran/ <i>Vibration</i>	41
2.8.2. Dampak Getaran Seluruh Tubuh terhadap Kesehatan	42
2.8.3. Standard Baku Tingkat Getaran	43
2.9. Material Kursi	44

3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	45
3.1. Pengumpulan Data	45
3.1.1. Deskripsi Data.....	47
3.1.2. Data Identifikasi Keluhan Masinis.....	48
3.1.3. Data Ukuran Kursi dan Kabin	50
3.1.4. Data Antropometri	52
3.2. Uji Normalitas Data	54
3.3. Pengolahan Data	56
3.3.1. Penentuan Dimensi dari Desain Usulan	56
3.3.2. Penggunaan Persentil pada Desain Usulan.....	57
3.4. Perancangan Model Simulasi Postur Duduk	59
3.4.1. Penentuan Konfigurasi	59
3.4.2. Alur Pembuatan Model	67
3.4.2.1. Pembuatan <i>Virtual Environment</i>	68
3.4.2.2. Pembuatan <i>Virtual Human Model</i>	69
3.4.2.3. Pembentukan Postur Duduk	71
3.4.3. Analisis Data Menggunakan <i>Task Analysis Toolkit</i> (TAT).....	73
3.4.3.1. <i>Static Strength Prediction</i> (SSP).....	75
3.4.3.2. <i>Lower Back Analysis</i> (LBA).....	75
3.4.3.3. <i>Ovako Working Posture Analysis System</i> (OWAS).....	76
3.4.3.4. <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> (RULA)	77
3.4.4. Perhitungan <i>Nilai Posture Evaluation Index</i> (PEI).....	78
3.5. Pengukuran Getaran <i>Whole Body Vibration</i>	81
4. PEMBAHASAN	85
4.1. Analisis Postur dengan Desain Aktual	85
4.1.1. Analisis Persentil 95 dengan Desain Kursi Aktual	85
4.1.2. Analisis Persentil 5 dengan Desain Kursi Aktual	90
4.2. Analisis Postur Duduk dengan Desain Usulan	94
4.2.1. Penentuan Desain Terbaik	101
4.3. Analisis terhadap <i>Whole Body Vibration</i> pada Kursi Masinis	102
5. KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1. Kesimpulan	104
5.2. Saran	105

DAFTAR REFERENSI

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pembobotan Nilai pada OWAS	38
Tabel 2.2	Pembobotan Nilai pada RULA	40
Tabel 2.3	Pengklasifikasian Getaran Berdasarkan ISO	44
Tabel 3.1	Daftar Armada KRL PT. KCJ.....	46
Tabel 3.2	Dimensi Ukuran Kursi Aktual	51
Tabel 3.3	Dimensi Ukuran Kabin Aktual	51
Tabel 3.4	Persentil Data Antropometri Masinis	53
Tabel 3.5	Hasil Uji Normalitas Data Antropometri.....	55
Tabel 3.6	Rumus Perhitungan Dimensi Kursi.....	57
Tabel 3.7	Acuan Data Antropometri untuk Perhitungan Dimensi Kursi.....	58
Tabel 3.8	Nilai Minimum dan Maksimum untuk Ukuran Dimensi Kursi Usulan.....	59
Tabel 3.9	Daftar Konfigurasi Postur Duduk pada <i>Virtual Human Model</i>	60
Tabel 3.10	Penjelasan Kode OWAS.....	77
Tabel 3.11	Tabel Kapabilitas SSP untuk Postur Duduk Standar.....	80
Tabel 3.12	Tabel Kapabilitas SSP untuk Postur Duduk Konfigurasi Aktual	80
Tabel 3.13	Rekapitulasi Nilai LBA, OWAS dan RULA untuk Konfigurasi Aktual.....	80
Tabel 3.14	Pengukuran Getaran Kereta dengan Banyak Muatan.....	82
Tabel 3.15	Pengukuran Getaran Kereta dengan Sedikit Muatan	82
Tabel 3.16	Klasifikasi <i>Daily Vibration Exposure</i>	83
Tabel 3.17	Rekapitulasi <i>Daily Vibration Exposure</i> Kereta dengan Banyak Muatan.....	84
Tabel 3.18	Rekapitulasi <i>Daily Vibration Exposure</i> Kereta dengan Sedikit Muatan.....	84
Tabel 4.1	Rekapitulasi Data Antropometri Masinis dengan Persentil 95	85
Tabel 4.2	<i>Capability Summary Chart</i> Postur Duduk Standar	86
Tabel 4.3	<i>Capability Summary Chart</i> Desain Aktual Persentil 95.....	87
Tabel 4.4	Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi Desain Aktual Persentil 95... 90	
Tabel 4.5	Rekapitulasi Data Antropometri Masinis dengan Persentil 5 (cm).. 90	

Tabel 4.6	<i>Capability Summary Chart</i> Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5	91
Tabel 4.7	Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5	94
Tabel 4.8	Rekapitulasi 12 Konfigurasi Usulan yang Akan Diujikan	94
Tabel 4.9	Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan.....	96
Tabel 4.10	Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95.....	99
Tabel 4.11	Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5 ..	100

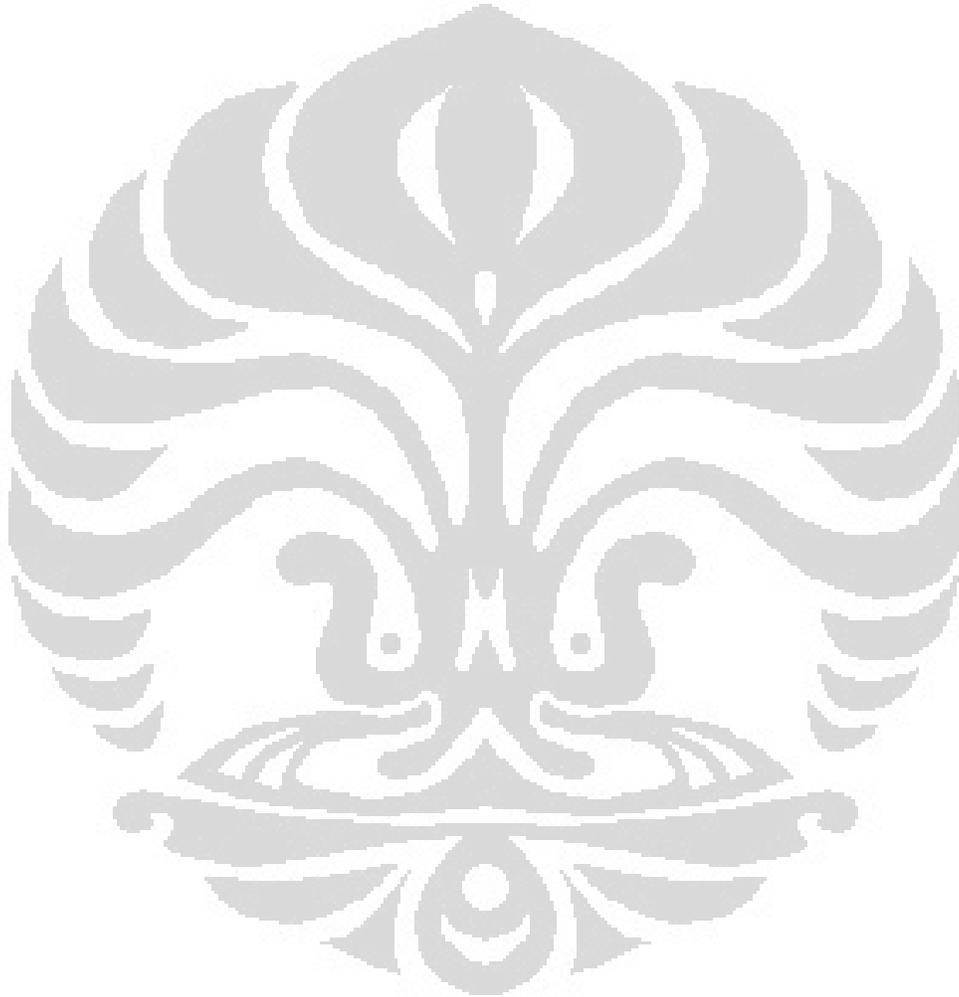


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Jumlah Korban dan Kecelakaan Kereta Api (periode 2007 – 2011).....	1
Gambar 1.2	Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Kereta Api (2007 - 2011)...	2
Gambar 1.3	Keluhan-Keluhan yang Dirasakan Masinis Selama Bekerja	3
Gambar 1.4	Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1.5	Diagram Alir Metodologi Penelitian	9
Gambar 2.1	Antropometri Tubuh Manusia yang Diukur Dimensinya.....	18
Gambar 2.2	Distribusi Normal dan Perhitungan Persentil	22
Gambar 2.3	Diagram Alir Metode PEI.....	30
Gambar 2.4	Contoh Output SSP	34
Gambar 2.5	Contoh Output Analisis LBA.....	36
Gambar 2.6	Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh.....	37
Gambar 2.7	Contoh Output Analisis OWAS	38
Gambar 2.8	Pengelompokan Tubuh Metode RULA.....	39
Gambar 2.9	Contoh Output Analisis RULA.....	41
Gambar 2.10	Gambaran Suatu Getaran.....	41
Gambar 3.1	(a) Kereta yang Dimiliki PT. KAI, (b) Kereta yang Dimiliki PT. KCJ.....	46
Gambar 3.2	Diagram Pie Usia Responden	48
Gambar 3.3	Keluhan pada Bagian Tubuh Masinis Selama Bekerja	49
Gambar 3.4	Diagram Pareto Keluhan Masinis	49
Gambar 3.5	Postur Aktual Masinis	50
Gambar 3.6	Desain Aktual dengan <i>Software</i> NX 7 (a) Tampak Depan, (b) Tampak Atas, (c) Tampak Samping, (d) Isometri	52
Gambar 3.7	Grafik Uji Normalitas pada Minitab.....	55
Gambar 3.8	Penampang Kursi	56
Gambar 3.9	Perbandingan Tiga Jenis Desain Kursi terhadap Paparan Getaran yang Dirasakan	61
Gambar 3.10	(a) Saat Penyangga Dibuka, (b) Saat Penyangga Dilipat	62

Gambar 3.11	Konfigurasi 1a (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri	63
Gambar 3.12	Konfigurasi 1b (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri	64
Gambar 3.13	Konfigurasi 2a	64
Gambar 3.14	Konfigurasi 2b	64
Gambar 3.15	Konfigurasi 3a	65
Gambar 3.16	Konfigurasi 3b	65
Gambar 3.17	Konfigurasi 4a (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri	66
Gambar 3.18	Konfigurasi 4b (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri	66
Gambar 3.19	Konfigurasi 5a	67
Gambar 3.20	Konfigurasi 5b	67
Gambar 3.21	Konfigurasi 6a	67
Gambar 3.22	Konfigurasi 6b	67
Gambar 3.23	Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi	68
Gambar 3.24	Contoh <i>Virtual Environment</i> dalam <i>Software Jack 6.1</i>	69
Gambar 3.25	<i>Dialog Box Build Human</i>	70
Gambar 3.26	<i>Virtual Human</i> dengan Persentil 5	71
Gambar 3.27	Postur pada <i>Posture Library</i>	72
Gambar 3.28	Pembuatan Postur Tubuh dengan <i>Human Control</i>	73
Gambar 3.29	Tampilan Hasil Analisis SSP	75
Gambar 3.30	Tampilan Hasil Analisis LBA	76
Gambar 3.31	Tampilan Hasil Analisis OWAS	77
Gambar 3.32	Tampilan Hasil Analisis RULA	78
Gambar 3.33	Cara Pengukuran <i>Whole Body Vibration</i>	81
Gambar 3.34	Alat Ukur Getaran HVM 100	81
Gambar 3.35	<i>Software</i> Kalkulator <i>Whole Body Vibration</i>	8
Gambar 4. 1	Grafik LBA Desain Aktual Persentil 95	87
Gambar 4. 2	Grafik OWAS Konfigurasi Desain Aktual Persentil 95	88
Gambar 4. 3	Nilai RULA Konfigurasi Desain Aktual Persentil 95	89

Gambar 4 .4	Grafik LBA Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5.....	91
Gambar 4 .5	Grafik OWAS Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5.....	92
Gambar 4 .6	Nilai RULA Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5	93
Gambar 4 .7	Perbandingan Nilai PEI pada Seluruh Konfigurasi.....	100
Gambar 4 .8	Perbedaan Paparan Getaran Saat Kereta Bermuatan Banyak dan Sedikit.....	102



DAFTAR SINGKATAN

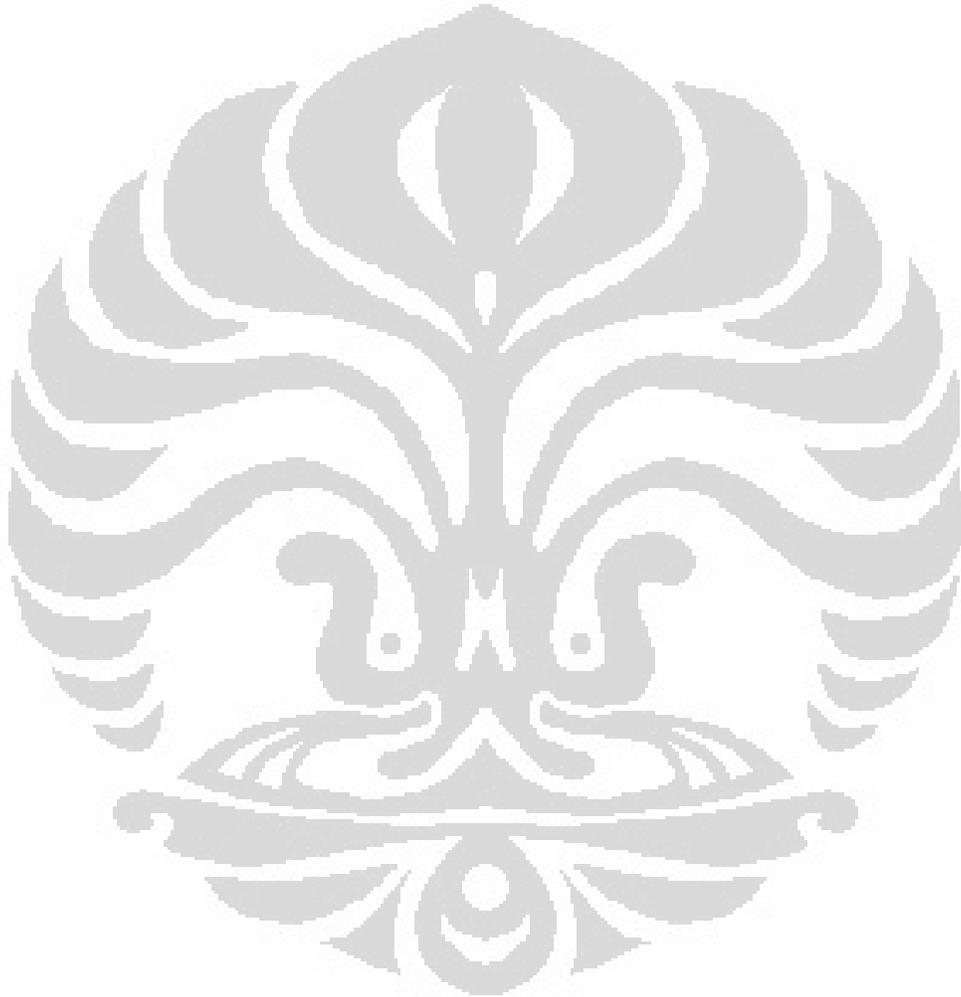


ANSUR	Army Natick Survey User Requirements
CAD	Computer-aided Design
HFE	Human Factors and Ergonomics
LBA	Low Back Analysis
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
OWAS	Ovako Working Posture Analysis System
PEI	Posture Evaluation Index
RMI	Repetitive Motion Injury
RULA	Rapid Upper Limb Assessment
SSP	Static Strength Prediction
TAT	Task Analysis Toolkit
VDU	Virtual Display Unit
VE	Virtual Environment
WMSD	Work-Related Musculoskeletal Disorder

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Antropometri Masinis

Lampiran 2. Foto Pengambilan Data

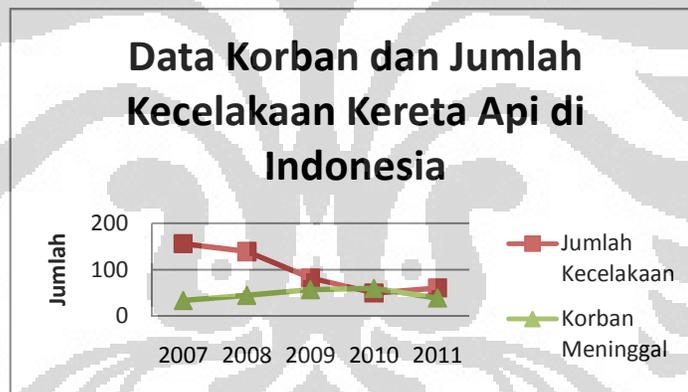


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Saat ini sistem lalu lintas perkeretaapian di Indonesia seringkali mengalami berbagai macam permasalahan, diantaranya keterlambatan, kecelakaan, dan berbagai masalah lain yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas layanan kereta api. Permasalahan yang paling fatal terjadi dan berkaitan dengan keselamatan nyawa manusia adalah kecelakaan. Gambar 1.1 dibawah ini menunjukkan data statistik jumlah kecelakaan kereta api yang berhasil di rekapitulasi oleh Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) mulai tahun 2007 hingga 2011.



Gambar 1.1 Jumlah Korban dan Kecelakaan Kereta Api (periode 2007 – 2011)

Sumber : Data Investigasi KNKT

Menurut data investigasi tersebut, kecelakaan kereta api yang selama ini terjadi disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya akibat malfungsi pada sarana dan prasarana, operasional, sumber daya manusia (SDM) operator dan eksternal. Laporan tersebut menyebutkan pula bahwa salah satu dari 3 penyebab utama

kecelakaan kereta api adalah akibat malfungsi pada SDM, seperti yang tersaji dalam gambar 1.2 berikut ini.



Gambar 1.2 Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Kereta Api (2007 - 2011)

Sumber : Data Investigasi KNKT

Malfungsi pada SDM atau yang lebih dikenal dengan *human error* merupakan keputusan manusia yang tidak tepat atau tidak diinginkan atau perilaku yang mengurangi atau memiliki potensi untuk mengurangi efektifitas dan keselamatan sistem kinerja (Sanders dan McCormick, 1993). *Human error* yang dimaksud dalam pengertian ini tak berarti hanya kesalahan yang disebabkan oleh operator/masinis saja, melainkan kesalahan-kesalahan lain yang bersumber dari manusia, seperti kesalahan saat mendesain dan mengoperasikan sistem yang dapat saja dilakukan oleh pendesain peralatan, manajer, supervisor ataupun personil maintenance.

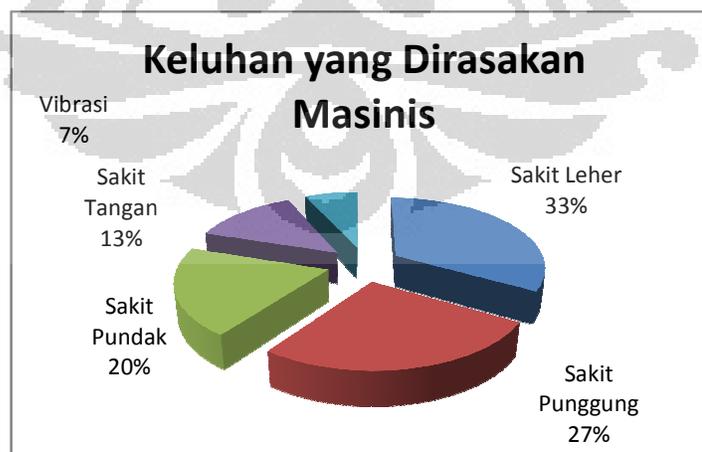
Mengendarai kendaraan sangatlah menuntut penuh aturan tentang kemampuan manusia termasuk persepsi, membuat keputusan, dan *motor skills*. Kemampuan ini seharusnya selalu dapat ditunjukkan dengan prima oleh seorang masinis dalam kondisi apapun. Atas dasar hal inilah, maka penelitian ini pun telah diarahkan untuk menjawab tantangan yakni bagaimana cara mempertahankan dan meningkatkan produktivitas masinis dalam bekerja. Wignjosobroto (2000) menyebutkan bahwa upaya meningkatkan produktivitas dan performa kerja dapat dicapai melalui :

Universitas Indonesia

- Pengaturan kondisi lingkungan kerja yang lebih ergonomis sehingga mampu memberikan kenyamanan dalam arti fisik maupun sosial psikologis.
- Pemanfaatan dan pendayagunaan secara maksimal semua potensi SDM secara terorganisir melalui analisis penugasan secara tepat.

Sejumlah ilmuwan pun yakin bahwa bekerja dalam keadaan tegang atau dalam waktu yang lama pada posisi yang tidak nyaman dan tidak wajar dapat mengundang resiko. Menurut Grandjean (1988) dan Pheasant (1991), sikap kerja yang statis dalam jangka waktu yang lama lebih cepat menimbulkan keluhan pada sistem muskuloskeletal. Keluhan ini dirasakan pada bagian-bagian otot skeletal yaitu meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang, dan otot-otot bagian bawah. Prof. Allan Hedge (2009) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa postur duduk statis berpotensi menyebabkan terjadinya *musculoskeletal disorders* (MSD) hingga 50% dengan resiko terbesarnya terjadi pada populasi dalam usia 20 hingga 45 tahun.

Selain itu, hasil penelitian pendahuluan pun telah dilakukan oleh Dimas (2010) menyebutkan bahwa terdapat beberapa keluhan yang dirasakan oleh masinis saat mengoperasikan KRL. Sebanyak 33,3% responden mengeluh sakit leher, 26,7% sakit punggung, 20% sakit pundak, 13,3% sakit tangan dan 6,67% mengeluh akibat terpapar vibrasi/getaran kereta api.



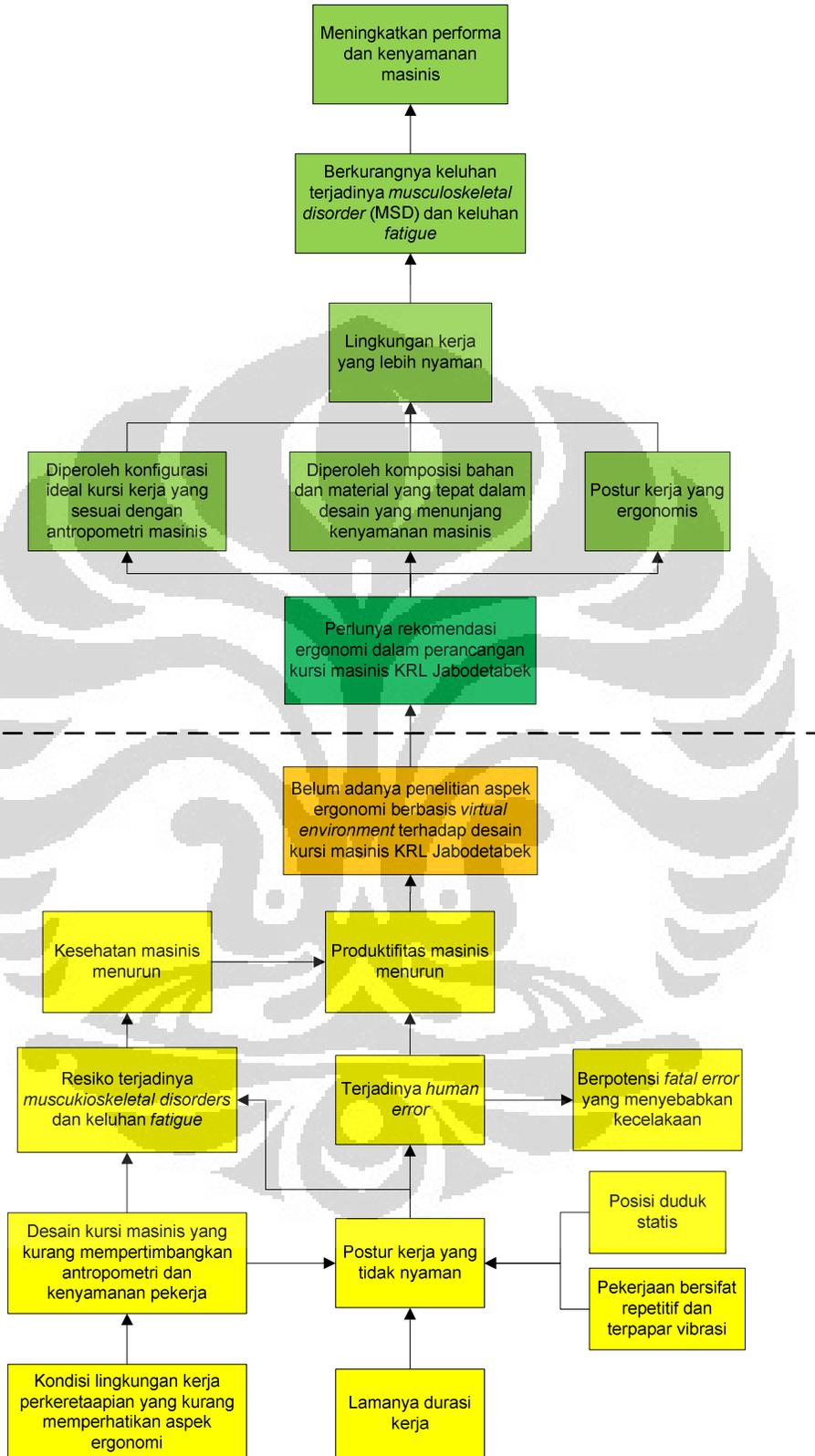
Gambar 1.3 Keluhan-Keluhan yang Dirasakan Masinis Selama Bekerja

Ketidaknyamanan lingkungan kerja yang kurang memberikan keleluasaan bergerak bagi pekerja dan tidak teraturnya sistem kerja dapat menyebabkan pekerja seringkali melakukan pekerjaan yang tidak sesuai dengan *Standard Operation Procedure* (SOP) akibat konsentrasi yang menurun. Hal ini tentunya sangat fatal dilakukan bagi seorang masinis yang dalam pekerjaannya harus bertanggung jawab terhadap keselamatan seluruh penumpangnya sampai ke tujuan.

Terlepas dari seorang masinis sudah berpengalaman atau belum, lingkungan kerja tetap perlu disesuaikan dengan kebutuhan. Pada penelitian ini, analisis ergonomi akan dilakukan untuk menentukan desain yang tepat pada kursi masinis meliputi ukuran dan material yang tepat dan dapat mendukung postur masinis serta mengurangi dampak paparan vibrasi yang dialami masinis.

1.2. Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, dapat dibuat suatu diagram keterkaitan masalah seperti yang terlihat pada Gambar 1.1. Diagram keterkaitan masalah ini memberikan gambaran mengenai hubungan dan interaksi antara sub-sub masalah yang melandasi penelitian ini secara utuh dan detail mulai dari penyebab masalah hingga tujuan yang ingin dicapai.



Gambar 1.4 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3. Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah di atas, maka didapatkanlah rumusan permasalahan bahwa saat ini belum terdapat penelitian mengenai aspek ergonomi desain kursi masinis KRL Jabodetabek. Hal tersebutlah yang mendasari perlunya suatu penelitian terhadap desain kursi masinis yang ergonomis serta mudah diaplikasikan, tepat guna dan tepat sasaran.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk memberikan usulan rancangan kursi masinis melalui pendekatan ergonomi yang sesuai dengan postur pengguna dan dengan material yang tepat, guna mengurangi keluhan *musculoskeletal disorder*, dapat meredam getaran serta meningkatkan kenyamanan kerja. Tujuan ini dapat dicapai dengan membandingkan konfigurasi terbaik yang dapat memberikan nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) terbaik saat simulasi pada *virtual environment* (Jack software).

1.5. Pembatasan Masalah

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

1. Penelitian hanya dilakukan pada masinis Kereta Api Listrik (KRL) *Commuter Line* pada lintas Bogor hingga Jakarta Kota.
2. Pengumpulan data dan informasi dalam penelitian ini didapatkan melalui hasil observasi/pengukuran langsung, kuesioner dan wawancara yang dilakukan terhadap masinis KRL *Commuter Line*.
3. Pengumpulan data antropometri masinis dan ukuran kursi yang saat ini digunakan, dilakukan dengan menggunakan antropometer serta alat ukur lainnya dengan cara pengukuran langsung pada objek tersebut.
4. Pemecahan masalah rancangan desain kursi yang ergonomis dilakukan dengan pedoman data antropometri.
5. Model simulasi dan analisis ergonomi terhadap desain produk kursi dilakukan dengan menggunakan *ergonomic tools* yang terdapat pada *Jack Analysis Toolkit*, Jack™ 6.1.

6. Penentuan usulan material yang digunakan didapatkan melalui studi literatur.
7. Model usulan desain dan ukuran kursi pada penelitian ini merupakan hasil konseptual pada *virtual environment* yang diperoleh dari hasil simulasi dan hanya berupa usulan perbaikan yang dapat diimplementasikan oleh PT. KAI, tidak sampai tahap mengimplementasi usulan yang diajukan.
8. Desain yang diajukan pada hasil penelitian dibuat tanpa mempertimbangkan biaya serta mekanisme pembuatan.

1.6. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian pada skripsi ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang disusun secara sistematis. Berikut ini adalah rincian pelaksanaan penelitian mulai dari tahap persiapan penelitian hingga penelitian selesai dilaksanakan.

1. Tahap Persiapan Penelitian

Dalam tahap ini, pertama-tama dilakukan penentuan tema dan permasalahan yang ingin diteliti serta dianalisis lebih dalam. Penelitian kemudian dilanjutkan dengan mencari dasar teori yang menguatkan latar belakang penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan observasi serta wawancara untuk memberikan gambaran perlunya penelitian ini dilakukan. Penyusunan landasan teori juga dibuat pada tahapan ini.

2. Tahap Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini, dilakukan identifikasi dan pengumpulan data-data yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian. Data yang dibutuhkan diantaranya adalah data antropometri masinis, postur duduk masinis, ukuran dimensi kursi dan kabin, serta besarnya getaran yang terpapar oleh masinis selama pekerjaannya dengan menggunakan HVS Larson Davis Accelerometer. Tahap pengumpulan data ini dilakukan dengan pengukuran langsung dan kuesioner.

3. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dilakukan setelah data yang dikumpulkan mencukupi. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software* Jack 6.1 dan NX 7. Tahap pengolahan data diawali dengan pembuatan model

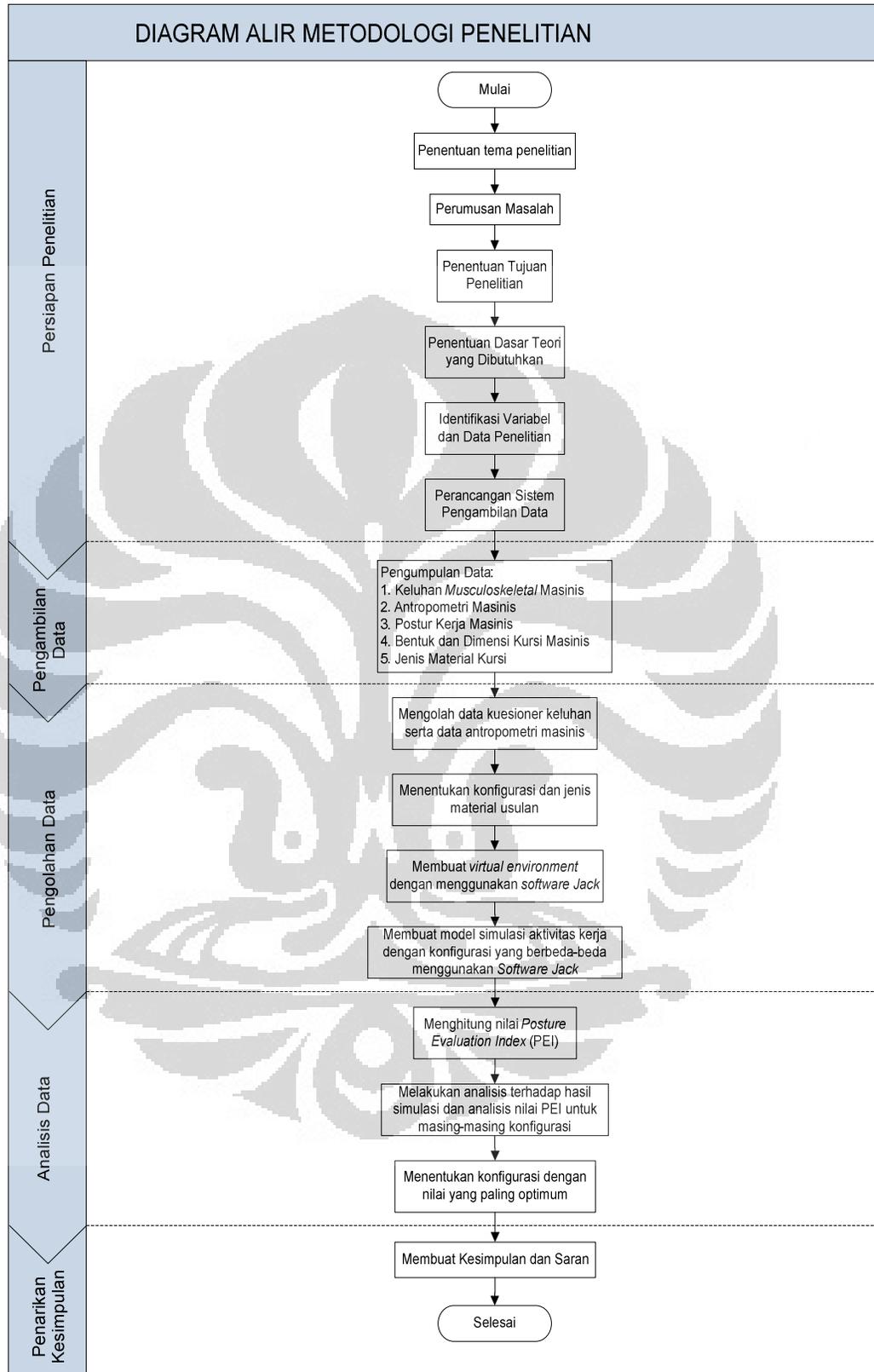
konfigurasi kursi menggunakan *software* NX 7. Kemudian bentuk visual model yang telah dibuat tersebut diterjemahkan ke dalam *virtual environment* pada *software* Jack 6.1. Dalam *software* Jack ini pula dibentuk model manusia berdasarkan data antropometri masinis. Dari model manusia ini kemudian dibentuk postur duduk masinis pada fasilitas kerjanya yang telah dimasukkan ke dalam *virtual environment software* Jack. Selain itu, data getaran juga diolah untuk mendapatkan besaran getaran akumulasi yang dialami masinis selama 1 shift pekerjaannya, yaitu 8 jam kerja.

4. Tahap Analisis Data

Analisis dilakukan dengan melakukan pengolahan hasil simulasi yang dikeluarkan oleh *software* Jack sehingga diperoleh nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI ini digunakan untuk menilai kualitas ergonomi postur kerja yang dihasilkan dari setiap konfigurasi, sehingga akan didapatkan usulan perbaikan yang paling ideal secara ergonomis untuk setiap aktivitas kerja yang ada. Selain itu, besaran akumulasi getaran terpapar oleh masinis selanjutnya dijadikan acuan untuk memberikan rekomendasi material yang tepat yang dapat mengurangi getaran tersebut.

5. Tahap Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat dan model simulasi kerja yang telah dirancang, maka keseluruhan penelitian ini dapat disimpulkan untuk kemudian diberikan saran dan masukan yang berguna bagi pihak yang terkait dengan penelitian ini. Diagram alir metodologi penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut pada Gambar 1.3.



Gambar 1.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Universitas Indonesia

1.7. Sistematika Penulisan

Penyusunan penelitian ini dilakukan dengan mengikuti aturan sistematika penulisan yang baku sehingga memudahkan dalam proses penyusunannya. Laporan ini terdiri dari 5 bab yaitu pendahuluan, landasan teori, pengumpulan dan pengolahan data, analisis serta kesimpulan dan saran.

Bab 1 adalah bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini. Hal tersebut diperjelas dengan menguraikan tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari rumusan permasalahan maupun dari diagram keterkaitan masalah. Ruang lingkup yang membatasi penelitian ini dibuat untuk memperjelas tujuan penelitian. Selain itu juga dijelaskan mengenai metodologi penelitian, dan sistematika penulisan dengan tujuan memberikan gambaran awal tentang langkah-langkah dalam proses penyusunan penelitian.

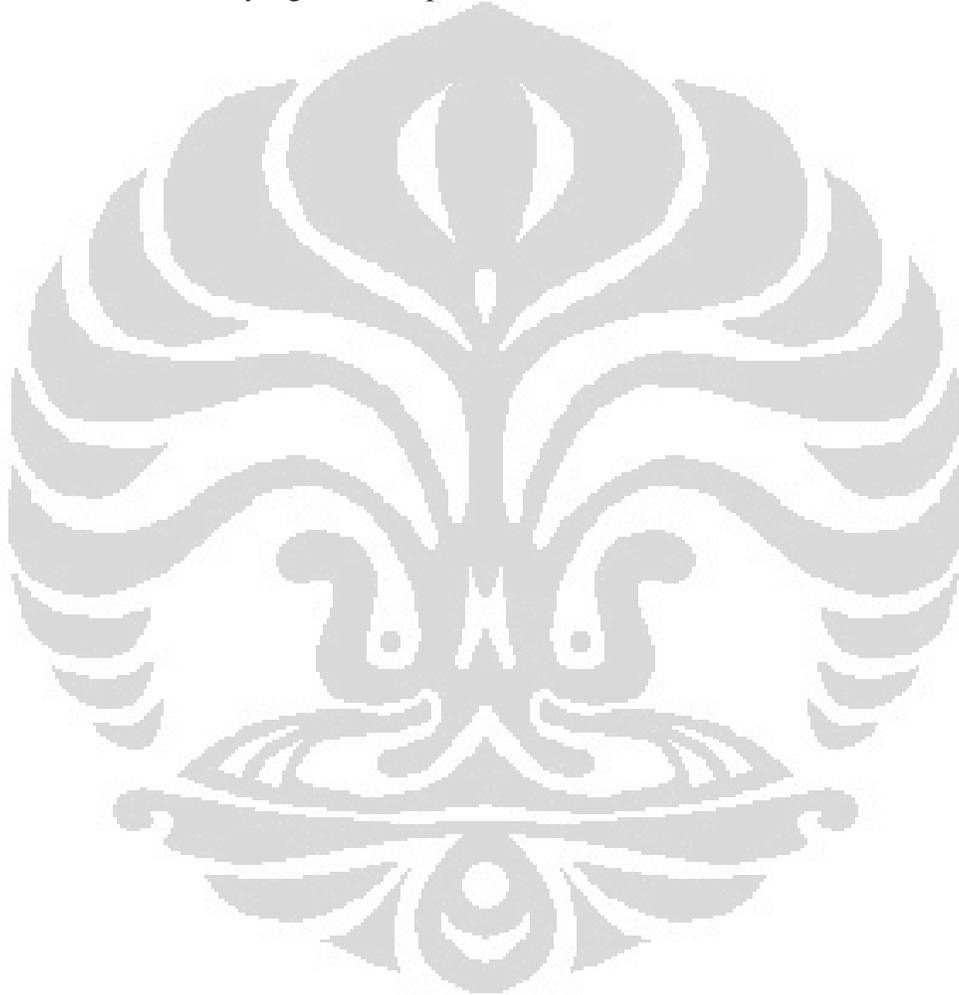
Bab 2 merupakan landasan teori yang menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian dalam skripsi ini, yaitu mengenai teori ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *software Jack 6.1*, *Posture Evaluation Index (PEI)* dan simulasi dengan menggunakan *virtual environment* dan *virtual human modeling* pada *software Jack*, penjelasan tentang getaran serta teori-teori lain yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

Bab 3 adalah bab pengumpulan dan pengolahan data yang akan menjelaskan tentang proses pengumpulan data dan teknis pengambilan data yang telah dilakukan dalam penelitian ini, beserta pengolahan data dengan menggunakan *software* dan *tools* tertentu. Jenis-jenis konfigurasi dan cara pembuatan model kursi dan posisi kerja masinis dengan menggunakan model simulasi juga akan dijelaskan pada bab ini. Output nilai PEI sebagai gambaran nilai ergonomi setiap model juga akan diperoleh sebagai pertimbangan pemilihan konfigurasi model yang tepat.

Bab 4 adalah bab analisis. Bab ini menjelaskan tentang analisis dari data-data yang telah diolah pada bab sebelumnya, yakni dari berbagai konfigurasi model yang disimulasikan akan dianalisis pengaruhnya terhadap nilai PEI. Sehingga akan diperoleh variable yang lebih spesifik berpengaruh terhadap nilai PEI. Selain itu, melalui bab analisis juga akan dipaparkan tentang besarnya getaran akumulasi yang terpapar oleh masinis selama 1 shift pekerjaannya. Bab

ini juga akan menjelaskan tentang kekurangan dan kelebihan tiap jenis material pada setiap konfigurasi desain. Pada akhir bab akan diperoleh konfigurasi dan jenis material bahan yang paling tepat dan optimal diantara semua model untuk kemudian diperoleh desain kursi yang tepat bagi masinis.

Bab 5 merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dibuat dengan disertai dengan masukan dan saran berdasarkan hasil yang telah dicapai.



BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang dilakukan untuk dapat mengerjakan penelitian ini dengan baik. Tinjauan pustaka ini berisikan tentang ergonomi, *work-related musculoskeletal disorder* (WMSD), antropometri, postur, virtual environment, *software* UGS NX 7.0, *software* Jack, metode PEI, dan getaran serta material kursi.

2.1. Ergonomi

Ergonomi merupakan ilmu yang mempelajari tentang interaksi antara manusia dengan mesin dan faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi tersebut (Bridger.R.S, 2003). Secara khusus ergonomi mempelajari keterbatasan dan kemampuan manusia dalam berinteraksi dengan lingkungan kerja beserta peralatan, produk, dan fasilitas yang digunakan sehari-hari, dalam rangka menyesuaikan lingkungan kerja dan peralatan tersebut agar lebih sesuai dengan kebutuhan dan batas kemampuan manusia (Mark Sanders, Ernest McCormick, 1993). Tujuan dari ergonomi adalah untuk memperbaiki performa sistem dengan memperbaiki interaksi antara manusia dengan mesin. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat *interface* yang lebih baik atau dengan menghilangkan faktor dalam lingkungan kerja, tugas, atau organisasi yang dapat menurunkan performa manusia pada saat mengoperasikan mesin. Sistem dapat diperbaiki dengan:

- Merancang *user-interface* menjadi lebih kompatibel dengan tugas dan pengguna. Hal ini dapat membuat mesin tersebut lebih mudah digunakan dan lebih tahan terhadap kesalahan yang manusia lakukan.
- Merubah lingkungan kerja menjadi lebih aman dan lebih sesuai dengan tugas
- Merubah tugas menjadi lebih kompatibel dengan karakteristik pengguna
- Merubah cara bekerja menjadi lebih terorganisir untuk dapat mengakomodasi psikologi manusia dan kebutuhan sosial.

Implementasi ergonomi dalam perancangan sistem dapat membuat sistem bekerja lebih baik dengan menghilangkan aspek sistem berfungsi tidak sesuai dengan keinginan, tidak terkendali, atau tidak dapat dijelaskan, seperti:

- Tidak efisien – ketika usaha pekerja menghasilkan hasil yang tidak optimal
- *Fatigue* – rancangan kerja yang buruk mengakibatkan pekerja mudah kelelahan
- Kecelakaan, cedera, dan kesalahan – dalam kaitannya dengan rancangan *interface* yang buruk dan atau stres yang berlebihan baik pada mental atau jasmani
- Berbagai kesulitan pengguna – berkaitan dengan kombinasi tugas-tugas yang tidak tepat menghasilkan interaksi yang sulit digunakan dan tidak wajar
- Semangat juang yang rendah dan kelesuan

Dalam ergonomi, ketidakhadiran, cedera, kualitas buruk, dan kesalahan manusia tingkat tinggi yang tidak dapat diterima dilihat sebagai masalah dalam sistem bukan kesalahan manusia dan solusinya adalah dengan merancang sistem kerja yang lebih baik daripada dengan manajemen manusia atau insentif, dengan memotivasi pekerja atau dengan memperkenalkan slogan keselamatan dan propaganda lainnya.

Ergonomi merupakan kata yang berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari “ergon” yang berarti kerja dan “nomos” yang berarti hukum. *International Ergonomics Association* mendefinisikan ergonomi sebagai disiplin ilmu yang menjelaskan tentang interaksi antara manusia dan elemen-elemen lain dalam sistem dan profesi yang menerapkan teori, prinsip, data, dan metode untuk mendesain sesuatu dalam rangka mengoptimalkan kesejahteraan manusia dan kinerja sistem secara keseluruhan. Selain itu, IEA juga menerangkan bahwa ergonomi merupakan ilmu yang berkontribusi pada desain dan evaluasi sebuah pekerjaan, tugas, produk, lingkungan, dan sistem dalam rangka membuat hal-hal tersebut sepadan dengan kebutuhan, kemampuan, serta keterbatasan manusia. Secara khusus ergonomi mempelajari keterbatasan dan kemampuan manusia

Universitas Indonesia

dalam berinteraksi dengan lingkungan kerja beserta peralatan, produk, dan fasilitas yang mereka gunakan sehari-hari, dalam rangka menyesuaikan lingkungan kerja dan peralatan tersebut agar lebih sesuai dengan kebutuhan dan batas kemampuan mereka.

Ergonomi berkaitan dengan kesesuaian antara manusia dengan peralatan serta lingkungan pekerjaan, sehingga dalam melakukan perancangan desain yang ergonomi diperlukan catatan tentang kemampuan pengguna dan keterbatasan dalam mencari-cari untuk memastikan bahwa tugas, peralatan, informasi, serta lingkungan sesuai dengan penggunaannya. Untuk menilai kesesuaian antara manusia dengan teknologi yang digunakan, diperlukan pertimbangan dalam aspek pekerjaan / aktivitas yang dilakukan serta permintaan dari pengguna; peralatan yang digunakan (ukuran, bentuk dan bagaimana pemakaian yang tepat dalam melakukan tugasnya); dan informasi yang digunakan (bagaimana informasi tersebut diperkenalkan, diakses dan diubah oleh pengguna). Selain itu, ergonomi juga berkaitan dengan optimasi, efisiensi, keselamatan, dan kenyamanan manusia berada di tempat kerja, rumah dan tempat rekreasi, sehingga di dalam ergonomi diperlukan studi tentang sistem dimana manusia, fasilitas (peralatan) dan lingkungannya saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusianya.

Ergonomi memberikan peranan penting dalam meningkatkan faktor keselamatan dan kesehatan kerja, misalnya: desain suatu sistem kerja untuk mengurangi rasa nyeri dan ngilu pada sistem kerangka dan otot manusia, desain stasiun kerja untuk peraga visual (*visual display unit stations*). Hal ini untuk mengurangi ketidaknyamanan visual dan postur kerja, desain suatu perkakas kerja (*handstool*) untuk mengurangi kelelahan kerja, desain suatu peletakkan instrument dan sistem pengendali agar didapat optimasi dalam proses transfer informasi dengan dihasilkannya suatu respon yang cepat dengan meminimumkan resiko kesalahan, serta supaya didapatkan optimasi, efisiensi kerja dan hilangnya resiko kesehatan akibat metode kerja yang kurang tepat.

Penerapan ilmu ergonomi umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (desain) ataupun rancang ulang (re-desain). Selain itu, penerapan faktor ergonomi adalah untuk desain dan evaluasi produk. Produk-produk ini haruslah mudah

Universitas Indonesia

diterapkan (dimengeri dan digunakan) pada sejumlah populasi masyarakat tertentu tanpa mengakibatkan bahaya/resiko dalam penggunaannya.

2.2. Work-related Musculoskeletal Disorder (WMSD)

Pada saat otot, urat daging, urat syaraf atau tulang sendi mengalami tekanan dan terluka dikarenakan aktivitas yang dilakukan secara berulang-ulang selama sehari-hari, berbulan-bulan ataupun bertahun-tahun, maka jaringan yang terdapat dalam tubuh pada akhirnya akan mengalami kerusakan. Hal ini mengarah kepada *work related musculoskeletal disorder*. *Work relate musculoskeletal disorders* (WMSDs) biasanya dikenal dengan sebutan *repetitive strain injuries* (RSIs), *cummulative trauma disorder* (CTD) dan *overuse injuries*.

Terdapat banyak penelitian yang menyebutkan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya WMSD. Namun keberadaan faktor-faktor tersebut tidak cukup untuk mengevaluasi resiko timbulnya WMSD. Tingginya resiko timbulnya WMSD dari faktor-faktor yang ada juga tergantung pada tiga karakteristik utama yaitu intensitas, frekuensi dan durasi dimana frekuensi merupakan jumlah kemunculan faktor tersebut dalam waktu tertentu dan durasi merupakan sejumlah waktu yang dihabiskan pada postur tertentu dalam waktu kerjanya atau dapat juga dikatakan sebagai lamanya pekerja menghadapi faktor WMSD selama waktu kerjanya.

Berdasarkan Simoneau, St-Vincent, dan Chicoine (1996) faktor-faktor yang beresiko terhadap WMSD antara lain postur kerja yang buruk (*awkward posture*), usaha dan kekuatan (*effort and force*), kerja muscular statis, terkena agresor fisik tertentu, repetitif dan tetapnya kerja, dan faktor yang berhubungan dengan organisasi. Hal ini dikuatkan oleh R.S.Bridger (1998) yang mengatakan bahwa faktor utama yang memberikan resiko terhadap *musculoskeletal disorder* antara lain : kekuatan, postur, repetisi, dan durasi dari pekerjaan. Dari beberapa penjelasan diatas mengenai penyebab terjadinya musculoskeletal disorder antara lain: pekerjaan yang bersifat repetitif, posisi duduk atau berdiri yang tidak alami yang mengakibatkan terjadinya postur yang buruk, perpindahan beban yang berat dengan menggunakan kekuatan, serta kurangnya waktu istirahat. Gejala dari gangguan *musculoskeletal disorder* dapat dilihat dari otot menegang pada tangan,

Universitas Indonesia

pergelangan tangan, jari, lengan, bahu, atau leher, tangan dingin, koordinasi tangan berkurang, dan kesakitan pada bagian tubuh tertentu.

Seringkali, dikarenakan karakteristik tempat kerja atau metode yang diadaptasi, pekerja harus menggunakan postur yang buruk atau menuntun. Buruknya postur kerja dapat membuat faktor resiko terhadap WMSD. Menurut Nordin, et al., (2007), postur yang buruk merupakan postur dimana batang tubuh tidak berada dalam keadaan netral, dimana berdasarkan literatur postur yang membebani batang tubuh dan postur yang tidak baik sebagai postur yang tidak baik. Hal ini dikuatkan dengan pernyataan dari Simoneau, St-Vincent, dan Chicoine (1996) dimana untuk setiap tulang sendi terdapat postur dasar yang memiliki sedikit batasan. Postur tersebut biasanya jauh dari batasan jarak gerakan tulang sendi sehingga membutuhkan usaha yang kecil untuk mempertahankan postur tersebut dan tidak membuat struktur anatomi berada dalam posisi yang kurang baik. Postur kerja manusia ditentukan oleh kondisi lingkungan kerjanya dan juga alat yang digunakan dalam bekerja.

Repetitif dan tetapnya kerja (*invariability of work*) merupakan salah satu faktor resiko WMSD dimana *invariability of work* didefinisikan sebagai kegiatan yang relatif tidak berubah seiring berjalannya waktu. Kedua hal tersebut menjadi faktor resiko WMSD dikarenakan penggunaan struktur otot yang sama sejak awal sehingga otot yang bekerja hanya otot tertentu saja. Apabila terjadi kerusakan pada sistem otot tersebut, tidak ada waktu untuk pemulihan sistem tersebut, dikarenakan otot tersebut tetap digunakan. Hal inilah yang meningkatkan resiko WMSD.

Terkena agresor fisik tertentu seperti tekanan mesin, kejutan dan tubrukan, getaran, dan dingin (suhu). Selain itu faktor yang berhubungan dengan organisasi yang mengacu pada keadaan yang berada dalam lingkungan kerja merupakan faktor resiko WMSD. Hal ini dikarenakan organisasi yang mengatur postur yang digunakan, tugas yang dilakukan, jadwal kerja dan lingkungan sosial.

2.3. Antropometri

Dalam kehidupan sehari-hari, manusia tentunya selalu menggunakan fasilitas fisik yang berhubungan erat dengan bentuk fisiknya. Performansi kerja

Universitas Indonesia

seseorang akan ditunjang dengan fasilitas yang telah sesuai dengan pengguna fasilitas tersebut. Sehingga untuk meningkatkan performansi kerja seseorang, maka dalam proses perancangan fasilitas fisik perlu diperhatikan atribut fisik manusia sebagai pemakai fasilitas. Dari hal tersebut dapat dikatakan bahwa kebutuhan akan memperhatikan faktor ergonomi dalam proses perancangan fasilitas fisik adalah merupakan sesuatu yang tidak dapat ditunda lagi. Hal tersebut tidak akan terlepas dari pembahasan mengenai ukuran antropometri tubuh operator maupun penerapan data-data antropometrinya.

Antropometri merupakan bagian dari ergonomi yang secara khusus mempelajari ukuran tubuh yang meliputi dimensi linier, berat, isi, meliputi juga ukuran, kekuatan, kecepatan dan aspek lain dari gerakan tubuh. Antropometri berasal dari bahasa Yunani yang berasal dari kata “anthro” yang berarti manusia dan “metri” yang berarti ukuran. Sehingga dapat dikatakan bahwa antropometri merupakan suatu studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi manusia. Menurut Stevenson (1989) dan Nurmianto (1991), Antropometri adalah satu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia ukuran, bentuk, dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain.

Antropometri secara luas akan digunakan sebagai pertimbangan - pertimbangan ergonomis dalam memerlukan interaksi manusia. Data antropometri yang berhasil diperoleh akan diaplikasikan secara luas, antara lain :

- Perancangan areal kerja
- Perancangan peralatan seperti mesin, perkakas
- Perancangan produk konsumtif seperti pakaian, kursi meja computer
- Perancangan lingkungan kerja fisik

Dalam kaitan ini maka perancangan produk harus mampu mengakomodasi dimensi, tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangan tersebut. Untuk data antropometri itu sendiri, dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :

1. Antropometri struktural / statis

Merupakan pengukuran dimensi linear tubuh manusia dalam posisi statis (diam). Posisi pengukuran itu biasanya sudah di standarkan. Contoh :

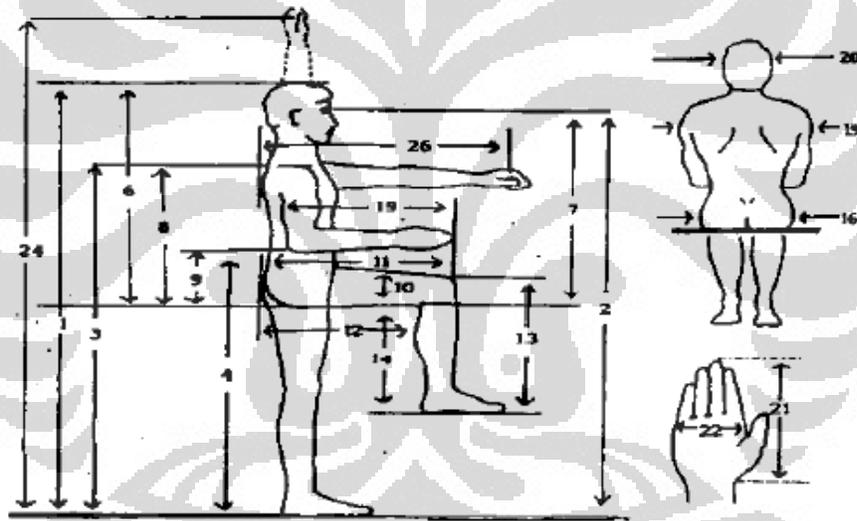
Universitas Indonesia

ukuran tinggi badan, tinggi siku duduk, tinggi pantat popliteal, berat badan, dan lain-lain

2. Antropometri Newtonian

Merupakan pengukuran tubuh manusia yang terdiri dari berbagai macam segmen yang memiliki panjang dan massa yang berbeda-beda. Panjang dan massa segmen-segmen tersebut memiliki ukuran masing-masing dan terangkai menjadi satu kesatuan. Panjang dan massa tersebut berhubungan dengan beban yang diterima oleh masing-masing segmen. Untuk mengukur dan membandingkan beban ditanggung suatu segmen digunakanlah data antropometri Newtonian.

Beberapa detail data antropometri manusia yang dibutuhkan dalam perancangan suatu sistem kerja antara lain seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.8**.



Gambar 2.1 Antropometri Tubuh Manusia yang Diukur Dimensinya

(Sumber : Stevenson, 1989; Nurmianto 1991)

Keterangan :

1. Dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak (dari lantai hingga ujung kepala)
2. Tinggi mata dalam posisi berdiri tegak
3. Tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak
4. Tinggi siku dalam posisi berdiri tegak (siku tegak lurus)

5. Tinggi kepalan tangan yang terjulur lepas dalam posisi berdiri tegak (dalam gambar tidak ditunjukkan)
6. Tinggi tubuh dalam posisi duduk (diukur dari alas tempat duduk/pantat sampai dengan kepala)
7. Tinggi mata dalam posisi duduk
8. Tinggi bahu dalam posisi duduk
9. Tinggi siku dalam posisi duduk (siku tegak lurus)
10. Tebal atau lebar paha
11. Panjang paha yang diukur dari pantat hingga ujung lutut
12. Panjang paha yang diukur dari pantat hingga bagian belakang dari lutut/betis
13. Tinggi lutut yang bisa diukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk
14. Tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari lantai sampai dengan paha.
15. Lebar dari bahu (bisa diukur dalam posisi berdiri ataupun duduk)
16. Lebar pinggul/pantat
17. Lebar dari dada dalam keadaan membusung
18. Lebar perut
19. Panjang siku yang diukur dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus.
20. Lebar kepala.
21. Panjang tangan diukur dari pergelangan sampai dengan ujung jari.
22. Lebar telapak tangan.
23. Lebar tangan dalam posisi tangan terbentang lebar-lebar kesamping kiri-kanan (Tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak, diukur dari lantai sampai dengan telapak tangan yang terjangkau lurus keatas / vertikal).

Terdapat perbedaan antara satu populasi dengan populasi yang lain adalah dikarenakan oleh faktor-faktor sebagai berikut (Stevenson, 1989; Nurmiyanto, 1991) :

1. Keacakan / random

Walaupun telah terdapat dalam satu kelompok populasi yang sudah jelas sama jenis kelamin, suku/bangsa, kelompok usia dan pekerjaannya, masih akan ada perbedaan yang cukup signifikan antara berbagai macam masyarakat. Distribusi frekuensi secara statistik dari dimensi kelompok

Universitas Indonesia

anggota masyarakat jelas dapat diaproksimasikan dengan menggunakan diagram normal, yaitu dengan menggunakan data percentil yang telah diduga, jika mean (rata-rata) dan SD (standar deviasi) nya telah dapat diestimasi.

2. Jenis kelamin

Secara distribusi statistik ada perbedaan yang signifikan antara dimensi tubuh pria dan wanita. Untuk kebanyakan dimensi pria dan wanita ada perbedaan yang signifikan diantara mean (rata-rata) dan nilai perbedaan ini tidak dapat diabaikan begitu saja. Pria dianggap lebih panjang dimensi segmen badannya daripada wanita. Oleh karena itu, data antropometri untuk kedua jenis kelamin tersebut selalu disajikan secara terpisah.

3. Suku bangsa (*Ethnic Variability*)

Variasi diantara beberapa kelompok suku bangsa telah menjadi hal yang tidak kalah pentingnya terutama karena meningkatnya jumlah angka migrasi dari satu negara ke negara yang lain. Suatu contoh sederhana bahwa yaitu dengan meningkatnya jumlah penduduk yang migrasi dari negara Vietnam ke Australia, untuk mengisi jumlah satuan angkatan kerja (*industrial workforce*), maka akan mempengaruhi antropometri secara nasional.

4. Usia

Digolongkan atas beberapa kelompok usia yaitu :

- Balita,
- Anak-anak,
- Remaja,
- Dewasa, dan
- Lanjut usia.

Hal ini jelas berpengaruh terutama jika desain diaplikasikan untuk antropometri anak-anak. Antropometrinya akan cenderung terus meningkat sampai batas usia dewasa. Namun setelah menginjak usia dewasa, tinggi badan manusia mempunyai kecenderungan untuk menurun yang antara lain disebabkan oleh berkurangnya elastisitas tulang belakang

(*intervertebral discs*). Selain itu juga berkurangnya dinamika gerakan tangan dan kaki.

5. Jenis Pekerjaan

Beberapa jenis pekerjaan tertentu menuntut adanya persyaratan dalam seleksi karyawan / stafnya. Seperti misalnya: buruh dermaga/pelabuhan adalah harus mempunyai postur tubuh yang relatif lebih besar dibandingkan dengan karyawan perkantoran pada umumnya. Apalagi jika dibandingkan dengan jenis pekerjaan militer.

6. Pakaian

Hal ini juga merupakan sumber variabilitas yang disebabkan oleh bervariasinya iklim/musim yang berbeda dari satu tempat ke tempat yang lainnya terutama untuk daerah dengan empat musim. Misalnya pada waktu musim dingin manusia akan memakan pakaian relatif lebih tebal untuk ukuran yang relatif lebih besar. Ataupun untuk para pekerja dipertambangan, pengeboran lepas pantai, pengecoran logam. Bahkan para penerbang dan astronotpun harus memiliki pakaian khusus.

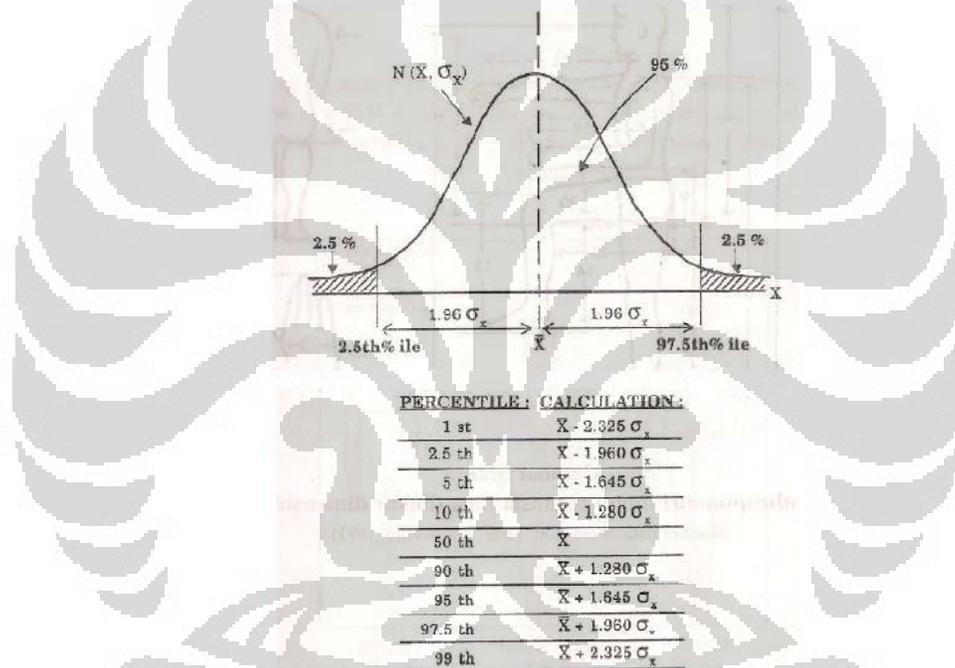
7. Faktor Kehamilan pada Wanita

Faktor ini sudah jelas akan mempunyai pengaruh perbedaan yang berarti kalau dibandingkan dengan wanita yang tidak hamil, terutama yang berkaitan dengan analisis perancangan produk (APP) dan analisis perancangan kerja (APK).

8. Cacat Tubuh Secara Fisik

Suatu perkembangan yang menggembirakan pada dekade terakhir, yaitu dengan diberikannya skala prioritas pada rancang bangun fasilitas akomodasi untuk paea penderita cacat tubuh secara fisik sehingga mereka dapat ikut serta merasakan “kesamaan” dalam menggunakan jasa dari hasil ilmu ergonomi didalam pelayanan untuk masyarakat. Masalah yang sering timbul misalnya: keterbatasan jarak jangkauan, dibutuhkan ruang kaki (*knee space*) untuk desain meja kerja, lorong/jalur khusus untuk kursi roda, ruang khusus di dalam lavatory, jalur khusus untuk keluar masuk perkantoran, kampus, hotel, restoran, super market, dll.

Penerapan data antropometri akan dapat dilakukan jika tersedia nilai mean (rata-rata) dan nilai SD (Standar deviasi) nya dari suatu distribusi normal. Adapun distribusi normal ditandai dengan adanya nilai mean (rata-rata) dan SD (standar deviasi). Sedangkan percentil adalah suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu adalah suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu dari sekelompok orang yang dimensinya sama dengan atau lebih rendah dari nilai tersebut. Misalnya 95% populasi adalah sama dengan atau lebih rendah dari 85% percentil; 5% dari populasi berada sama dengan atau lebih rendah dari 5 percentil. Besarnya nilai percentil dapat ditentukan dari tabel probabilitas distribusi normal.



Gambar 2.2 Distribusi Normal dan Perhitungan Persentil

(Sumber : Stevenson, 1989; Nurmianto 1991)

Dalam proses perancangan terdapat tiga prinsip umum dalam pengaplikasian data antropometri. Ketiga prinsip tersebut antara lain :

1. Desain untuk individu dengan ukuran ekstrim

Dalam beberapa kondisi, dimensi desain yang spesifik dapat menjadi faktor yang membatasi penggunaan suatu fasilitas oleh individu. Untuk mengatasi keterbatasan penggunaan oleh individu yang memiliki ukuran

Universitas Indonesia

tubuh yang ekstrim, maka perlu digunakan nilai parameter maksimum dan minimum yang mampu mengakomodasi ukuran yang ekstrim tersebut. Dalam membuat rancangan produk untuk individu dengan ukuran tubuh yang ekstrim terdapat dua prinsip. Prinsip pertama adalah rancangan produk tersebut bisa sesuai untuk ukuran tubuh manusia yang termasuk klasifikasi ekstrim dalam arti terlalu besar atau terlalu kecil bila dibandingkan dengan rata-ratanya. Prinsip kedua adalah rancangan produk tersebut tetap bisa digunakan untuk memenuhi ukuran tubuh yang lain.

2. Desain untuk jarak yang dapat diubah sesuai kebutuhan (*adjustable range*)

Rancangan produk yang dihasilkan bersifat fleksibel karena bisa disesuaikan untuk berbagai macam ukuran tubuh. Untuk mendapatkan rancangan desain yang bisa diubah-ubah, data antropometri yang umumnya digunakan adalah dalam rentang nilai 5th sampai dengan 95th *percentile*.

3. Desain untuk ukuran rata-rata

Rancangan produk dibuat berdasarkan rata-rata ukuran manusia . Ukuran rata-rata digunakan untuk mengatasi kompleksitas dari ukuran antropometri. Ukuran rata-rata dapat diterima apabila situasi tidak meliputi pekerjaan yang bersifat kritis dan dilakukan setelah melalui pertimbangan yang hati-hati, serta bukan sebagai jalan keluar desain yang bersifat praktis. Permasalahan yang sering timbul ketika membuat rancangan produk dengan menggunakan rata-rata ukuran manusia adalah sedikitnya jumlah manusia yang kenyatannya berada dalam rentang rata-rata ukuran manusia.

2.4. Virtual Environment

Virtual Environment (VE) merupakan representasi tiruan sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer yang memungkinkan penggunaannya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis (tiruan) yang memiliki kemiripan dengan lingkungan nyata (R, Kalawaky, 1993). Simulasi dalam lingkungan *virtual* harus dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*human virtual*) berada pada lokasi

yang baru, berinteraksi dengan objek dan lingkungan, serta mendapat respon balik yang tepat dari objek yang mereka manipulasi (Wilson, J.R, 1999).

Analisis dengan menggunakan VE dapat berlangsung dengan dua cara, yaitu dengan membuat simulasi manusia virtual yang berinteraksi pada lingkungan virtual, maupun dengan interaksi langsung antara pengguna dengan lingkungan virtual dengan menggunakan teknologi *Virtual Reality (VR) interface* seperti kacamata *display*, sarung tangan khusus, *headphone*, dan *tactile feedback device* untuk tubuh (Timo Määttä, 2003).

Menurut Wilson et al. (1995), *virtual environment* memiliki atribut sebagai berikut :

- Lingkungan yang dihasilkan atau diciptakan oleh computer
- Lingkungan atau pengalaman partisipan mengenai lingkungan yang berada dalam dunia tiga dimensi
- Partisipan dapat mengatur variabel-variabel yang ada pada *virtual environment*
- Partisipan merasakan sebuah keberadaan pada *virtual environment*
- Partisipan dapat berinteraksi secara *real time* dengan *virtual environment*
- Perilaku objek pada *virtual environment* bisa disesuaikan dengan perilaku objek tersebut di dunia nyata.

Dalam bidang ergonomi *virtual environment* biasanya digunakan untuk membuat lingkungan kerja yang optimal sesuai dengan faktor-faktor yang dimiliki pekerja. Selain itu *virtual environment* juga digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan kesehatan, performa, dan keselamatan kerja.

- Penilaian ergonomis tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja.
- Pelatihan teknisi pemeliharaan
- Perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi
- Pelatihan umum untuk industry
- Diagnosa kesalahan dan perbaikan yang dibutuhkan

2.5. Software UGS NX 7.0

Software UGS NX 7.0 merupakan *software* komersial yang dikembangkan oleh Siemens PLM Software untuk membuat desai CAD/CAM/CAE. *Software* ini sangat berguna dalam mendesain suatu produk dengan ukuran yang sebenarnya. *Software* ini dapat memberikan representasi produk dalam bentuk dua dimensi ataupun tiga dimensi, dan *software* ini sangat memudahkan penggunaanya. Desain 3D objects telah memiliki tempat yang sangat penting di kalangan praktisi desain.

2.6. Software Jack

Software Jack merupakan *software* permodelan dan simulasi manusia (*human modelling and simulation*) yang membantu dalam peningkatan aspek ergonomi dari desain produk dan stasiun kerja (*workplace*). *Software* Jack dapat memposisikan model manusia secara akurat dalam lingkungan virtual (*virtual environment*), memberikan tugas kepada model manusia tersebut dan menganalisis kinerja model manusia tersebut. *Software* Jack dapat mengevaluasi performa manusia mengenai apa yang dapat dilihat dan dijangkau, tingkat kenyamanan, tinggi resiko kecelakaan kerja, timbulnya kelelahan dan informasi ergonomi lainnya. Informasi-informasi yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk merancang produk yang lebih aman dan ergonomis, serta proses kerja yang lebih cepat dengan biaya yang minimum.

Software Jack bekerja dengan menggunakan fitur yang merepresentasikan manusia sesungguhnya di dunia nyata. Fokus dari pengembangan yang dilakukan oleh *software* Jack adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat dari seluruh sistem yang tersedia. Kemampuan terbaik dari *software* Jack adalah mampu mengisi lingkungan (*environment*) dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata. Model manusia dalam *software* Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan, misalnya mampu melakukan kegiatan berjalan dan dapat diperintahkan untuk mengangkat sebuah benda. Model manusia (manekin) ini juga memiliki “kekuatan” yang apabila telah melebihi batasnya, maka *software* Jack akan memberikan informasi mengenai hal tersebut. Selain itu *software* Jack dapat memodelkan pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai ukuran tubuh

Universitas Indonesia

berdasarkan populasi yang telah divalidasi. *Software Jack* menggunakan database antropometri ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*) 1988 untuk membuat model manusia (manekin) standar. Namun, *software Jack* dapat menyesuaikan data antropometri model manusia (manekin) tersebut sesuai dengan yang diinginkan oleh user.

Software Jack 6.1 mempunyai beberapa kegunaan umum di antaranya adalah sebagai berikut :

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

Software Jack 6.1 mempunyai beberapa kegunaan khusus dalam bidang ergonomi yang menjadi *competitive advantage* sebagai berikut :

- Membuat desain dalam waktu yang lebih singkat
- Menurunkan biaya pengembangan desain
- Memperbaiki kualitas yang telah ada
- Mempertinggi faktor keamanan dan keselamatan kerja
- Meningkatkan moral pekerja

Software Jack memiliki tools analisis yang dapat digunakan untuk mengukur performa dari manusia virtual yang telah diberikan suatu tugas tertentu, yaitu Task Analysis (TAT). TAT berfungsi untuk menganalisis 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. Selain itu, TAT dapat memberikan intervensi untuk mengurangi risiko-risiko tersebut. 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 ergonomi yang dapat digunakan, yaitu :

1. *Low-back spinal force analysis tool*, untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu.

Universitas Indonesia

2. *Static strength prediction tool*, untuk mengevaluasi presentasi dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan antropometri.
3. *NIOSH lifting analysis tool*, untuk mengevaluasi, berdasarkan standar NIOSH, pekerjaan-pekerjaan yang membuat seseorang harus mengangkat sesuatu.
4. *Preetermined time analysis tool*, untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*
5. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA) tool*, untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan pada tubuh bagian atas.
6. *Manual handling limits tool*, 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.
7. *Working posture analysis (OWAS) tool*, menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan suatu operasi kerja.
8. *Metabolic energy expenditure tool*, memprediksi kebutuhan energi yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerjaan dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan.
9. *Fatigue and recovery time analysis tool*, memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja.

Dalam menggunakan *software* Jack ini terdapat beberapa tahapan yang harus ditempuh oleh peneliti, yaitu:

1. Membangun sebuah *virtual environment*.

Lingkungan kerja, termasuk semua peralatan yang digunakan dalam suatu rangkaian pekerjaan dimasukkan ke dalam *software* Jack untuk membentuk *virtual environment* yang menyerupai kondisi di dunia nyata. Membangun *virtual environment* dilakukan dengan cara mengimpor komponen – komponen benda kerja yang membangun *virtual environment*

Universitas Indonesia

dari software (AutoCAD, SolidWorks, NX, dll) ke dalam layar simulasi Jack dan kemudian memposisikan sesuai kondisi aktual.

2. Menciptakan virtual human.

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. Selain itu, dengan memanfaatkan fasilitas *Advanced Human Scaling* pada *software* Jack, maka pengguna dapat membuat *virtual human* dengan ukuran antropometri yang diinginkan.

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

Software Jack memungkinkan pengguna untuk membuat postur dengan menggunakan model empiris, kinematika, atau manipulasi persendian secara langsung. Untuk memposisikan manusia *virtual* dalam *virtual environment* dapat dilakukan dengan mudah, karena *software* Jack dilengkapi dengan *modul move*, sesuai dengan garis kordinat awal (x,y) ataupun sesuai dengan garis sumbu kordinat tubuh 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.

Animasi yang disediakan oleh *software* Jack sangat memungkinkan penggunaanya membuat suatu mekanisme gerakan sehingga manusia digital dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Animasi Jack juga dapat diputar ulang sehingga peninjauan dan analisa terhadap gerakan menjadi lebih mudah. Hasil animasi juga dapat diekspor dalam bentuk video.

5. Menganalisa performa *virtual human* secara *real time* ketika melakukan tugas yang diberikan dengan menggunakan TAT.

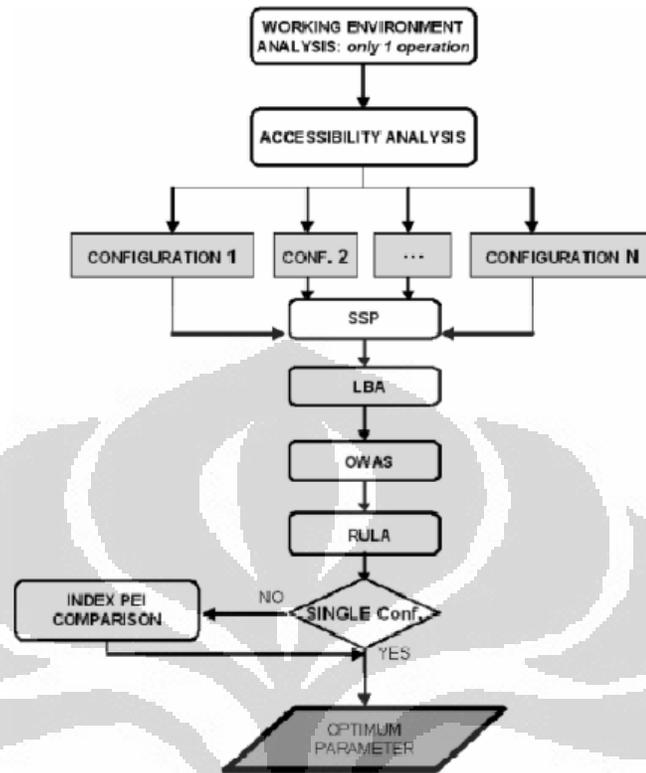
Tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* secara *real time* memberikan dampak atau reaksi terhadap tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh bagian tubuh *virtual human* tersebut. Oleh karena hal tersebut selama

animasi dijalankan, TAT secara bersamaan diaktifkan untuk membantu dalam mengevaluasi performa dari *virtual human* tersebut.

2.7. Metode *Posture Evaluation Index* (PEI)

Kendala yang dihadapi ketika melakukan optimasi di sebuah tempat kerja adalah bagaimana mendesain tempat kerja yang dapat mengakomodasi kenyamanan dan keamanan operator yang memiliki perbedaan antropometri selama proses kerja yang berlangsung. Untuk dapat menganalisa tingkat performa dan optimasi kenyamanan secara ergonomi pada *virtual human* dalam melakukan tugas yang diberikan, maka dibutuhkan suatu metode yang dapat memberikan analisa secara menyeluruh dan didasarkan dari hasil intergrasi dari berbagai nilai ergonomi. Oleh karena itulah dikembangkan suatu metode yang didasari oleh alat ukur penilaian kerja (*Task Analysis Toolkit*) dari sebuah aplikasi bernama *Jack software* yang disebut dengan metode *Postur Evaluation Index* (PEI) (F.Caputo, G, et al., 2006).

Metode PEI merupakan metode yang mengintegrasikan antara skor penilaian *Lower Back Analysis*, dengan dua metode penelitian postur tubuh, yaitu OWAS dan RULA. Hasil integrasi antar ketiga metode tersebut memberikan suatu penilaian yang menyeluruh terhadap suatu 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. **Gambar 2.3** menunjukkan diagram alur dari pendekatan yang menggunakan metode PEI.



Gambar 2.3 Diagram Alir Metode PEI

(Sumber: Francesco Caputo, Giuseppe Di Girinimo and Adelaide Marzano, *Ergonomi Optimization of Work Cell of Manufacturing Systems in Virtual Environment*, 2006, hal.5)

Secara garis besar berdasarkan Gambar 2.3, dalam membuat model evaluasi operasi kerja dengan metode PEI terdapat 7 tahapan atau fase yang harus dilalui antara lain:

- Fase Satu : Analisa Lingkungan Kerja

Pada fase pertama ini merupakan tahap menganalisis kondisi lingkungan kerja dan mempertimbangkan kemungkinan alternatif gerakan kerja operator (seperti alternatif rute, postur, dan kecepatan kerja). Dalam simulasi model lingkungan virtual, diperlukan melakukan simulasi operasi-operasi kerjadengan berbagai alternatif gerakan, untuk memverifikasi kelayakan tugas yang dilakukan operator. Parameter lain yang dapat di modifikasi adalah jarak dimensi objek – objek kerja yang mempengaruhi postur kerja virtual human.

- Fase Dua : Analisa Kemampuan Menjangkau dan Mengakses
Perancangan tempat kerja memerlukan studi pendahuluan mengenai 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. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang di luar kemampuan kerja dan jangkauan operator pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Jikai analisis lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas konfigurasi telah menunjukkan kondisi – kondisi yang sesuai dengan kondisi dan limitasi manusia, maka fase berikutnya dari tahapan PEI baru dapat dilanjutkan.
- Fase Tiga : *Static Strength Prediction* (SSP)
Static Strength Prediction adalah tools yang dapat memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan. Operasi pekerjaan yang memiliki nilai skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut.
- Fase Empat : *Low Back Analysis* (LBA)
Low Back Analysis (LBA) merupakan tools yang digunakan untuk mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia berdasarkan postur dan beban yang dikenakan saat melakukan suatu operasi kerja. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu 3400 N.
- Fase Lima : *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS)
Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) merupakan metode sederhana untuk mengetahui tingkat kenyamanan dari suatu postur kerja serta untuk memberikan informasi mengenai tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Tingkat penilaian ini berdasarkan pada postur dan observasi rangkaian kerja operator yang disimulasikan. Nilai OWAS yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan maksimum yang ada pada OWAS yaitu 4.

Universitas Indonesia

- Fase Enam : *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) adalah tools untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas serta untuk mengidentifikasi risiko cedera atau gangguan pada tubuh bagian atas. Nilai RULA yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimum RULA yaitu 7.

- Fase Tujuh : *PEI Evaluation*

PEI merupakan hasil integrasi dari nilai LBA, OWAS, dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. PEI mengintegrasikan ketiga nilai ini dengan menjumlahkan tiga variabel dimensional I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 merupakan perbandingan antara skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia. Nilai batas aman yang digunakan dalam metode ini merujuk pada nilai yang dikeluarkan oleh NIOSH yaitu sebesar 3400 N. Sebelum melanjutkan pada perhitungan selanjutnya, perlu diyakini bahwa nilai I_1 harus lebih kecil dari 1. $I_2 > 1$ menunjukkan kehati-hatian kerja dalam simulasi tidak valid. Variabel I_2 merupakan perbandingan nilai OWAS dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4. Sedangkan nilai I_3 merupakan perbandingan nilai RULA dengan indeks batas maksimum tingkat kenyamanan RULA sebesar 7. Khusus untuk I_3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* "mr".

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

Keterangan :

3400 = batas kekuatan tekanan yang dapat diterima *lowback*

3 = nilai maksimum index OWAS

7 = level maksimum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

mr = koefisien amplifikasi

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

- Prinsip faktor resiko untuk pekerjaan yang membutuhkan pengangkutan beban meliputi : pengulangan kerja, frekuensi, postur, usaha, dan *recovery time*.

- Faktor yang paling mempengaruhi evaluasi dari pelaksanaan kerja adalah postur yang ekstrim, khususnya di bagian tubuh atas, serta aktivitas kerja yang membutuhkan usaha cukup tinggi.

Variabel-variabel yang berkontribusi dalam menghasilkan PEI sangat bergantung dari postur yang memiliki beragam tingkat ketidaknyamanan, dimana semakin kecil nilai PEI, semakin tinggi tingkat kenyamanan dan semakin rendah resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia yang melakukan postur tersebut. Sebaliknya semakin tinggi nilai PEI, semakin rendah tingkat kenyamanan dan semakin tinggi resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia. Sehingga suatu postur kerja dikatakan optimal jika memiliki nilai PEI paling rendah.

2.7.1 Static Strength Prediction

Static Strength Prediction (SSP) merupakan metode peninjauan yang berfokus pada penelitian ergonomi pekerja pada sebuah rangkaian kerja yang memiliki karakteristik tertentu, dimana pekerjaan yang dilakukan membutuhkan kekuatan dan pergerakan tersendiri dari pekerja yang memiliki jenis kelamin, umur dan tinggi tertentu.

Analisa *Static Strength Prediction* atau SSP digunakan untuk mengetahui berapa persen pekerja yang mampu menjalankan aktivitas sesuai dengan postur dan kondisi yang sedang disimulasikan. Nilai hasil analisis SSP ini berubah-ubah sesuai dengan berjalannya simulasi dikarenakan perubahan postur dan aktivitas akan berpengaruh pada kemampuan tubuh pekerja dalam melakukannya.

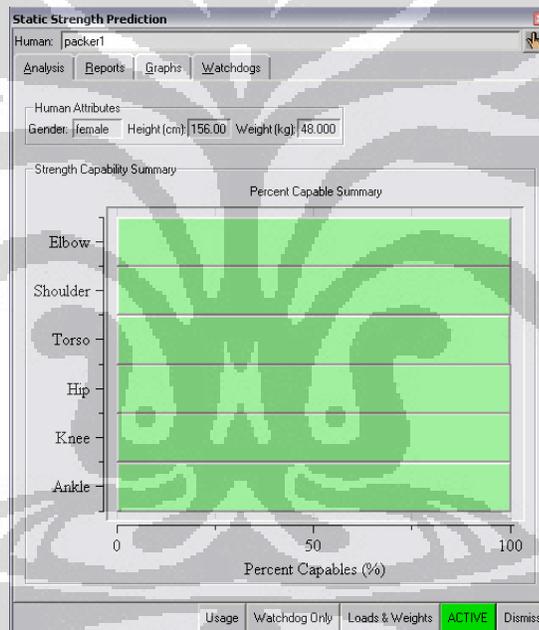
Berdasarkan definisi SSP yang telah disebutkan diatas maka tolak ukur penilaian SSP yang digunakan dalam penelitian ini ialah lebih besar dari 0%. Dengan demikian dapat dikatakan seluruh rangkaian aktivitas yang disimulasikan memungkinkan untuk dilakukan oleh manusia.

Prinsip dasar SSP (Don B. Chaffin et al., 2003) adalah sebagai berikut:

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

Fungsi penggunaan SSP dalam analisis model simulasi virtual environment dengan menggunakan Jack antara lain:

- Menganalisis pekerjaan yang berhubungan dengan pengoperasian material yang meliputi: pengangkatan barang, penurunan barang, mendorong, dan menarik, yang membutuhkan pergerakan pada pinggang, serta gerakan tangan dan gaya yang kompleks
- Memprediksi persentase pekerja wanita dan pria yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan yang telah ditentukan
- Mengidentifikasi postur-postur kerja tertentu yang membutuhkan karakteristik kekuatan yang melebihi batas beban ideal, maupun melebihi batas kemampuan pekerja



Gambar 2.4 Contoh Output SSP

(Sumber : Software Jack 6.1)

2.7.2 Lower Back Analysis

Lower Back Analysis atau LBA digunakan untuk mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia akibat aktivitas yang dilakukan. Metode LBA bertujuan untuk:

- Menentukan apabila posisi kerja yang ada telah sesuai dengan batasan beban yang ideal ataupun menyebabkan pekerja rentan terkena cedera pada tulang belakang.
- Mengevaluasi posisi kerja tertentu yang membutuhkan perhatian maupun perbaikan dari segi ergonomi.

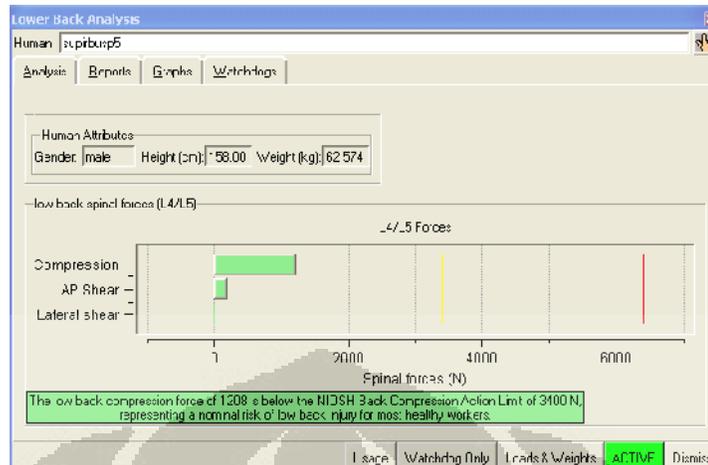
Metode ini menggunakan sebuah model biomekanika kompleks dari tulang belakang manusia yang menggabungkan anatomi terbaru dan data-data fisiologis yang didapatkan dari literatur-literatur ilmiah yang ada. Selanjutnya, metode ini akan mengkalkulasi gaya tekan dan tegangan yang terjadi pada ruas lumbar 4 (L4) dan lumbar 5 (L5) dari tulang belakang manusia dan membandingkan gaya tersebut dengan batas nilai beban ideal yang dikeluarkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH). Nilai beban ideal yang disyaratkan oleh NIOSH merupakan nilai beban yang diukur menurut kemampuan pekerja dengan kondisi ideal untuk mengangkat ataupun memproses suatu beban secara aman pada jangka waktu tertentu. Secara matematis, standar lifting NIOSH ini dapat dirumuskan sebagai berikut):

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

dimana:

- RWL = recommended weight limit (batas beban yang direkomendasikan)
- LC = beban konstan
- HM = faktor "Horizontal Multiplier",
- VM = faktor "Vertical Multiplier",
- DM = faktor "Distance Multiplier" atau faktor pengali jarak,
- FM = faktor "Frequency Multiplier" atau faktor pengali frekuensi,
- AM = faktor "Asymmetric Multiplier"
- CM = faktor "Coupling Multiplier"

Analisis LBA menghasilkan output berupa grafik nilai tekanan kompres yang diterima oleh model yang digunakan dalam simulasi tersebut seperti yang ada pada **Gambar 2.12** dibawah ini:



Gambar 2.5 Contoh Output Analisis LBA

(Sumber : Software Jack 6.1)

Nilai tekanan kompresi ini memiliki tiga buah katagori atau batasan yakni kurang dari 3,400 N, antara 3,400 N hingga 6,000 N. Batasan nilai ini didasarkan pada nilai atau standar NIOSH Back Compression Action Limit dimana jika nilai kompresi kurang dari 3,400 N maka aktivitas tersebut tidak terlalu beresiko untuk dilakukan sedangkan jika nilainya melebihi 3,400 N maka grafik akan berwarna kuning yang menunjukkan resiko dari postur dan aktivitas tersebut berbahaya bagi kesehatan. Apabila melampaui 6,000 N maka grafik akan berubah menjadi berwarna merah yang mengindikasikan aktivitas dan postur tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh pekerjaanya.

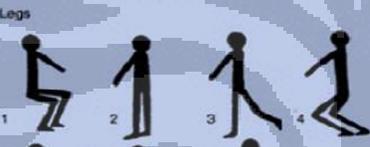
2.7.3 Ovako Working Posture Analysis (OWAS)

Ovako Working Posture Analysis atau OWAS dipakai untuk mengukur tingkat kenyamanan dari suatu postur pekerja ketika beraktivitas. Output OWAS akan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan indikator mulai dari 1 sampai dengan 4. Metode OWAS bertujuan untuk :

- Mengevaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur kerja terhadap posisi tulang punggung, kedua tangan dan kaki, dan juga beban kerja yang dijalankan.

- Memberikan suatu skor penilaian yang menunjukkan tingkat prioritas dari perlunya pengambilan suatu tindakan perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera dari postur kerja sebelumnya.

Penggunaan metode OWAS dalam menganalisis kenyamanan hanya ditekankan pada evaluasi beberapa faktor antara lain postur kerja yang dialami punggung, lengan, kaki, dan besarnya beban yang harus ditopang oleh tubuh seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.6**.

<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>
<p>Arms</p> 	<p>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>
<p>Legs</p> 	<p>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>
	<p>BEBAN</p> <p>1 = sama dengan atau kurang dari 10 kg 2 = 10-20 kg 3 = lebih dari 20 kg</p>

Gambar 2.6 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

(Sumber: Waldemar Karwowski, International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor, 2001, hal.3299, telah diolah kembali)

Evaluasi terhadap faktor – faktor tersebut menghasilkan nilai dalam bentuk angka yang memberikan gambaran kondisi kerja yang dialami dan resiko cedera yang mungkin dapat dialami. Nilai dari keempat faktor tersebut kemudian diintegrasikan menjadi nilai tunggal yang menunjukkan tingkat kenyamanan total yang ditimbulkan oleh postur kerja yang dilakukan. Nilai tunggal yang dihasilkan memiliki jangkauan nilai1 hingga 4 seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.1**.

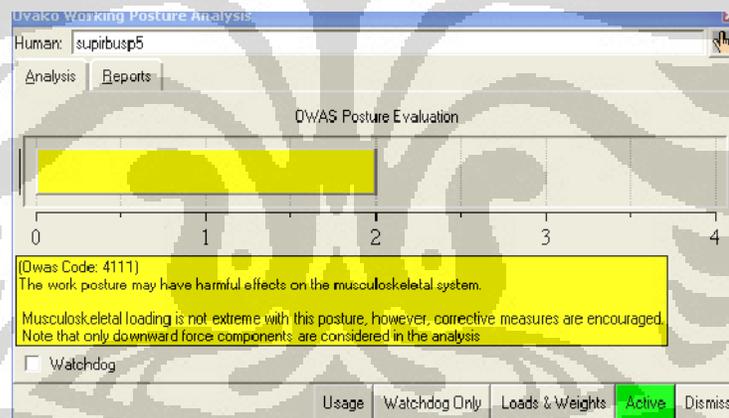
Tabel 2.1 Pembobotan Nilai pada OWAS

Skor	Keterangan	Penjelasan
1	<i>Normal Posture</i>	Tindakan perbaikan tidak diperlukan
2	<i>Slightly Harmful</i>	Tindakan perbaikan diperlukan di masa datang
3	<i>Distinctly Harmful</i>	Tindakan perbaikan diperlukan segera
4	<i>Extremely Harmful</i>	Tindakan perbaikan diperlukan secepat mungkin

(Sumber: Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002)

Masing – masing nilai tunggal tersebut memiliki hasil analisis tersendiri yang didasarkan pertimbangan kemungkinan timbulnya risiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem muskuloskeletal (Waldemar Karowaki, 2001).

Analisis OWAS yang terdapat di Gambar 2.14 menunjukkan kaitan antara tingkat beban dan postur aktivitas yang dilakuakn dengan tekanan pada sistem musculoskeletal tubuh pekerjaanya.

**Gambar 2.7 Contoh Output Analisis OWAS**

(Sumber : Software Jack 6.1)

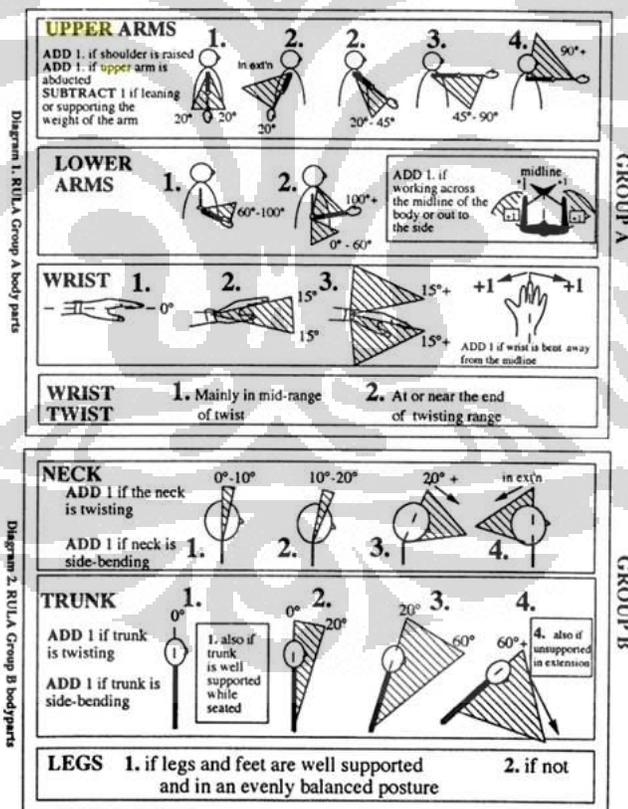
2.7.4 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Rapid Upper Limb Assessment atau RULA merupakan indikator analisis yang digunakan untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas terkait dengan dampak dari pekerjaan dan beban yang ada. RULA dapat menilai beban yang diterima oleh tubuh dan postur keseluruhan yang dialami oleh bagian leher, batang tubuh, dan anggota tubuh bagian atas. RULA bertujuan untuk :

- Menilai resiko cedera pada tubuh bagian atas berdasarkan postur kerja, penggunaan otot, berat beban yang ditanggung, durasi kerja serta frekuensi kerja
- Memberikan suatu skor penilaian yang dapat mengindikasikan tingkat penanganan yang dibutuhkan untuk mengurangi resiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas.

Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas yang menjadi dibagi menjadi dua kelompok yaitu seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**:

1. Kelompok A yaitu lengan yang terdiri dari lengan bagian atas dan bawah dan tangan yang terdiri dari pergelangan tangan dan putaran yang terjadi pada pergelangan tangan.
2. Kelompok B yaitu batang tubuh dan leher.



Gambar 2.8 Pengelompokan Tubuh Metode RULA

(Sumber: Karwowski, Waldemar, International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor, Taylor and Francis: New York, 2001, hal. 1462)

Prosedur penggunaan metode RULA dikelompokkan menjadi tiga langkah (N. Stanton, et al., 2000), yaitu :

1. Mengamati dan memilih postur untuk dinilai Penilaian RULA mewakili suatu keadaan pada satu siklus kerja sehingga pengamatan postur selama satu siklus penuh pekerjaan merupakan hal yang penting dalam penilaian menggunakan metode ini. Sesuai dengan tipe penelitian, pemilihan dapat dilakukan berdasarkan postur yang berada pada jangka waktu yang lama, ataupun postur yang terlihat buruk.

2. Merekam dan menilai postur

Penilaian dilakukan pada bagian tubuh atas yang ingin diteliti. Penilaian tersebut dapat dilakukan dengan penggunaan *software*, ataupun dengan menggunakan diagram penilaian RULA sehingga dihasilkan skor untuk setiap bagian tubuh, beserta gaya atau beban yang menyertai postur tersebut. Selanjutnya nilai akhir (*grand score*) dari postur dapat diketahui.

3. Level Aksi

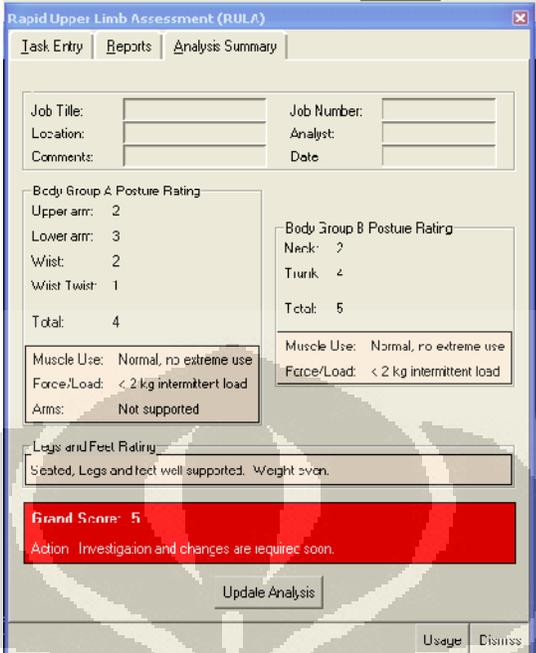
Nilai akhir dapat dibandingkan dengan daftar tindakan yang harus dilakukan. Rentang nilai akhir pada metode RULA terdiri dari skor 1 hingga 7. Untuk lebih jelasnya, pembobotan nilai tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Pembobotan Nilai pada RULA

Skor	Keterangan
1 dan 2	Postur diterima
3 dan 4	Investigasi perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan
5 dan 6	Investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera
7	Investigasi dan perubahan perlu dilakukan secepat mungkin

(Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008)

Output analisis RULA akan dipengaruhi oleh postur tubuh pekerja ketika melakukan aktivitas tersebut, beban yang diangkat dan jumlah repetisi dari proses tersebut. Tampilan output analisis RULA pada software Jack dapat dilihat pada **Gambar 2.9** di bawah ini.



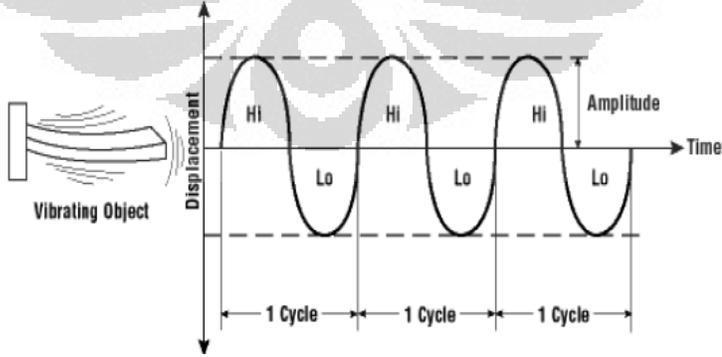
Gambar 2.9 Contoh Output Analisis RULA

(Sumber : Software Jack 6.1)

2.8. Getaran/Vibration

2.8.1 Pengertian Getaran/Vibration

Menteri Negara Lingkungan Hidup dalam surat keputusannya mencantumkan bahwa getaran adalah gerakan bolak balik suatu massa melalui keadaan setimbang terhadap suatu titik acuan. Sedangkan yang dimaksud dengan getaran mekanik adalah getaran yang ditimbulkan oleh sarana dan peralatan kegiatan manusia (Kep. MENLH No: KEP-49/MENLH/11/1996).



Gambar 2.10 Gambaran Suatu Getaran

Sumber: *Occupational Vibration Exposure*, Pathak, 2005

Pendapat tersebut ditegaskan dalam buku saku Kesehatan dan Keselamatan Kerja dari Sucofindo (2002) yang menyatakan bahwa getaran ialah gerakan *ossillatory*/bolak-balik suatu massa melalui keadaan setimbang terhadap suatu titik tertentu, yang dsimulasikan pada gambar 2.17. Dalam kesehatan kerja, getaran yang terjadi secara mekanis dan secara umum terbagi atas:

- a. Getaran seluruh badan (*whole body vibration*)
- b. Getaran tangan-lengan (*hand arm vibration*)

Besaran getaran dinyatakan dalam akar rata-rata kuadrat percepatan dalam satuan meter per detik (m/s^2 rms). Frekuensi getaran dinyatakan sebagai putaran per detik (Hz). Vibrasi atau getaran dapat disebabkan oleh getaran udara atau getaran mekanis misalnya mesin atau alat-alat mekanis lainnya. Oleh sebab itu, getaran dapat dibedakan dalam 2 bentuk:

- a. Vibrasi karena getaran udara yang pengaruh utamanya pada akustik.
- b. Vibrasi karena getaran mekanis mengakibatkan timbulnya resonansi/turut bergetarnya alat-alat tubuh dan berpengaruh terhadap alat-alat tubuh yang sifatnya mekanis pula. (Gabriel, 1996)

Penjalaran vibrasi mekanik melalui sentuhan/kontak dengan permukaan benda yang bergerak. Sentuhan ini melalui daerah yang terlokasi (*hand arm vibration*) atau seluruh tubuh (*whole body vibration*). Efek getaran terhadap tubuh tergantung pada besar kecilnya frekuensi yang mengenai tubuh:

- 3 – 9 Hz : Akan timbul resonansi pada dada dan perut
- 6 – 10 Hz : Dengan intensitas 0.6 gram, tekanan darah, denyut jantung, pemakaian O_2 dan volume perdenyut sedikit berubah. Pada intensitas 1.2 gram terlihat banyak perubahan sistem peredaran darah
- 10 Hz : Leher, kepala, pinggul, kesatuan otot dan tulang akan beresonansi
- 13 – 15 Hz: Tenggorokan akan mengalami resonansi
- >20 Hz : Tonus otot akan meningkat, akibat kontraksi statis ini otot menjadi lemah, rasa tidak enak dan kurang ada perhatian

2.8.2 Dampak Getaran Seluruh Tubuh terhadap Kesehatan

Ada beberapa dampak getaran seluruh tubuh terhadap kesehatan, seperti:

Universitas Indonesia

1. Getaran seluruh tubuh dapat menyebabkan kelelahan, sulit tidur, sakit kepala dan gemetar secara singkat setelah dan selama pemaparan. Gejala yang sama juga dialami oleh kebanyakan orang setelah mengalami perjalanan panjang dengan mobil atau kapal.
2. Orang-orang dibawah usia 20 tahun khususnya rentan terhadap pengaruh-pengaruh getaran. Efek-efek getaran yang merugikan dipertinggi dengan adanya disfungsi otonom, penyakit pembuluh dan syaraf perifer, sengatan dingin sebelumnya pada tangan dan trauma lengan.
3. Efek vibrasi dalam tubuh tergantung dari jaringan. Hal ini didapatkan sebesar-besarnya pada frekuensi alami yang menyebabkan resonansi. Leher dan kepala, pinggul dan perineum, serta kesatuan otot-otot dan tulang terdiri dari jaringan lemah dengan bagian keras bersama, dan beresonansi baik terhadap 10 Hz. Pharynx beresonansi terhadap 13-15 Hz. Getaran-getaran kuat menyebabkan perasaan sakit yang luar biasa.
4. Sistem peredaran darah dipengaruhi hanya oleh getaran-getaran dengan intensitas tinggi. Dari semua alat badan, mata paling banyak dipengaruhi oleh getaran mekanis. Pada frekuensi sampai dengan 4 Hz, mata masih dapat mengikuti getaran-getaran antara kepala dan sasaran, sedangkan untuk frekuensi selanjutnya mata tidak dapat lagi mengikutinya. Pada frekuensi tinggi, penglihatan juga terganggu, manakala amplitudo lebih besar dari jarak dua kali retina. Pengaruh getaran dibawah 16 Hz kepada *cochlea* belum diketahui secara pasti dan masih dalam penelitian.

2.8.3 Standard Baku Tingkat Getaran

Standard baku tingkat getaran adalah batas maksimal tingkat getaran yang diperbolehkan agar tidak menimbulkan gangguan terhadap kenyamanan dan kesehatan pekerja. Menurut standar internasional ISO 2631-1: 1997, getaran mesin dan getaran seluruh tubuh, agak sedikit berbeda dengan standard lain yang digunakan (Standard Australia). Standard ini didasarkan pada kriteria penilaian terhadap dampak kesehatan, dan kenyamanan. Standard ini menggunakan istilah '*caution zone*' untuk mengklasifikasikan paparan getaran diluar batas aman yang juga dengan mempertimbangkan lamanya terpapar vibrasi. Tingkatan selanjutnya

Universitas Indonesia

dinamakan '*likely to cause injury*'. Berikut ini adalah gambaran pengkategorianya.

Tabel 2.3 Pengklasifikasian Getaran Berdasarkan ISO

Lama Pemaparan	ISO 2631-1, 1997		
	Likely Health Risk	Caution Zone	Comfort Level
8 jam	0.8 m/s ²	0.5 m/s ²	0.315 m/s ²
12 jam	0.7 m/s ²	0.4 m/s ²	0.315 m/s ²

2.9. Material Kursi

Secara umum bahan pembentuk material kursi adalah sebagai berikut:

1. Bingkai/*frame*, yang digunakan sebagai kerangka kursi masinis tersebut
2. Pegas/kawat, sebagai penunjang sistem kursi. Fungsi bagian ini juga untuk mengurangi transmisi getaran ke tubuh pengguna
3. Busa, sebagai penunjang *user*. Terdapat banyak jenis busa yang biasa digunakan pada pembuatan kursi yang disesuaikan dengan jenis kursi masing-masing. Busa dapat dibedakan juga fungsinya berdasarkan densitas.
4. Material pelapis alas duduk. Material ini merupakan alas terluar kursi, dimana material ini berinteraksi langsung terhadap pengguna. Hal ini menyebabkan material ini sebaiknya dipilih dengan mempertimbangkan faktor tekstur, kemampuan beradaptasi temperatur, serta spesifikasi lain untuk menunjang kenyamanan pengguna.

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisikan penjelasan mengenai pengumpulan dan teknis pengambilan data yang telah dilakukan dalam penelitian ini, beserta pengolahan data.

3.1. Pengumpulan Data

Dalam menginvestigasi permasalahan ergonomi yang dialami oleh masinis KRL *Commuter Line* Jabodetabek yang menjadi objek penelitian ini, maka diperlukan data-data untuk mendukung validitas penelitian. Tujuan pengambilan data ini adalah untuk memastikan bahwa penelitian yang dilakukan benar-benar sesuai dengan masalah yang terjadi di lapangan, khususnya yang berkaitan dengan objek penelitian. Data-data yang diperlukan diantaranya merupakan data primer yang harus diobservasi secara langsung, berkaitan dengan keluhan muskuloskeletal yang dialami, data ukuran kursi dan kabin yang digunakan, serta data antropometri para masinis tersebut. Lokasi pengumpulan data adalah di sepanjang stasiun jurusan Bogor – Jakarta Kota dan di dalam kereta. Adapun waktu pengumpulan data dimulai pada tanggal 30 Maret 2012 hingga 16 April 2012.

Jalur *Commuter Line* Jabodetabek dilayani oleh 2 jenis model kereta api, yaitu rangkaian kereta api yang dimiliki oleh PT. KAI dan rangkaian kereta api yang dimiliki oleh PT. KAI *Commuter Jabodetabek* (KCJ). Karena objek penelitian ini difokuskan untuk kereta-kereta yang terbaru, maka rangkaian kereta api yang menjadi objek pengukuran adalah rangkaian kereta yang dimiliki oleh PT. KCJ. PT. KCJ pun memiliki berbagai seri rangkaian kereta api, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1 di bawah ini. Seri kereta yang menjadi objek pengukuran aktual adalah kereta Tokyo Metro Seri 05, dengan pertimbangan bahwa kereta seri ini merupakan kereta yang terbanyak yang dimiliki yaitu 8 rangkaian dibandingkan seri lain yang hanya dimiliki sebanyak 4 atau 5 rangkaian.



Gambar 3.1 (a) Kereta yang Dimiliki PT. KAI, (b) Kereta yang Dimiliki PT. KCJ

Tabel 3.1 Daftar Armada KRL PT. KCJ

Pemilik	Seri	No. Rangkaian Kereta										Jumlah
PT. KCJ	Tokyo Metro Seri 7000	7117	7217	7317	7417	7517	7617	7717	7817	7917	7017	10
		7121	7221	7321	7421	7521	7621	7721	7821	7921	7021	10
		7122	7222	7322	7422	7522	7622	7722	7822	7922	7022	10
		7123	7223	7323	7423	7523	7623	7723	7823	7923	7023	10
	Tokyo Metro Seri 05	05-102	05-202	05-302	05-402	05-502	05-602	05-702	05-802	05-902	05-002	10
		05-107	05-207	05-307	05-407	05-507	05-607	05-707	05-807	05-907	05-007	10
		05-108	05-208	05-308	05-408	05-508	05-608	05-708	05-808	05-908	05-008	10
		05-109	05-209	05-309	05-409	05-509	05-609	05-709	05-809	05-909	05-009	10
		05-110	05-210	05-310	05-410	05-510	05-610	05-710	05-810	05-910	05-010	10
		05-104	05-204	05-304	05-404	05-504	05-604	05-704	05-804	05-904	05-004	10

	05-105	05-205	05-305	05-405	05-505	05-605	05-705	05-805	05-905	05-005	10
	05-112	05-212	05-312	05-412	05-512	05-612	05-712	05-812	05-912	05-012	10
Tokyo Metro Seri 6000	6126	6226	6326	6426	6526	6626	6726	6826	6926	6026	10
	6115	6215	6315	6415	6515	6615	6715	6815	6915	6015	10
	6106	6206	6306	6406	6506	6606	6706	6806	6906	6006	10
	6112	6212	6312	6412	6512	6612	6712	6812	6912	6012	10
Tokyo Metro Seri 8500	8513	8813	8930	8796	800	8913	8713	8613			8
JR203	202-106	202-118	203-118	203-112	202-117	203-117	203-111	202-116	203-116	203-106	10
	202-2	202-6	203-6	203-4	202-5	203-5	203-3	202-4	203-4	203-2	10
	202-1	202-3	203-3	203-2	202-2	203-2	203-1	202-1	203-1	203-1	10
	202-108	202-104	203-124	203-116	202-123	203-123	203-115	202-122	203-122	203-108	10
	202-109	202-127	203-127	203-118	202-126	203-126	203-117	202-125	203-125	203-109	10

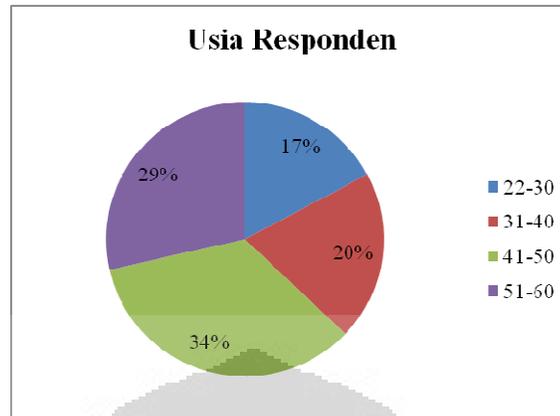
Sumber : Data Internal PT. KCI

3.1.1. Deskripsi Data

Jumlah responden dalam penelitian ini adalah 36 orang masinis KRL *Commuter Line* Jabodetabek dengan jenis kelamin laki-laki. Gambar 3.2 di bawah ini menampilkan sebaran responden berdasarkan usia. Perhitungan jumlah sampel responden yang diperlukan dalam penelitian menggunakan metode Taro Yamane (Yamane, 1967), dengan perhitungan sebagai berikut :

$$n = \frac{N}{Nd^2 + 1}$$

Dengan : n = jumlah sampel, N = Jumlah populasi, d = level signifikansi



Gambar 3.2 Diagram Pie Usia Responden

Berdasarkan data PT. KCI, jumlah seluruh masinis *Commuter Line* Jabodetabek saat ini adalah sebanyak 55 orang. Maka, dengan menggunakan alpha sebesar 0.1, perhitungan untuk mengetahui jumlah sampel minimal yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

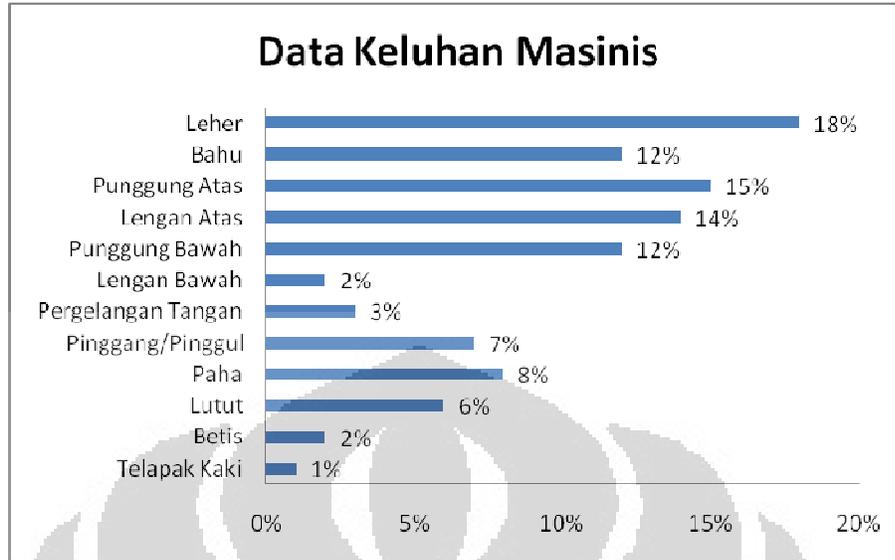
$$n = \frac{55}{55 (0.1)^2 + 1} = \frac{55}{1.55} = 35.48 \approx 36 \text{ orang}$$

Terdapat 4 jenis data yang diperlukan untuk penelitian ini, yaitu data mengenai keluhan *musculoskeletal disorder*, data antropometri tubuh masinis, data ukuran kursi dan kabin, serta data paparan vibrasi.

3.1.2. Data Identifikasi Keluhan Masinis

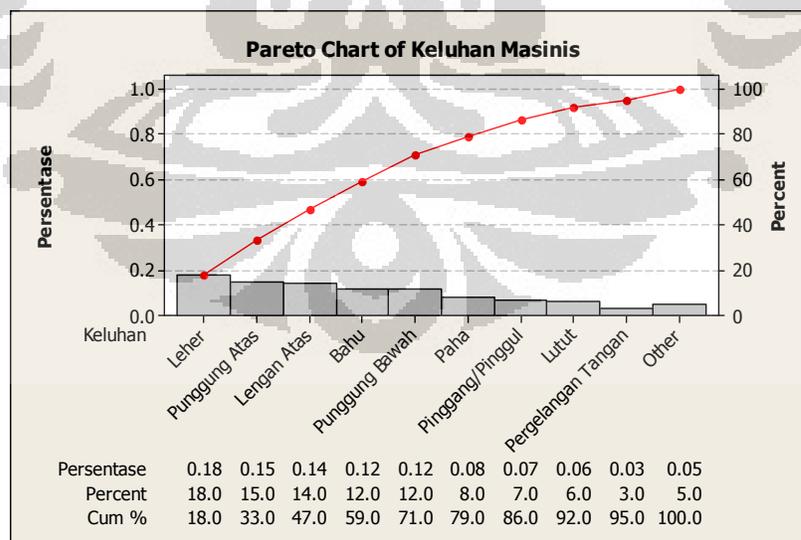
Masinis cukup beresiko tinggi mengalami gangguan gejala terjadinya *musculoskeletal disorder*, dikarenakan mereka berada dalam posisi duduk dalam waktu yang lama serta terdapat ketidaksesuaian ergonomi antara masinis dengan tempat duduk, dan ukuran kabin saat melakukan pekerjaannya.

Untuk mengidentifikasi keluhan masinis terhadap gejala *musculoskeletal disorder*, dilakukan penyebaran kuesioner yang bertujuan untuk mengetahui bagian tubuh masinis yang mengalami gejala *musculoskeletal disorder* seperti nyeri otot, kesemutan, kram otot, dll. Jumlah bagian tubuh yang menjadi objek penelitian adalah 12 anggota tubuh. Gambar 3.3 merupakan grafik yang menunjukkan bagian tubuh yang paling banyak dikeluhkan oleh masinis.



Gambar 3.3 Keluhan pada Bagian Tubuh Masinis Selama Bekerja

Melalui gambar 3.3 dapat diketahui bahwa bagian tubuh yang paling banyak mengalami gangguan gejala *musculoskeletal disorder* pada masinis adalah bagian leher dengan persentase 18%. Namun, untuk mengetahui 80% bagian tubuh masinis yang mengalami gejala *musculoskeletal disorder* digunakanlah diagram pareto seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Pareto Keluhan Masinis

Berdasarkan diagram pareto tersebut dapat dijelaskan bahwa 80% bagian tubuh masinis yang mengalami keluhan *musculoskeletal disorder* adalah leher, punggung atas, lengan atas, bahu, punggung bawah, serta paha. Hal ini merupakan salah satu indikasi dan menjadi sebuah hipotesa awal bahwa kursi yang masinis gunakan saat ini masih kurang nyaman.

3.1.3. Data Ukuran Kursi dan Kabin

Data ukuran kursi dan kabin akan digunakan untuk membuat *virtual environment* menggunakan *software* Jack. *Virtual environment* menggambarkan lingkungan kerja seperti pada realita yang dihadapi oleh para masinis di dalam kabin kereta api. Melalui *virtual environment* ini, akan dianalisa apakah lingkungan kerja saat ini khususnya kursi yang digunakan saat ini telah nyaman serta sesuai dengan postur masinis Indonesia.



Gambar 3.5 Postur Aktual Masinis

Dari hasil pengamatan penulis terhadap ukuran kabin masinis kereta Tokyo Metro seri 05, secara umum area kerja sangat sempit. Sehingga memang dibutuhkan kursi yang mampu memfasilitasi hal tersebut dengan cara desain yang dapat dilipat dan *adjustable* atau dapat disesuaikan ukurannya dengan ukuran pengguna. Fungsi *adjustable* yang saat ini digunakan hanya untuk fungsi maju mundur, namun terlihat fungsi tersebut masih kurang mengakomodasi postur masinis Indonesia, karena saat ini sebagian besar masinis masih belum dapat

bersandar dengan nyaman dan punggung menjadi agak membungkuk saat harus menggerakkan tuas kemudi yang harus dijangkau cukup jauh oleh kedua tangan. Gambar 3.5 menggambarkan postur aktual masinis saat mengemudikan kereta api.

Dalam menentukan spesifikasi dimensi kursi yang sesuai dengan antropometri pengguna, dibutuhkan penyesuaian dimensi dengan mempertimbangkan beberapa ukuran tubuh pengguna. M.K Gouvali (2006) menyatakan terdapat 4 variabel penting yang harus diperhatikan dari rancangan sebuah kursi, diantaranya *seat height* (tinggi dudukan), *seat width* (lebar dudukan), *seat depth* (kedalaman dudukan), dan *backrest height* (tinggi sandaran). Namun, Stephen Pheasant (2003) dalam bukunya *Body Space: Anthropometry, Ergonomic, and the Design of Works* juga menjelaskan bahwa *backrest angle* (sudut kemiringan sandaran punggung) juga merupakan variabel penting dari dimensi sebuah kursi.

Berdasarkan hasil observasi ukuran kursi, terdapat beberapa dimensi yang diukur oleh penulis, diantaranya tinggi dudukan, lebar dudukan, kedalaman dudukan, dan tinggi sandaran punggung. Berikut ini merupakan tabel ukuran dan desain kursi yang dibuat dengan menggunakan *software NX 7* :

Tabel 3.2 Dimensi Ukuran Kursi Aktual

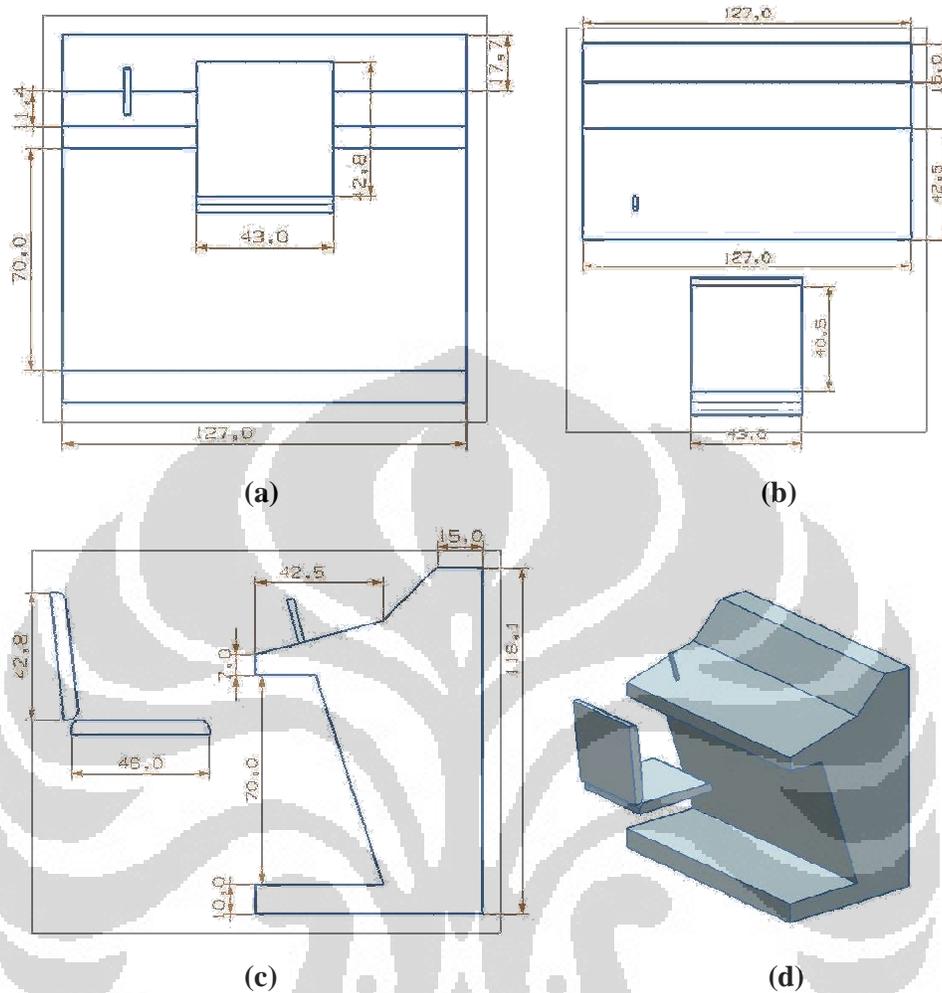
No	Tinggi Dudukan (cm)	Lebar Dudukan (cm)	Kedalaman Dudukan (cm)	Tinggi Sandaran Punggung (cm)
1	60	43	46	42.6

Selain ukuran kursi, penulis juga melakukan pengukuran dimensi kabin untuk mendukung analisis postur agar lebih nyata seperti lingkungan sebenarnya. Dimensi yang diukur antara lain adalah tinggi kabin, panjang kabin, lebar kabin, serta tinggi sandaran kaki.

Tabel 3.3 Dimensi Ukuran Kabin Aktual

No	Tinggi Kabin (cm)	Panjang Kabin (cm)	Lebar Kabin (cm)	Tinggi Sandaran Kaki (cm)
1	87	127	42.5	10

Berikut ini ditampilkan pula desain kursi dan kabin aktual dengan menggunakan *software NX 7*:



Gambar 3.6 Desain Aktual dengan *Software NX 7* (a) Tampak Depan, (b) Tampak Atas, (c) Tampak Samping, (d) Isometri

3.1.4. Data Antropometri

Data antropometri tubuh manusia merupakan data yang akan digunakan untuk membuat *virtual human modelling* dengan *software Jack 6.1* serta menetapkan parameter ukuran konfigurasi kursi yang akan dirancang sebagai output dari penelitian ini. Data antropometri yang dikumpulkan tidak hanya tinggi badan dan berat badan. Data Antropometri yang dikumpulkan antara lain tinggi badan, berat badan, tinggi popliteal, jarak bokong-popliteal, tinggi pundak pada posisi duduk, lebar bahu, lebar pinggul, tinggi mata pada posisi duduk, lebar perut, jarak bokong-lutut, jarak pundak-siku, jarak siku-jari, panjang lengan dan

panjang telapak kaki. Data-data ini dikumpulkan melalui 2 posisi pengukuran yang berbeda, yaitu :

- a. Data yang diukur dalam posisi duduk tegak bersandar dengan sudut antara paha dan batang tubuh 90 derajat: tinggi popliteal, jarak bokong-popliteal, tinggi pundak pada posisi duduk, lebar bahu, lebar pinggul, tinggi mata pada posisi duduk, lebar perut, jarak bokong-lutut, jarak pundak-siku, jarak siku-jari, panjang lengan dan panjang telapak kaki.
- b. Data yang diukur dalam posisi tegak : tinggi badan dan berat badan.

Data antropometri yang didapat kemudian diolah menjadi persebaran data dalam persentil 5, 50 dan 95. Rincian data persentil yang didapat dari data antropometri yang dikumpulkan dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Persentil Data Antropometri Masinis

Ukuran	Persentil		
	5%	50%	95%
Berat Badan	50.8	66	97.8
Tinggi Badan	156.7	164	173.3
T. Popliteal	43.4	49	54.3
Bokong-Popliteal	38.1	42	46.6
T. Pundak	51.4	60	66.9
L. Bahu	37.7	43	50
L. Panggul	29.4	37	46.6
T. Mata (duduk)	65	72	78.3
L. Perut	17	22	27.6
Bokong-Lutut	46	51	57.6
Pundak-Siku	25.4	30	36.6
Siku-Jari	35	38	48
P. Lengan	53.7	64	77.6
P. Tlpak Kaki	20	24	28

Data ini kemudian akan digunakan untuk menghitung ukuran kursi yang akan dirancang dengan menggunakan rumus yang berlaku hingga diperoleh sebuah desain yang paling ergonomis dan sesuai dengan postur tubuh. Desain ini nantinya juga diharapkan dapat mengurangi keluhan *musculoskeletal* yang diakibatkan oleh kesalahan desain.

Sebenarnya pada *software* Jack telah terdapat data antropometri manusia dengan berbagai jenis ras, namun demikian data antropometri tersebut akan lebih valid jika didukung dengan pengukuran langsung antropometri dari objek pada

penelitian ini, yakni masinis. Agar secara statistik, ukuran ini dapat dikatakan valid untuk dapat memfasilitasi ukuran antropometri seluruh masinis KRL Commuter Line Jabodetabek. Pengukuran ini pun telah memenuhi 2 kaidah penting dalam standar pengukuran antropometri (Parcells et al., 1999) :

- a. Responden yang diukur, diusahakan tidak menggunakan pakaian yang tebal (misalnya jaket) dan alas kaki (termasuk kaos kaki), sebab hal ini dapat mengakibatkan kesalahan pengukuran.
- b. Postur tubuh responden yang diukur harus tepat, dalam hal ini postur duduk tegak pada permukaan kursi yang rata dan bersandar pada sandaran punggung dengan sudut antara paha dan batang tubuh sebesar 90 derajat dan juga postur tubuh berdiri tegak pada permukaan lantai yang rata.

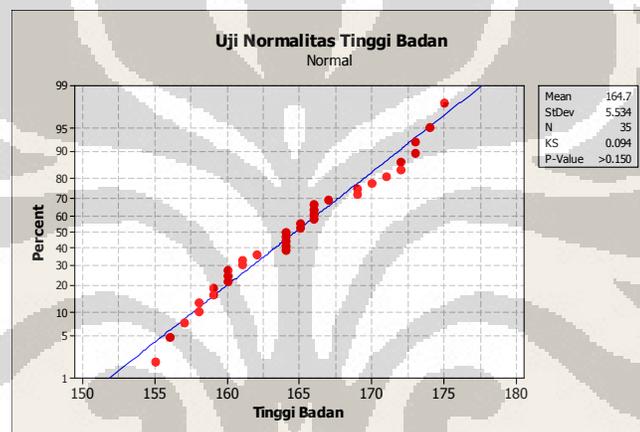
Dengan demikian, diharapkan hasil pengukuran dapat menjadi lebih akurat. Hasil pengukuran data antropometri ini dapat dilihat pada bagian Lampiran.

3.2. Uji Normalitas Data

Uji normalitas data berguna untuk menentukan apakah data yang telah dikumpulkan telah terdistribusi normal atau tidak. Apabila sudah terdistribusi normal, maka dapat dikatakan bahwa data tersebut dapat mewakili populasi. Berdasarkan pengalaman empiris ahli statistik, data yang banyaknya lebih dari 30 ($n > 30$) sudah dapat dikatakan terdistribusi normal. Namun, untuk memberikan kepastian data yang lebih akurat, maka sebaiknya digunakan uji normalitas.

Data yang perlu diuji normalitasnya adalah data antropometri. Uji normalitas untuk data antropometri ini dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16. Ada terdapat banyak metode normalitas yang dapat digunakan, namun pada penelitian ini penulis menggunakan metode normalitas dengan metode Kolmogorov-Smirnov. Metode ini dipilih karena dianggap dapat memberikan hasil yang lebih akurat diantara metode-metode yang lain. Konsep dari uji normalitas menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov adalah dengan membandingkan distribusi data yang diuji dengan distribusi data normal baku.

Gambar 3.7 di bawah ini menunjukkan grafik uji normalitas yang dihasilkan oleh *software* Minitab 16. Sedangkan Tabel 3.5 merupakan tabel ringkasan keseluruhan hasil uji normalitas tiap ukuran antropometri. Dari hasil uji normalitas dapat disimpulkan bahwa jika nilai signifikansi lebih dari 0,05, maka data telah terdistribusi normal. Namun apabila nilai signifikansi kurang dari 0,05, maka data dapat dikatakan tidak terdistribusi normal. Tabel di bawah menunjukkan bahwa seluruh variabel yang diuji memiliki nilai signifikansi lebih dari 0,05. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data tiap ukuran telah terdistribusi normal dan mewakili populasi, serta data ini juga layak untuk diolah lebih lanjut.



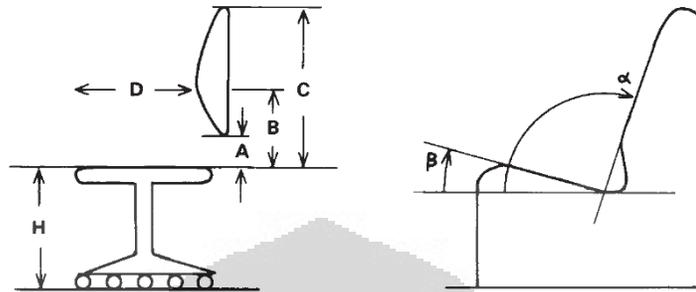
Gambar 3.7 Grafik Uji Normalitas pada Minitab

Tabel 3.5 Hasil Uji Normalitas Data Antropometri

Normality Test		
Kolmogorov-Smirnov		
Variabel Ukuran	df	Sig
Berat Badan	36	0.134
Tinggi Badan	36	0.094
T. Popliteal	36	0.109
Bokong-Popliteal	36	0.109
T. Pundak	36	0.095
L. Bahu	36	0.127
L. Panggul	36	0.079
T. Mata (duduk)	36	0.089
L. Perut	36	0.198
Bokong-Lutut	36	0.121
Pundak-Siku	36	0.151
Siku-Jari	36	0.174
P. Lengan	36	0.161
P. Tlpek Kaki	36	0.115

3.3. Pengolahan Data

3.3.1. Penentuan Dimensi dari Desain Usulan



Gambar 3.8 Penampang Kursi

Sumber : Pheasant, S., *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomis and the Design of Work, Second Edition*, Taylor & Francis, London, 2003, p.75

Berikut ini merupakan variabel yang penting beserta parameter yang harus dipenuhi dalam membuat dimensi desain usulan kursi kerja:

1. Tinggi dudukan

Tinggi dudukan (H pada gambar) harus lebih rendah dari tinggi *popliteal* pekerja dan dapat memenuhi kriteria berikut ini : (1) kaki bagian bawah harus dapat membentuk sudut antara 5-30° relatif terhadap vertikal dan (2) sudut antara paha dan tubuh adalah sekitar 95-120 derajat. Dalam kasus ini, kita akan menambahkan 2 cm pada tinggi *popliteal* yang diperoleh sebagai tambahan dari tinggi sepatu yang biasa digunakan masinis.

2. Tinggi sandaran

Tinggi sandaran harus dapat menahan 60-80% dari tinggi bahu pekerja ketika duduk. Akan lebih baik apabila bentuk sandaran punggung dibuat dengan menyesuaikan bentuk lengkungan tulang punggung.

3. Kemiringan sandaran

Menurut buku *Body Space : Anthropometry, Ergonomis and the Design of Work* yang ditulis oleh Stephen Pheasant (2003) kemiringan sandaran kursi yang baik adalah sekitar 100-110 derajat. Kemiringan sandaran kursi ini dihitung dari posisi horizontal. (seperti α pada gambar)

4. Lebar dudukan

Lebar dudukan harus 10-30% lebih besar dari lebar bokong pengguna. Hal ini dimaksudkan untuk *allowance space* bagi pekerja saat duduk.

5. Kedalaman dudukan

Menurut Parcels et al. (1999) kedalaman dudukan (D pada gambar) yang tepat adalah antara 80-99% dari panjang popliteal-buttock, agar ujung dudukan tidak menekan ke bagian betis atas.

Jadi apabila dibuat rumusnya untuk menentukan dimensi kursi yang terbaik untuk masing-masing variabel diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 3.6 Rumus Perhitungan Dimensi Kursi

Variabel	Rumus
Tinggi dudukan (Seat Height)	$(TP+2) \cos 30^\circ \leq SH \leq (TP+2) \cos 5^\circ$
Tinggi sandaran (Backrest Height)	$0.6 TB \leq BH \leq 0.8 TB$
Kemiringan sandaran	100-110°
Lebar dudukan (Seat Width)	$1.1 LB \leq SW \leq 1.3 LB$
Kedalaman dudukan (Seat Depth)	$0.8 PB \leq SD \leq 0.99 PB$

3.3.2. Penggunaan Persentil pada Desain Usulan

Pada bagian sebelumnya telah dituliskan berbagai rumus untuk menetapkan dimensi terbaik masing-masing variabel pada desain kursi usulan, maka selanjutnya telah dapat dihitung masing-masing nilai terbaik untuk tiap variabel tersebut. Nilai inilah yang nantinya akan digunakan untuk membuat desain usulan terbaik kursi yang sesuai dengan data antropometri masinis yang sebelumnya telah diperoleh. Model desain usulan kursi yang akan dibuat ini mengacu pada gabungan metode *design for extreme* yang menggabungkan ukuran antropometri dengan persentil 5 dan 95 dengan metode desain untuk ukuran rata-rata yang menggunakan data pengguna persentil 50. Kedua metode ini digabungkan demi memperoleh desain terbaik. Berikut ini adalah nilai acuan data antropometri yang digunakan untuk menetapkan dimensi terbaik pada masing-masing variabel kursi :

Tabel 3.7 Acuan Data Antropometri untuk Perhitungan Dimensi Kursi

Variabel	Acuan Data Antropometri
Tinggi dudukan (<i>Seat Height</i>)	Persentil 50
Tinggi sandaran (<i>Backrest Height</i>)	Persentil 95
Kemiringan sandaran	-
Lebar dudukan (<i>Seat Width</i>)	Persentil 95
Kedalaman dudukan (<i>Seat Depth</i>)	Persentil 50

1. Tinggi dudukan (*Seat height*)

Ukuran tinggi dudukan dihitung berdasarkan panjang lutut untuk persentil 50. Hal yang dipertimbangkan adalah penggunaan persentil 5 mungkin bisa menyebabkan tinggi dudukan terlalu rendah untuk pengguna dengan persentil 95 sehingga kaki pengguna akan menekuk. Sebaliknya, apabila yang digunakan sebagai patokan adalah persentil 95, maka kemungkinan akan terlalu tinggi bagi pengguna dengan ukuran tubuh persentil 5 sehingga kaki pengguna akan menggantung dan tidak bisa menapak dengan baik pada lantai atau sandaran kaki.

2. Tinggi sandaran (*Backrest Height*)

Tinggi sandaran kursi akan dihitung menggunakan acuan tinggi bahu pengguna dengan persentil 95. Hal ini dimaksudkan agar sandaran ini dapat menopang punggung pengguna dengan ukuran tubuh persentil 5, 50 maupun 95. Dengan mengambil patokan persentil 95, yang merupakan persentil dengan ukuran tubuh terbesar, pasti pengguna dengan ukuran tubuh persentil 5 dan 50 juga dapat diakomodir kebutuhannya untuk sandaran punggung ini. Bentuk sandaran punggung ini akan dibuat dengan dilapisi busa, agar lebih sesuai dan nyaman untuk tulang punggung.

3. Lebar dudukan (*Seat Width*)

Acuan untuk menghitung lebar dudukan kursi usulan menggunakan lebar bokong (*hip breadth*) untuk persentil 95. Dengan mengambil acuan lebar bokong dengan ukuran ekstrem atas, maka lebar dudukan ini juga pasti akan cukup untuk pengguna dengan persentil 5 dan 50.

4. Kedalaman dudukan (*Seat Depth*)

Kedalaman dudukan dihitung dengan menggunakan acuan panjang *popliteal-buttock* dari pengguna dengan persentil 50. Pertimbangannya adalah bahwa kedalaman dudukan ini tidak boleh terlalu lebar karena ujung dudukan akan menekan ke bagian betis pengguna, demikian juga tidak boleh terlalu sempit karena akan menekan bagian bawah dari paha pengguna. Dengan demikian, panjang *popliteal-buttock* pengguna dengan persentil 50 adalah acuan yang paling pas untuk variabel ini.

5. Sudut sandaran

Stephen Pheasant menyatakan bahwa kursi yang baik untuk kesehatan punggung manusia adalah yang memiliki kemiringan sandaran yang optimal, yaitu antara 100 sampai 110 derajat.

Setelah acuan data antropometri ditentukan, kini nilai minimum dan maksimum untuk masing-masing variabel kursi dapat dihitung dengan rumus yang ada di bagian sebelumnya, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 3.8 Nilai Minimum dan Maksimum untuk Ukuran Dimensi Kursi Usulan

Variabel	Nilai Minimum (cm)	Nilai Maksimum (cm)
Tinggi dudukan (<i>Seat Height</i>)	43.86	50.49
Kedalaman dudukan (<i>Seat Depth</i>)	33.6	41.58
Lebar dudukan (<i>Seat Width</i>)	51.26	60.58
Tinggi sandaran (<i>Backrest Height</i>)	40.14	53.52
Sudut sandaran	100	110

Untuk variabel yang memiliki satuan centimeter, maka penulis akan menggambarkan desain usulan dengan nilai maksimal. Sementara untuk variabel yang merupakan nilai sudut, akan diubah setiap kelipatan 5 derajat untuk tiap desain usulan.

3.4. Perancangan Model Simulasi Postur Duduk

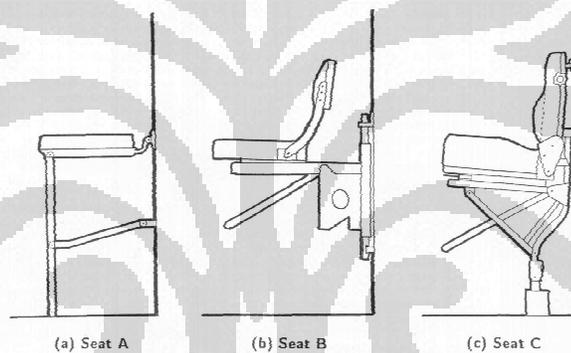
3.4.1. Penentuan Konfigurasi

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap postur tubuh masinis saat melakukan pekerjaannya di dalam kabin kereta api. Modul simulasi postur duduk ini akan dibuat dalam sebuah virtual environment menggunakan *software* Jack. Pada tahap awal, model simulasi postur duduk akan dilakukan dengan desain kursi aktual. Selanjutnya, model simulasi postur duduk akan dilakukan sesuai dengan konfigurasi desain usulan kursi yang telah ditetapkan. Variabel yang akan diubah dalam konfigurasi desain usulan kursi yang diberikan adalah kemiringan sandaran dan jenis sandaran. Jenis sandaran dibedakan karena berdasarkan permintaan dari PT. KAI untuk menganalisis jenis sandaran manakah yang lebih cocok untuk mampu memfasilitasi masinis agar tidak cepat mengantuk (karena terlalu nyaman) dan selalu siap siaga dalam bekerja. Kombinasi variabel ini kemudian menghasilkan beberapa model dalam *virtual environment*, yang disebut sebagai konfigurasi. Masing-masing konfigurasi ini akan diujikan kepada *virtual human model* dengan persentile 5 dan 95 untuk menguji kecocokannya dengan ukuran tubuh pengguna dalam *range* ekstrem. Berikut ini adalah konfigurasi yang telah ditetapkan pada pengujian ini:

Tabel 3.9 Daftar Konfigurasi Postur Duduk pada *Virtual Human Model*

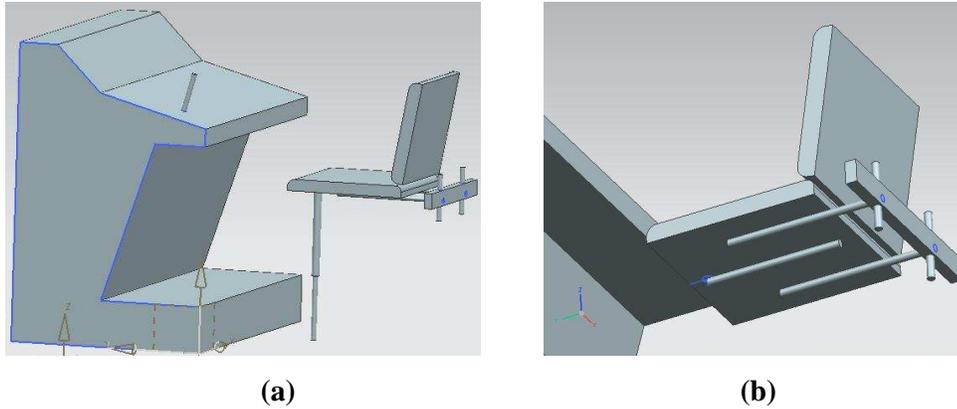
No	Konfigurasi	Jenis Sandaran	Sudut Sandaran	Persentil
1	1a	full	100	95
2	1b	full	100	5
3	2a	full	105	95
4	2b	full	105	5
5	3a	full	110	95
6	3b	full	110	5
7	4a	half	100	95
8	4b	half	100	5
9	5a	half	105	95
10	5b	half	105	5
11	6a	half	110	95
12	6b	half	110	5

Keduabelas konfigurasi yang telah ditetapkan tersebut harus bisa memenuhi ataupun menguji populasi yang menggunakan kursi masinis. Maka dari itu, konfigurasi tersebut harus memenuhi persentil ukuran tubuh yang ekstrem, yaitu persentil 5 dan 95. Dari segi dimensi kursi, konfigurasi harus memperhatikan kemiringan sandaran kursi dan jenis sandaran yang digunakan. Selain itu, berdasarkan jurnal yang berjudul “*Effect Of Operator Seat Design On Vibration Exposure*” (Ozkaya, Willems, Goldsheyder, 1996) menyebutkan bahwa desain kursi juga mempengaruhi besarnya paparan getaran yang dirasakan oleh pengguna. Hasil jurnal tersebut juga menyebutkan bahwa desain kursi masinis dengan penyangga di bagian bawah (desain A) dapat mengurangi paparan getaran daripada desain kursi masinis lain yang diujikan (desain B dan C). Penjelasan ini dapat dilihat pada gambar 3.9 di bawah ini:



Gambar 3.9 Perbandingan Tiga Jenis Desain Kursi terhadap Paparan Getaran yang Dirasakan

Dengan demikian, maka desain-desain kursi yang akan ditampilkan adalah desain yang memiliki penyangga bawah. Namun, ada pertimbangan lain pula yang harus dipikirkan, yakni fungsi kursi tersebut. Ukuran kabin yang cukup sempit mengharuskan desain kursi yang dapat dilipat dan *adjustable* dengan tujuan agar dapat mengakomodasi seluruh masinis dari persentil 5 hingga 95. Dengan demikian, kursi ini nantinya juga didesain agar dapat terlipat seperti gambar di bawah ini:

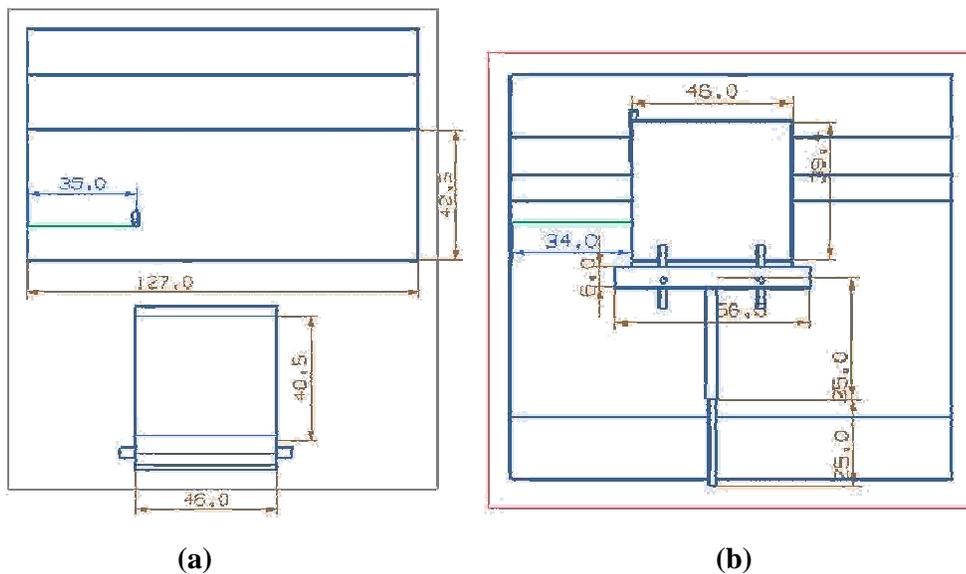


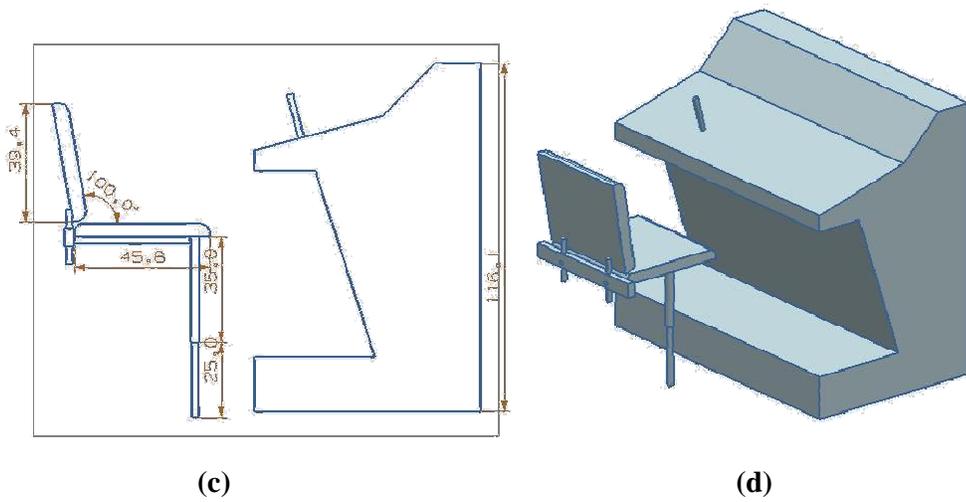
Gambar 3.10 (a) Saat Penyangga Dibuka, (b) Saat Penyangga Dilipat

Selain penyangga yang dapat dilipat, alas kursi juga dapat dilipat keatas agar dapat memperluas ruang kabin saat sedang tidak dipakai. Berikut ini merupakan dimensi tiap konfigurasi dengan menggunakan *software NX 7*:

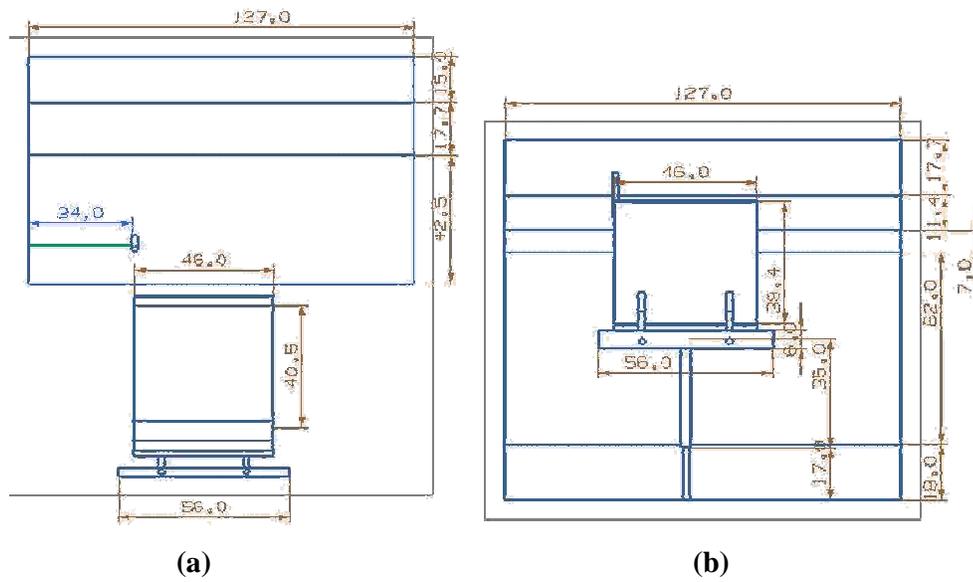
Jenis Sandaran Full

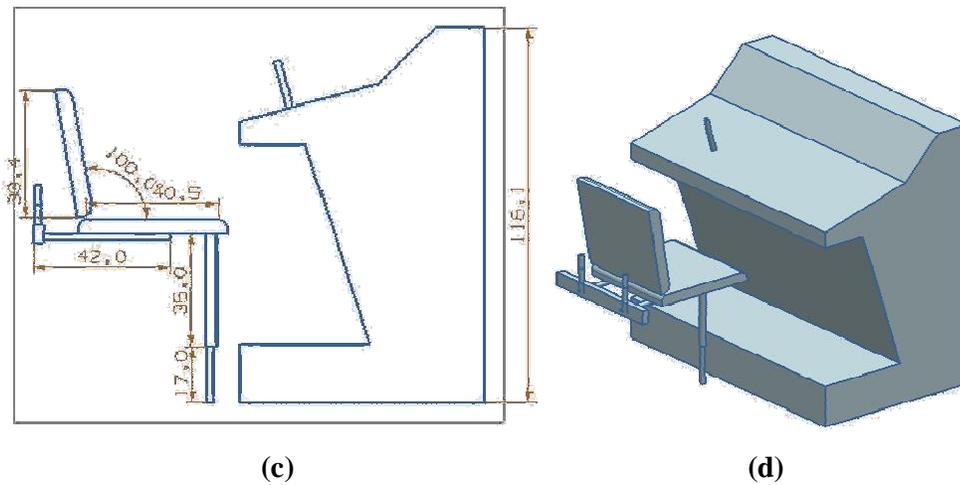
Gambar yang akan ditampilkan di bawah ini merupakan gambar konfigurasi 1 hingga 3, dimana jenis sandarannya adalah sandaran full.





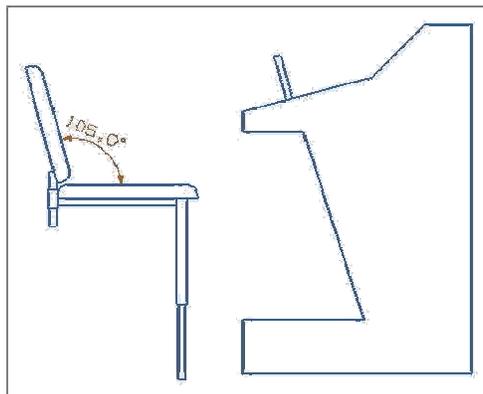
Gambar 3.11 Konfigurasi 1a (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri



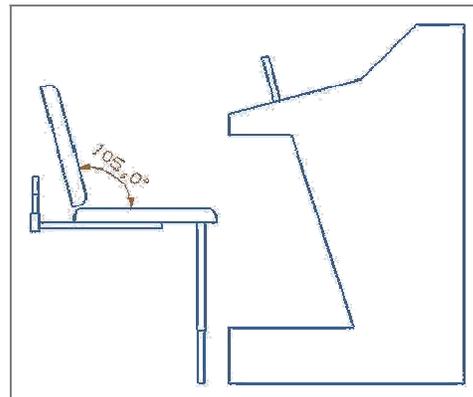


Gambar 3.12 Konfigurasi 1b (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri

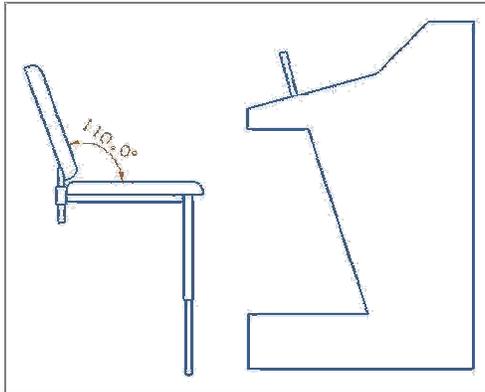
Sedangkan untuk konfigurasi 2a, 2b, 3a dan 3b hanya mengalami perbedaan dengan konfigurasi 1 hanya pada sudut sandarannya saja. Sehingga gambar selanjutnya hanya akan memuat tampak samping dari konfigurasi 2a, 2b, 3a dan 3b, karena secara umum dimensi yang lain tetap sama.



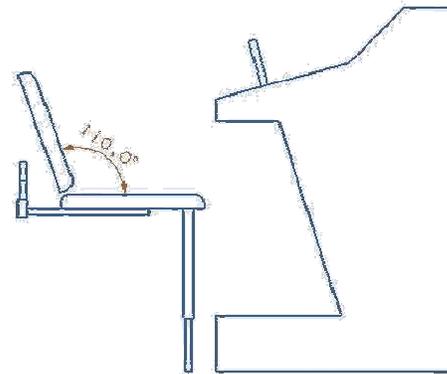
Gambar 3.13 Konfigurasi 2a



Gambar 3.14 Konfigurasi 2b



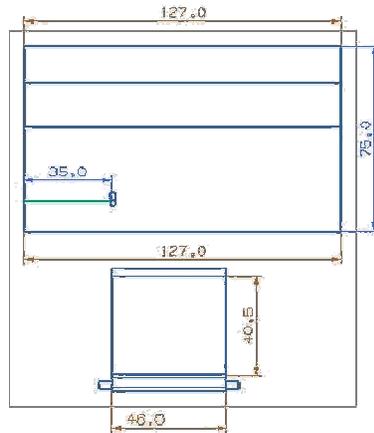
Gambar 3.15 Konfigurasi 3a



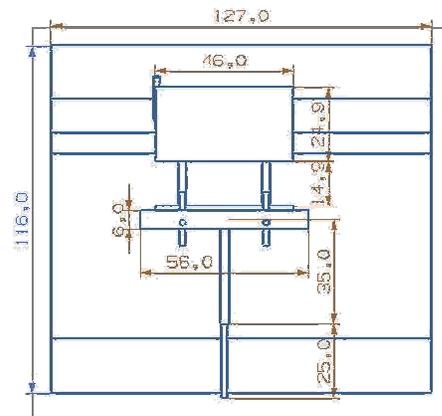
Gambar 3.16 Konfigurasi 3b

Jenis Sandaran Half

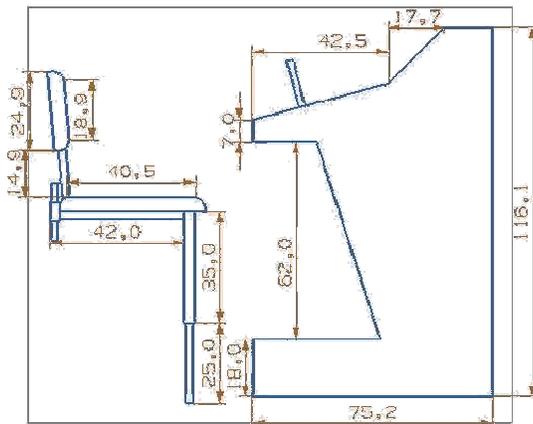
Gambar yang akan ditampilkan di bawah ini merupakan gambar konfigurasi 4 hingga 6, dimana jenis sandarannya adalah sandaran half.



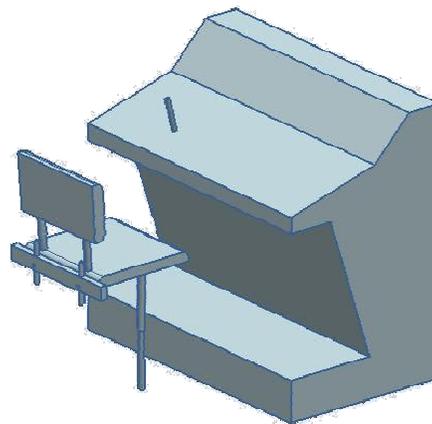
(a)



(b)



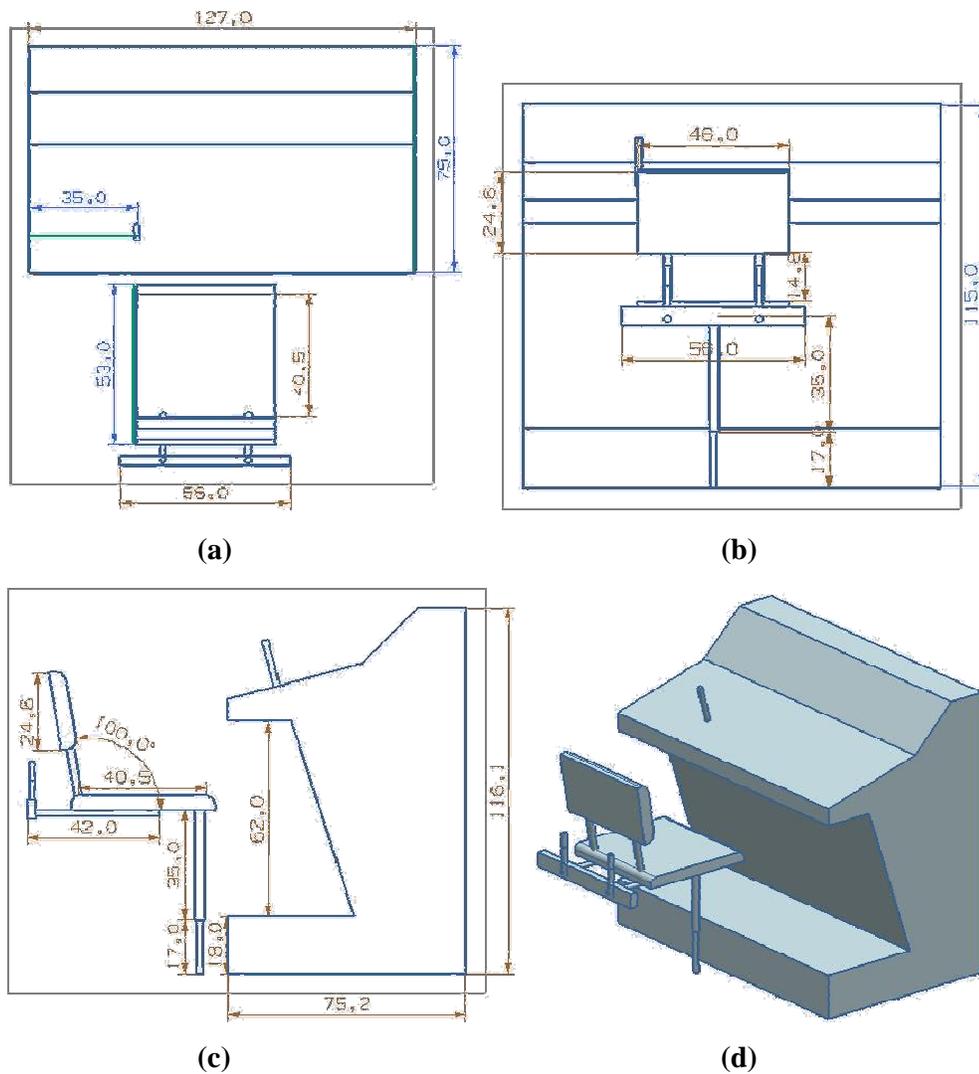
(c)



(d)

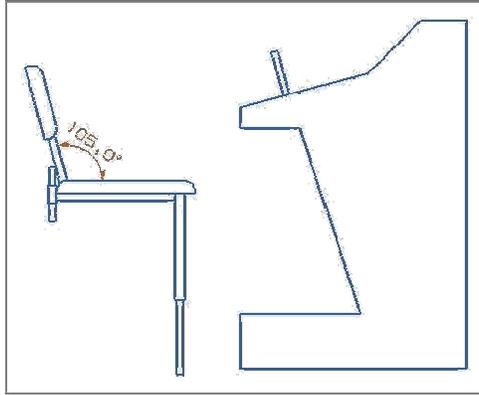
Universitas Indonesia

Gambar 3.17 Konfigurasi 4a (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri

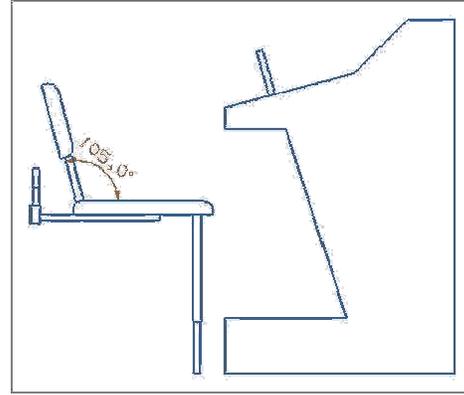


Gambar 3.18 Konfigurasi 4b (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, (d) Isometri

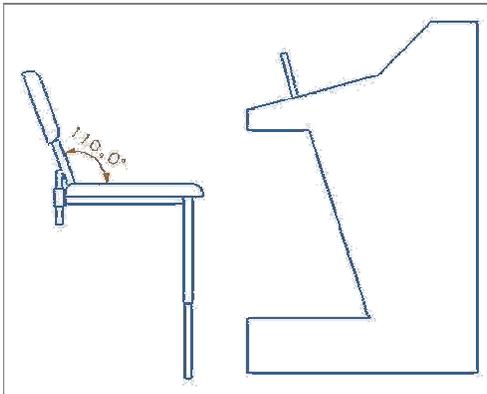
Sedangkan untuk konfigurasi 5a, 5b, 6a, dan 6b hanya mengalami perbedaan dengan konfigurasi 4 hanya pada sudut sandarannya saja. Sehingga gambar selanjutnya hanya akan memuat tampak samping dari konfigurasi 5a, 5b, 6a, dan 6b, karena secara umum dimensi yang lain tetap sama.



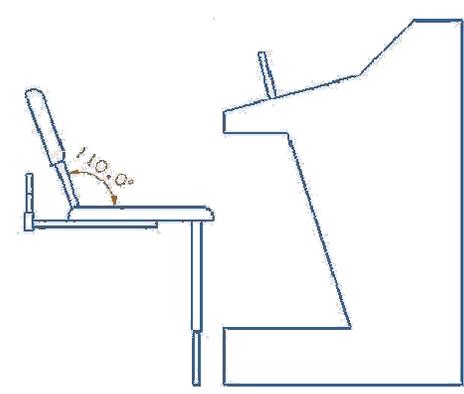
Gambar 3.19 Konfigurasi 5a



Gambar 3.20 Konfigurasi 5b



Gambar 3.21 Konfigurasi 6a



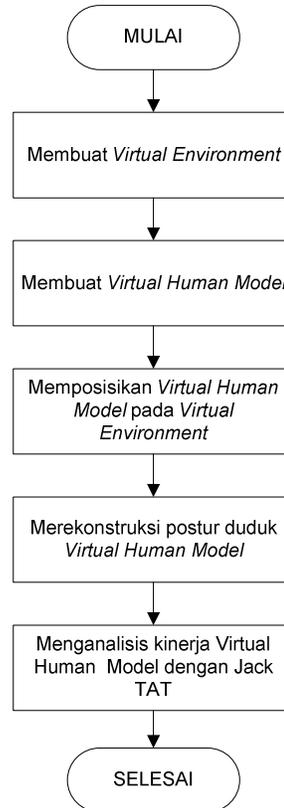
Gambar 3.22 Konfigurasi 6b

3.4.2. Alur Pembuatan Model

Pembuatan model *virtual environment* memerlukan langkah-langkah yang tepat agar model yang dibuat bisa benar-benar merepresentasikan keadaan nyata.

Dalam pembuatan model tersebut, terdapat 5 langkah kerja yang harus dilakukan :

1. Membuat *virtual environment* (kursi dan kabin yang akan digunakan)
2. Membuat *virtual human model* (dalam penelitian ini adalah masinis)
3. Memposisikan *virtual human* pada *virtual environment* sesuai dengan keadaan nyata
4. Merekonstruksi postur duduk dari virtual human model
5. Menganalisis kinerja virtual human model dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software Jack*



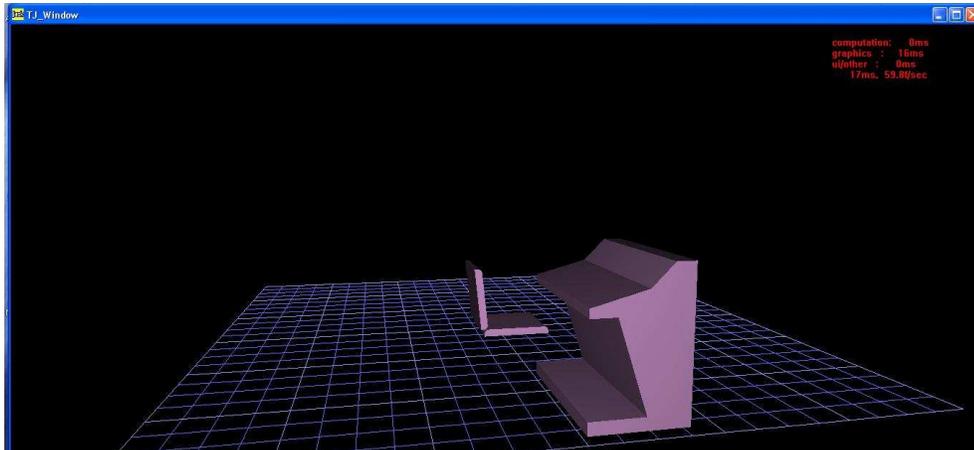
Gambar 3.23 Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi

3.4.2.1. Pembuatan *Virtual Environment*

Pembuatan *virtual environment* dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software Jack*. Namun untuk menciptakan objek-objek *virtual environment* dengan ukuran yang tepat merepresentasikan ukuran di dunia nyata maka dibutuhkan bantuan *software NX 7*, yaitu dalam pembuatan desain kursi dan kabin aktual maupun usulan. Di dalam *software NX 7* ini kita dapat membuat kursi dan kabin dengan ukuran dan spesifikasi (termasuk material yang digunakan) yang telah disesuaikan dengan ukuran sebenarnya hingga menghasilkan gambaran yang paling mendekati kenyataan.

Setelah membuat model menggunakan *software NX 7*, model kursi dan kabin yang berada dalam format UG Part (*.prt) harus diterjemahkan kedalam format STL (*.stl) agar kemudian dapat di-*import* kedalam *software Jack*. Pengubahan format ini dapat dilakukan langsung dalam *software NX 7* karena

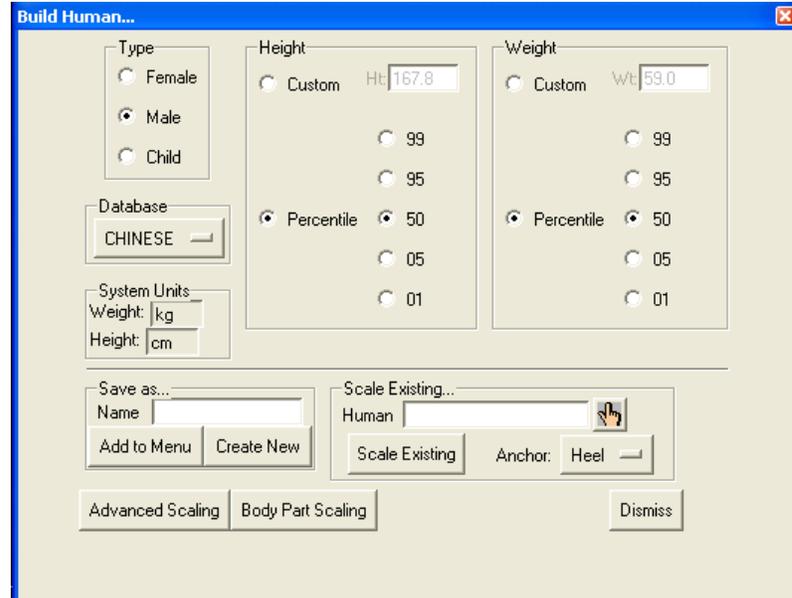
software ini menyediakan cara penyimpanan dengan kedua format tersebut. Setelah dilakukan perubahan format, maka model kursi dan kabin yang telah dibuat dapat langsung di-*import* kedalam *software* Jack untuk kemudian digabungkan dengan *virtual human model* pada langkah selanjutnya. Berikut ini merupakan model kursi dan kabin setelah di-*import* ke dalam *software* Jack:



Gambar 3.24 Contoh *Virtual Environment* dalam *Software* Jack 6.1

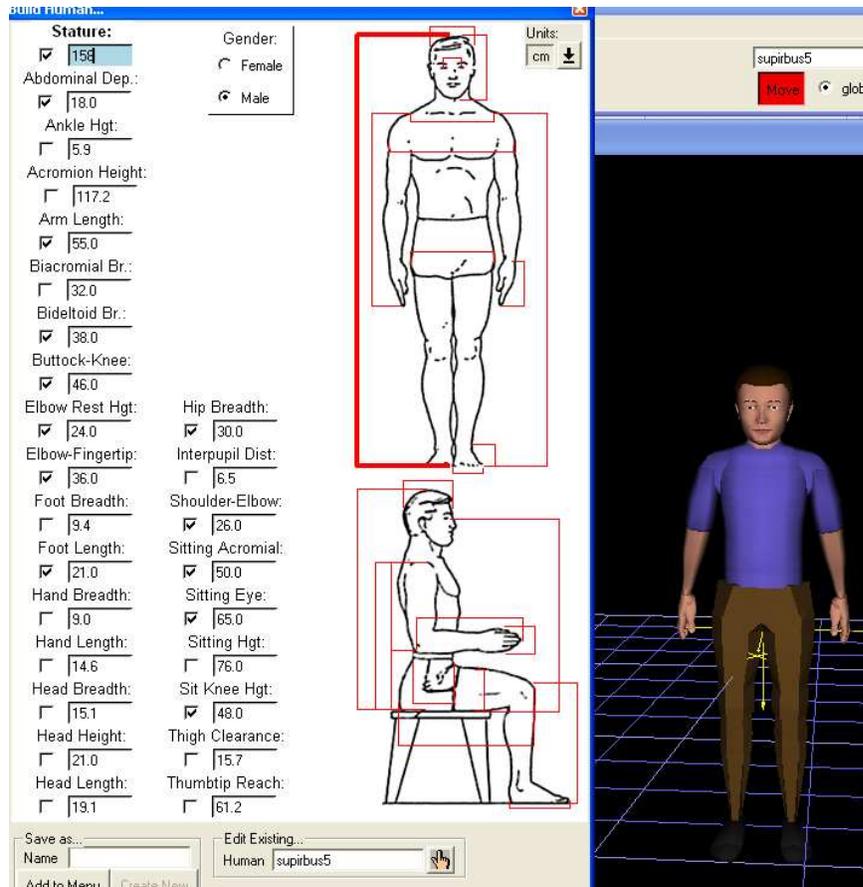
3.4.2.2. Pembuatan *Virtual Human Model*

Pembuatan *virtual human modeling* berdasarkan data antropometri masinis yang telah dikumpulkan. Hal ini agar *virtual human* yang akan disimulasikan dalam *software* Jack akan merepresentasikan keadaan masinis pada kondisi aktual sehingga analisa mengenai pengaruh rancangan desain kursi terhadap performa masinis serta resiko timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* pada masinis dapat dilakukan secara akurat. Data antropometri yang dimasukkan sesuai dengan persentil 5 dan 95. Pembuatan *virtual human modeling* dilakukan melalui menu *custom* dimana data dasar yang dimasukkan adalah jenis kelamin, berat badan dan tinggi badan. Pada menu *custom* juga perlu memilih database antropometri yang dimiliki oleh *software* Jack. Database yang digunakan pada penelitian ini adalah database *chinese*. Penggunaan database tersebut dikarenakan antropometri Indonesia tidak terlalu berbeda dengan antropometri chinese yang berada dalam satu wilayah yang sama yaitu Asia.



Gambar 3.25 *Dialog Box Build Human*

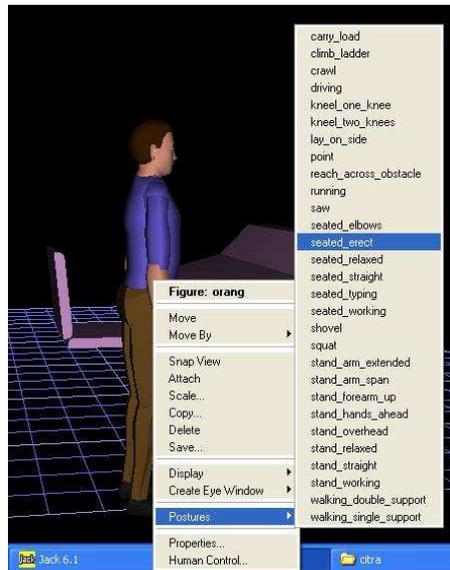
Untuk menginput data antropometri yang lebih lengkap, penginputan data antropometri dilakukan dalam *Advanced Human Scaling*, dimana terdapat 25 bagian tubuh yang dapat diatur sesuai dengan data yang dimiliki. Data antropometri yang diinput antara lain: tinggi badan, lebar abdominal, panjang lengan, lebar bahu, jarak bokong-lutut, jarak siku-jari, panjang telapak kaki, lebar bokong, jarak bahu-siku, tinggi pundak saat duduk, dan tinggi mata saat duduk.



Gambar 3.26 Virtual Human dengan Persentil 5

3.4.2.3. Pembentukan Postur Duduk

Pembentukan postur duduk pada *virtual human environment* dilakukan dengan memodifikasi postur *virtual human* menyerupai postur masinis yaitu duduk pada posisi *erect*. Posisi duduk *erect* merupakan postur duduk dimana tangan dan kaki berada dalam posisi membentuk sudut 90° dan tulang belakang berada dalam posisi tegak. Pemilihan postur dapat dilakukan dengan memilih jenis postur yang tersedia pada *posture library* pada *software Jack*. **Gambar 3.25** menunjukkan jenis postur yang tersedia dalam *software Jack*.



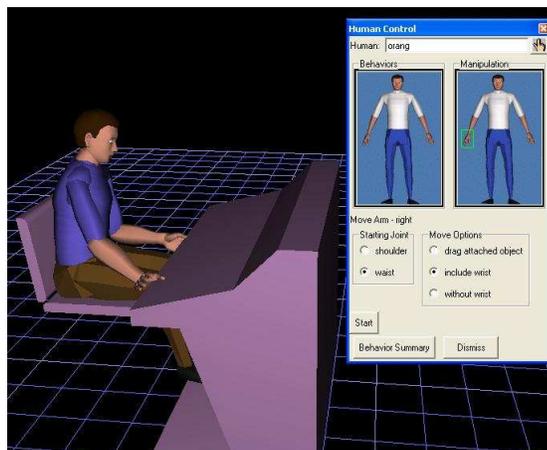
Gambar 3.27 Postur pada *Posture Library*

Selain itu untuk mendapat postur duduk yang baik, terdapat pula beberapa kaidah postur duduk yang harus dipenuhi, diantaranya : (Sumber : Dr. Dieter Breithecker, www.postureinstyle.com)

1. Kaki bagian bawah harus tegak lurus terhadap lantai, sementara posisi paha horizontal
2. Lengan bagian bawah harus tertumpu ke meja dengan posisi yang santai
3. Sandaran harus dapat beradaptasi dengan posisi punggung dan menyangga bagian lumbar (punggung bawah)
4. Paha pengguna tidak boleh menekan dudukan kursi bagian depan
5. Kaki bertumpu pada lantai atau sandaran kaki secara sempurna
6. Semakin dekat meja kerja dengan posisi duduk pengguna maka akan semakin baik karena sedikit pula otot yang akan bekerja untuk menjangkaunya

Oleh karena itu, langkah selanjutnya setelah melakukan *setting – seated erect* adalah melakukan modifikasi persendian tiap bagian tubuh dengan menggunakan *human control*. Modifikasi atau manipulasi dengan *human control* akan mengubah kelompok (*joint*) pada tubuh *virtual human modeling*. *Human*

control dapat digunakan untuk memanipulasi bagian tangan, kaki, kepala, mata, dan bahu. Untuk penelitian ini, *human control* digunakan untuk memanipulasi bagian tangan dan kaki. Berbagai persendian ini dapat diubah posisinya sesuai sumbu x, y dan z. Perubahan ini disebut dengan translasi. Selain itu, persendian juga dapat diputar atau disebut rotasi. Namun tidak semua persendian bisa diputar karena *software* Jack 6.1 dapat membedakan bagian tubuh atau sendi mana saja dalam tubuh manusia yang dapat diputar secara spesifik dan sesuai keadaan tubuh manusia yang nyata. **Gambar 3.26** menunjukkan contoh pembuatan postur dengan menggunakan *human control*.



Gambar 3.28 Pembuatan Postur Tubuh dengan *Human Control*

Setelah model postur duduk ini dibuat, selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang juga terdapat dalam *software* Jack 6.1 ini.

3.4.3. Analisis Data Menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT)

Dalam melakukan pengaruh analisis postur duduk terhadap tubuh manusia, khususnya tubuh bagian atas, kita dapat menggunakan beberapa tools yang tersedia dalam *Task Analysis Toolkit* pada *software* Jack 6.1. *Tools* atau metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kinerja model manusia virtual dalam penelitian ini berjumlah empat buah. Keempat tools tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Static Strength Prediction (SSP)*
2. *Lower Back Analysis (LBA)*
3. *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*
4. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

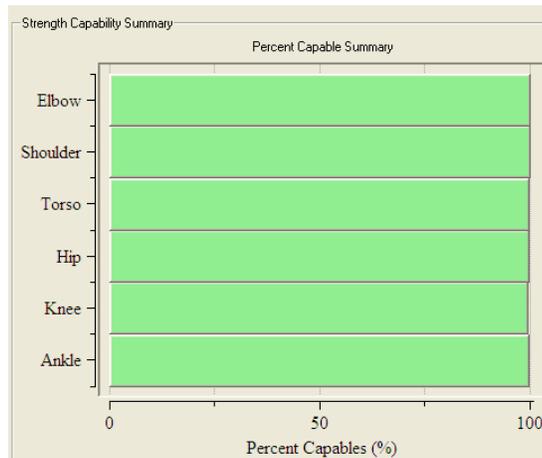
Seluruh konfigurasi model manusia virtual yang telah dibuat postur duduknya akan dianalisis menggunakan keempat metode diatas. Output dari hasil analisis menggunakan masing-masing metode adalah berupa sebuah nilai yang kemudian keempat nilai tersebut akan dihitung dengan menggunakan rumus tertentu untuk memperoleh sebuah nilai postur tubuh secara keseluruhan. Nilai postur tubuh ini disebut dengan *Posture Evaluation Index (PEI)*. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan keempat metode ini dapat menunjukkan postur duduk yang paling besar pengaruhnya terhadap tubuh manusia yang dimodelkan secara virtual. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan hasil analisis postur duduk masinis yang menggunakan desain kursi aktual terhadap hasil analisis postur duduk masinis yang menggunakan desain kursi usulan. Hipotesa awal dari penulis adalah bahwa hasil analisis postur duduk masinis yang menggunakan desain kursi usulan akan memberikan nilai PEI yang lebih baik, karena ukuran kursi tersebut telah disesuaikan dengan ukuran tubuh masinis sehingga dapat mendorong terbentuknya postur duduk masinis yang baik dan benar.

Selain membandingkan antara hasil analisis postur duduk dengan menggunakan desain aktual dan usulan, kemudian hasil analisis postur duduk dengan menggunakan berbagai macam desain usulan yang diberikan juga akan dibandingkan antara satu dengan lainnya. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa penulis memiliki kombinasi 12 jenis konfigurasi yang berbeda. Masing-masing konfigurasi ini tentunya akan memberikan nilai yang berbeda terhadap postur tubuh masing-masing model manusia secara virtual. Dari keseluruhan konfigurasi ini kemudian akan dicari nilai postur tubuh yang terbaik, yaitu yang menyebabkan beban terkecil pada tubuh masinis. Desain kursi yang memberikan nilai postur tubuh terbaik ini kemudian akan dijadikan desain usulan utama untuk kursi masinis pada *KRL Commuter Line Jabodetabek*. Berikut ini merupakan contoh hasil nilai dari keempat metode analisis postur tubuh yang terdapat dalam

Task Analysis Toolkit terhadap postur duduk masinis dengan menggunakan desain kursi aktual.

3.4.3.1. *Static Strength Prediction (SSP)*

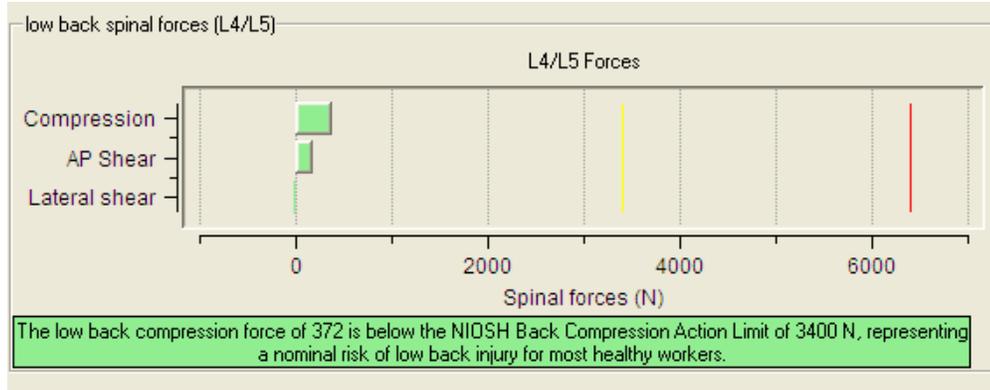
Static Strength Prediction (SSP) digunakan untuk memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan dalam *virtual environment*. Metode ini juga dapat digunakan untuk memvalidasi apakah postur tubuh yang dibentuk tersebut dapat dikerjakan oleh seluruh populasi. Dalam hasil analisis nilai SSP untuk konfigurasi aktual terlihat bahwa postur yang diujikan mampu dilakukan oleh hampir 100% populasi yang memiliki usia, jenis kelamin maupun tinggi badan yang berbeda.



Gambar 3.29 Tampilan Hasil Analisis SSP

3.4.3.2. *Lower Back Analysis (LBA)*

Lower Back Analysis digunakan untuk mengevaluasi besar gaya dan tekanan yang terjadi pada punggung bagian bawah (*lower back*), yaitu bagian punggung L4 dan L5 (ruas tulang belakang ke 4 dan ke 5) berdasarkan postur dan beban saat melakukan pekerjaan. Berdasarkan hasil analisis nilai *LBA* untuk konfigurasi aktual, besar gaya yang diterima oleh punggung bagian bawah adalah sebesar 372 N, masih jauh dibawah batas normal beban yang diperbolehkan yaitu 3400 N.



Gambar 3.30 Tampilan Hasil Analisis LBA

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

Metode *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* ini digunakan untuk mengetahui tingkat kenyamanan suatu postur kerja serta untuk melihat tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Sistem penilaian dengan OWAS digunakan ketika sistem yang diteliti mudah untuk diamati dan dipelajari. Metode OWAS meninjau postur standar untuk batang tubuh (*trunk*), tangan (*arms*), tubuh bagian bawah (*lower body*) dan leher (*neck*). Dari hasil analisis menggunakan metode OWAS untuk konfigurasi aktual diperoleh kode OWAS 2311 dan nilai OWAS sebesar 3 yang berarti bahwa postur kerja yang dilakukan dapat memberikan tekanan yang membahayakan pada *musculoskeletal system* dan diperlukan perbaikan segera terhadap postur ini. Kode OWAS 2311 memiliki arti sebagai berikut :

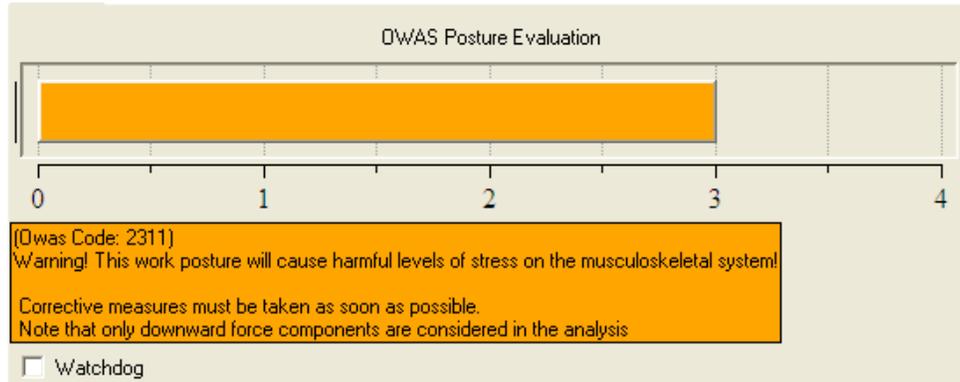
- Angka pertama : 2, tulang belakang berada dalam posisi membungkuk
- Angka kedua : 3, kedua tangan berada lebih tinggi/sejajar dengan bahu
- Angka ketiga : 1, posisi kaki berada dalam keadaan duduk
- Angka keempat : 1, beban yang diterima adalah ≤ 10 kg

Berikut ini merupakan tabel yang menjelaskan untuk tiap angka yang terdapat pada kombinasi kode OWAS :

Tabel 3.10 Penjelasan Kode OWAS

Back:	Arms:	Legs:	Load/Strength:
<ol style="list-style-type: none"> 1. straight 2. bent forward 3. twisted 4. bent and twisted 	<ol style="list-style-type: none"> 1. both below shoulder level 2. one at or above shoulder level 3. both at or above shoulder level 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sitting 2. standing with both legs straight 3. standing with one leg straight 4. standing with both legs bent 5. standing with one leg bent 6. kneeling on one or both knees 7. walking 	<ol style="list-style-type: none"> 1. load less than or equal to 10kg 2. load of 10 to 20 kg 3. load greater than 20 kg

Sumber : Jack 6.1 Library, *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) Tool: Background*

**Gambar 3.31 Tampilan Hasil Analisis OWAS**

3.4.3.4. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

RULA merupakan metode untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas serta untuk mengidentifikasi risiko cedera atau gangguan pada tubuh bagian atas, gerakan repetitif dan gaya yang digunakan untuk suatu pekerjaan tertentu. Setiap anggota tubuh bagian atas memiliki kontribusi masing-masing terhadap nilai RULA yang dihitung. Nilai-nilai tersebut kemudian akan dijumlahkan untuk menentukan *Grand Score*.

Berikut ini merupakan penjelasan untuk masing-masing level nilai pada tiap anggota tubuh :

- Level 1: postur diterima jika tidak dipelihara atau berulang untuk waktu yang lama

- Level 2: Penyelidikan lebih lanjut diperlukan, mungkin memerlukan perubahan
- Level 3: Dibutuhkan investigasi dan perubahan
- Level 4: Investigasi dan perubahan dibutuhkan segera

Body Group A Posture Rating Upper arm: 4 Lower arm: 2 Wrist: 2 Wrist Twist: 1 Total: 4		Body Group B Posture Rating Neck: 4 Trunk: 3 Total: 6	
Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Supported		Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load	
Legs and Feet Rating Seated, Legs and feet well supported. Weight even.			
Grand Score: 6 Action: Investigation and changes are required soon.			

Gambar 3.32 Tampilan Hasil Analisis RULA

Grand Score menunjukkan sejauh mana pekerja terpapar oleh faktor-faktor risiko diatas dan berdasarkan nilai tersebut juga akan diketahui saran yang perlu dilakukan. Pada gambar diatas, hasil analisis nilai RULA untuk konfigurasi aktual menunjukkan *grand score* sebesar 6. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk masinis dengan persentil 5 menggunakan desain kursi aktual merupakan postur yang cukup membahayakan bagi kesehatan dan dibutuhkan investigasi maupun perbaikan secepatnya terhadap postur tersebut.

3.4.4. Perhitungan *Nilai Posture Evaluation Index* (PEI)

Seperti yang telah dibahas sebelumnya pada sub bab 3.4.3 mengenai analisis data menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) bahwa keempat metode yang digunakan untuk menganalisis pengaruh postur duduk terhadap tubuh manusia akan digabungkan kedalam perhitungan untuk memperoleh nilai keseluruhan postur duduk masinis yang disebut nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI ini diperoleh dengan mengkombinasikan tiga nilai yang didapat

dari metode *Lower Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis System* dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Namun sebelumnya juga perlu diperhatikan nilai *Static Strength Prediction* dari postur duduk yang diujikan, hal ini untuk memastikan bahwa postur duduk tersebut memang layak untuk dianalisis dengan menggunakan 3 metode lainnya. Untuk memperoleh nilai PEI, ketiga nilai dari metode *Task Analysis Toolkit* yang telah disebutkan sebelumnya dimasukkan kedalam rumus yang terdapat pada bab 2, yaitu :

$$\text{PEI} = (\text{LBA}/3400) + (\text{OWAS}/4) + [1,42 \times (\text{RULA}/7)]$$

Keterangan : 3400 N = batas kekuatan tekanan yang dapat diterima low back

4 = nilai maksimum index OWAS

7 = level maksimum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

1,42 = *amplification factor*

Dengan demikian langkah pertama untuk menghitung nilai PEI dari konfigurasi aktual yang dilakukan adalah memastikan persentase populasi pekerja yang memiliki kemampuan dan kekuatan untuk melakukan pekerjaan dengan postur tersebut. Nilai batas minimum yang digunakan sebagai persyaratan bahwa pekerjaan tersebut dapat dilakukan oleh pekerja lain yang memiliki usia, jenis kelamin dan tinggi badan berbeda adalah sebesar 90%, yang berarti postur kerja tersebut dapat dilakukan oleh minimal 90% populasi.

Hasil analisis SSP untuk postur duduk standar (duduk tegak) yang dimiliki oleh *software* Jack menunjukkan bahwa pada bagian kaki dan pergelangan tangan memiliki kapasitas hanya sebesar 81% dan 72%. Hal ini mengindikasikan bahwa selama nilai kapabilitas kaki dan pergelangan kaki berada diatas nilai tersebut, maka postur dapat dianalisis lebih lanjut dengan tiga metode berikutnya.

Sementara itu, hasil dari analisis SSP untuk konfigurasi aktual dapat dilihat pada tabel 3.11. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk elbow, *shoulder*, *trunk*, *hip*, *knee* dan *ankle* seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi aktual tersebut dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.

Tabel 3.11 Tabel Kapabilitas SSP untuk Postur Duduk Standar

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-2	FLEXN	72	18	100	-2	FLEXN	78	19	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	72	18	100	-2	ABDUCT	78	19	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	105	29	100	-0	--	113	31	100
	Humeral Rot	0	--	52	13	100	0	--	56	14	100
Trunk	Flex/Ext	5	FLEXN	196	58	100					
	Lateral Bending	0	--	150	34	100					
	Rotation	0	--	86	23	100					
	Hip	1	--	181	50	100	1	--	181	50	100
	Knee	111	EXTEN	160	56	81	111	EXTEN	160	56	81
	Ankle	112	FLEXN	139	46	72	112	FLEXN	139	46	72

Sumber : Jack Analysis Toolkit

Tabel 3.12 Tabel Kapabilitas SSP untuk Postur Duduk Konfigurasi Aktual

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	18	6	100	0	--	21	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	--	31	8	100	-1	--	31	8	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	30	9	100	-0	--	39	13	100
	Humeral Rot	-0	--	15	4	100	-0	--	17	4	100
Trunk	Flex/Ext	-6	EXTEN	243	84	100					
	Lateral Bending	-0	--	90	21	100					
	Rotation	0	--	51	15	100					
	Hip	-2	EXTEN	113	43	100	-2	EXTEN	113	43	100
	Knee	17	EXTEN	114	40	99	17	EXTEN	114	40	99
	Ankle	19	FLEXN	83	23	100	19	FLEXN	83	23	100

Sumber : Jack Analysis Toolkit

Tabel 3.13 Rekapitulasi Nilai LBA, OWAS dan RULA untuk Konfigurasi Aktual

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
372	3	6	2,076555

Dengan memasukkan nilai-nilai dari ketiga metode *Task Analysis Toolkit* pada rumus diatas, maka akan diperoleh nilai PEI dari postur duduk konfigurasi aktual. Berikut ini adalah perhitungan nilai PEI tersebut :

$$PEI = (372N / 3400N) + 3/4 + (6/7 * 1.42)$$

Universitas Indonesia

$$= 2,076555$$

Hasil nilai PEI dari konfigurasi aktual ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil konfigurasi yang menggunakan desain kursi usulan (konfigurasi 1A hingga 6B) untuk mengevaluasi apakah desain kursi usulan memberikan hasil yang lebih baik.

3.5. Pengukuran Getaran *Whole Body Vibration*

Pengumpulan data getaran pada kursi masinis dilakukan secara langsung dengan menggunakan alat ukur getaran (*Human Vibration Meter 100/HVM 100*), seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.31 di bawah ini. Bagian yang diukur yaitu seluruh bagian tubuh masinis atau yang lebih dikenal dengan *Whole Body Vibration* (WBV). Menurut *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, lamanya pengukuran getaran dilakukan selama 2 sampai dengan 5 menit di berbagai kondisi jalan. Oleh karena itu, dilakukanlah pengukuran getaran antar tiap stasiun di Jabodetabek dengan masing-masing pengukuran selama 2 menit, dengan jumlah stasiun di sepanjang rute *Commuter Line* Jabodetabek sebanyak 25 stasiun. Sehingga total pengumpulan data selama 50 menit, dan berikut ini adalah hasil pengukuran rata-rata yang dihasilkan.



Gambar 3.33 Cara Pengukuran *Whole Body Vibration*



Gambar 3.34 Alat Ukur Getaran HVM 100

Universitas Indonesia

Gambar 3.32 menunjukkan alat yang digunakan untuk mengukur hasil getaran pada seluruh tubuh, yaitu HVM 100 dari Larson Davis yang dimiliki oleh Laboratorium Ergonomics Centre Departemen Teknik Industri UI.

Hasil pengukuran diklasifikasikan menjadi pengukuran getaran pada kereta dengan sedikit muatan dan banyak muatan. Kondisi kereta dengan sedikit muatan terjadi pada rute yang melawan arus jam kerja kantoran, sedang kereta dengan banyak muatan terjadi pada arus kerja jam kantoran. Kemudian ditentukan jam kerja selama 1 hari adalah 7 jam kerja berada di dalam kabin kereta, dengan sampel 5 jenis kereta Tokyo Metro seri 05. Data yang dihasilkan dapat ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 3.14 Pengukuran Getaran Kereta dengan Banyak Muatan

Tipe Kereta	Hasil Pengukuran (m/s ²)			Resultan
	X-axis	Y-axis	Z-axis	
05 - 002	0.116	0.236	0.424	0.499
05 - 005	0.108	0.243	0.374	0.4589
05 - 008	0.0767	0.159	0.337	0.38
05 - 009	0.0719	0.152	0.31	0.29

Tabel 3.15 Pengukuran Getaran Kereta dengan Sedikit Muatan

Tipe Kereta	Hasil Pengukuran (m/s ²)			Resultan
	X-axis	Y-axis	Z-axis	
05 - 002	0.21	0.29	0.56	0.6647
05 - 005	0.2	0.22	0.44	0.531
05 - 008	0.25	0.25	0.63	0.722
05 - 009	0.08	0.19	0.52	0.559

Nilai X, Y, dan Z didapat dari hasil rata-rata pengukuran lapangan. Sedangkan resultan merupakan hasil resultan dari ketiga sumbu tersebut yang dihitung dengan rumus: $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$. Hasil pengukuran yang didapat pada tabel tersebut merupakan hasil pengukuran sampel yang hanya dilakukan selama 50 menit untuk masing-masing jenis kereta. Oleh sebab itu, untuk mengkonversikan besarnya getaran tersebut untuk 1 hari kerja, yakni 7 jam, digunakanlah suatu alat kalkulasi getaran yang disediakan oleh situs ergonomi internasional yang beralamat www.hse.gov.uk/vibration.

Gambar 3.35 Software Kalkulator Whole Body Vibration

Software kalkulator ini dapat menghitung besarnya getaran yang diterima oleh pekerja selama masa kerjanya dalam 1 hari dan juga dapat mengkalkulasi batas yang diperbolehkan sehingga dapat mengurangi resiko cedera. Dalam *software* tersebut terlihat bahwa getaran masih dianggap aman jika berada di bawah 0.5 m/s^2 atau dikategorikan dengan warna hijau. Getaran dianggap mulai beresiko jika berada pada level 0.5 m/s^2 hingga 1.15 m/s^2 atau dikategorikan dengan warna kuning. Sedangkan getaran dianggap berbahaya jika berada di atas 1.15 m/s^2 atau dikategorikan dengan warna merah. Tabel di bawah ini juga menunjukkan rekapitulasi *Daily Vibration Exposure* pada masing-masing jenis kereta berdasarkan *software* tersebut. Kalkulasi getaran pada kereta dengan banyak muatan ditampilkan oleh tabel 3.17, sedangkan tabel 3.18 menampilkan kalkulasi getaran pada kereta dengan sedikit muatan.

Tabel 3.16 Klasifikasi Daily Vibration Exposure

Besarnya Getaran	Keterangan	Warna
$< 0.5 \text{ m/s}^2$	Aman	
$0.5 \text{ m/s}^2 - 1.15 \text{ m/s}^2$	Beresiko	
$> 1.15 \text{ m/s}^2$	Berbahaya	

Tabel 3.17 Rekapitulasi *Daily Vibration Exposure* Kereta dengan Banyak Muatan

Tipe Kereta	<i>Daily Vibration Exposure</i>	Warna
05 - 002	0.4	
05 - 005	0.35	
05 - 008	0.32	
05 - 009	0.29	

Tabel 3.18 Rekapitulasi *Daily Vibration Exposure* Kereta dengan Sedikit Muatan

Tipe Kereta	<i>Daily Vibration Exposure</i>	Warna
05 - 002	0.52	
05 - 005	0.41	
05 - 008	0.59	
05 - 009	0.49	

BAB 4 ANALISIS

Bab ini memaparkan analisis dari ukuran kursi usulan yang dibedakan menjadi 12 macam konfigurasi usulan. Analisis dilakukan dengan melihat perbedaan nilai PEI yang diperoleh dari konfigurasi desain usulan, maka akan dapat diketahui apakah desain usulan yang diberikan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan desain kursi yang ada sekarang. Selain itu, nilai PEI yang diperoleh dari masing-masing hasil konfigurasi desain usulan pun akan dibandingkan satu dengan yang lain hingga memperoleh nilai PEI yang terbaik.

4.1. Analisis Postur dengan Desain Aktual

Pada bagian ini kita akan melihat kondisi ergonomi dari setiap postur duduk masinis menggunakan desain kursi aktual yang diujikan melalui konfigurasi yang ditentukan. Postur duduk aktual ini diperoleh dari hasil pengamatan postur duduk dan pengukuran secara langsung terhadap kursi yang digunakan pada kabin masinis KRL *Commuter Line* Jabodetabek. Hasil dari analisis postur duduk aktual ini nantinya akan dibandingkan dengan postur duduk yang telah menggunakan desain kursi usulan. Hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan antara kondisi ergonomi postur duduk aktual dengan kondisi ergonomi postur duduk yang telah menggunakan desain kursi usulan.

4.1.1. Analisis Persentil 95 dengan Desain Kursi Aktual

Dalam analisis ini, objek yang dianalisis adalah masinis dengan persentil 95. Sesuai data antropometri yang diperoleh, persentil 95 memiliki kriteria berikut ini :

Tabel 4.1 Rekapitulasi Data Antropometri Masinis dengan Persentil 95

TB	Tpop	PB	TPn	LBh	LPg	LP	BL	PLA	PLB	PTK
173.3	54.3	46.6	66.9	50	46.6	27.6	57.6	36.6	48	28

TB	= Tinggi Badan	LPg	= Lebar Pinggul
TPn	= Tinggi Pundak	PLA	= Panjang Lengan Atas
LBh	= Lebar Bahu	PLB	= Panjang Lengan Bawah
TPop	= Tinggi Popliteal	PT	= Panjang Telapak Kaki
PB	= Popliteal-Buttock	LP	= Lebar Perut
BL	= Bokong-Lutut		

Dalam analisis awal ini kita akan menetapkan batasan ataupun persentase kapabilitas minimal untuk memastikan bahwa postur duduk masinis yang dibentuk dalam konfigurasi ini dapat dilakukan oleh populasi masinis lainnya dengan usia maupun ukuran-ukuran antropometri lainnya yang berbeda. Apabila sebuah konfigurasi tidak memenuhi batasan tersebut, maka konfigurasi tersebut tidak akan dapat dianalisis lebih lanjut karena secara teori postur duduk yang dibentuk tidak mungkin dilakukan oleh populasi masinis lainnya. Untuk konfigurasi postur duduk, hasil SSP menunjukkan persentase kapabilitas minimal sebesar 90% untuk mayoritas anggota tubuh, yang berarti postur tersebut akan dapat dilakukan oleh minimal 90% populasi. Hasil analisis SSP untuk postur duduk standar yang dimiliki oleh *software* Jack (Tabel 4.6) menunjukkan bahwa hasil pada bagian kaki dan pergelangan kaki memiliki kapasitas hanya sebesar 81% dan 72%. Hal ini mengindikasikan bahwa selama nilai kapabilitas kaki dan pergelangan kaki berada diatas nilai tersebut, maka postur dapat dianalisis lebih lanjut dengan tiga metode berikutnya.

Tabel 4.2 Capability Summary Chart Postur Duduk Standar

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-2	FLEXN	72	18	100	-2	FLEXN	78	19	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	72	18	100	-2	ABDUCT	78	19	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	105	29	100	-0	--	113	31	100
	Humeral Rot	0	--	52	13	100	0	--	56	14	100
Trunk	Flex/Ext	5	FLEXN	196	58	100					
	Lateral Bending	0	--	150	34	100					
	Rotation	0	--	86	23	100					
	Hip	1	--	181	50	100	1	--	181	50	100
	Knee	111	EXTEN	160	56	81	111	EXTEN	160	56	81
	Ankle	112	FLEXN	139	46	72	112	FLEXN	139	46	72

Sumber : Jack Analysis Toolkit

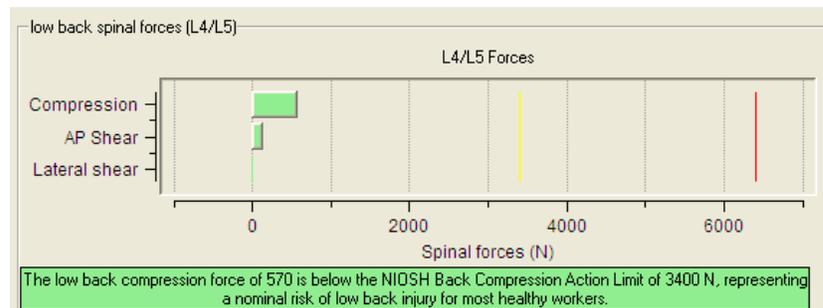
Seperti pada bab yang telah dijelaskan sebelumnya, tahap awal analisis desain aktual ini akan dimulai dengan analisis terhadap *Static Strength Prediction*. Hasil dari analisis SSP dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk *elbow, shoulder, trunk, hip, knee* dan *ankle* seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi ini dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.

Tabel 4.3 Capability Summary Chart Desain Aktual Persentil 95

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	35	9	100	-1	--	36	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	ABDUCT	31	8	100	-2	ABDUCT	39	10	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	41	14	100	-1	--	45	15	100
	Humeral Rot	-1	--	17	4	100	-0	--	29	8	100
Trunk	Flex/Ext	-23	EXTEN	281	97	100					
	Lateral Bending	-1	RIGHT	169	38	100					
	Rotation	-0	--	57	17	100					
	Hip	-7	EXTEN	122	46	99	-7	EXTEN	122	46	99
	Knee	33	EXTEN	114	40	98	33	EXTEN	114	40	98
	Ankle	44	FLEXN	99	27	98	44	FLEXN	99	27	98

Sumber : *Jack Analysis Toolkit*

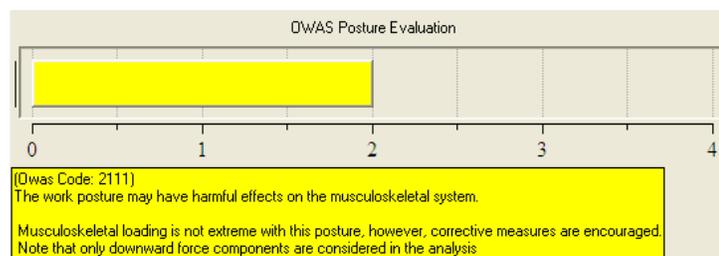
Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode *Lower Back Analysis* (LBA) yang memberikan hasil seperti dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik LBA Desain Aktual Persentil 95

Berdasarkan *software* Jack 6.1, postur duduk pada desain ini memberikan nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah sebesar 570 Newton (Gambar 4.1). Nilai tekanan ini terbentuk dari postur duduk masinis dengan tulang belakang yang agak membungkuk. Pada konfigurasi ini masinis perlu mendorong tubuhnya ke bagian depan kursi untuk dapat menjangkau tuas kendali sehingga berat badan masinis sebagian besar ditumpu pada bagian bokong dan tulang belakang. Ditambah lagi posisi punggung yang tidak menyeder akan menyebabkan beban yang ditumpu oleh tulang belakang, khususnya pada ruas L4 dan L5 menjadi lebih besar. Konfigurasi ini juga mengindikasikan bahwa masinis memiliki beban yang bisa menyebabkan tekanan yang besar pada tulang belakang. Namun, nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah yang sebesar 570 Newton ini masih berada jauh dibawah batasan nilai beban aman yang dapat diterima oleh ruas-ruas tulang belakang yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 3400 Newton.

Nilai OWAS pada perhitungan postur duduk konfigurasi ini memberikan nilai sebesar 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami bisa memberikan efek yang buruk pada *musculoskeletal system*. Kode OWAS yang diperoleh untuk postur ini adalah 2111. Kode ini merupakan hasil penilaian postur pada 4 variabel yaitu punggung, tangan, kaki dan beban yang dialami.



Gambar 4.2 Grafik OWAS Konfigurasi Desain Aktual Persentil 95

Berikut ini adalah penjelasan mengenai kode OWAS 2111 :

1. Angka pertama yaitu 2, berarti tulang belakang berada dalam posisi membungkuk
2. Angka kedua yaitu 1, berarti kedua tangan berada lebih rendah dari bahu. Pada konfigurasi ini, karena antropometri masinis yang digunakan adalah persentil 95, maka ia memiliki tubuh yang lebih tinggi sehingga mereka tidak perlu mengangkat tangannya dengan tinggi untuk meraih tuas pada kabin.

3. Angka ketiga yaitu 1, berarti posisi kaki berada dalam keadaan duduk
4. Angka keempat yaitu 1, berarti beban yang diterima oleh masinis adalah lebih kecil atau sama dengan 10 kg.

Body Group A Posture Rating Upper arm: 3 Lower arm: 2 Wrist: 2 Wrist Twist: 1 Total: 4 Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Supported		Body Group B Posture Rating Neck: 1 Trunk: 3 Total: 3 Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load	
Legs and Feet Rating Seated, Legs and feet well supported. Weight even.			
Grand Score: 3 Action: Further investigation needed. Changes may be required.			

Gambar 4.3 Nilai RULA Konfigurasi Desain Aktual Persentil 95

Hasil perhitungan analisis menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) terhadap postur duduk untuk konfigurasi ini memberikan *grand score* sebesar 3. Postur duduk pada konfigurasi ini juga memiliki karakteristik kaki tertumpu pada sandaran kaki. Kelompok bagian tubuh A menghasilkan nilai masing-masing 3 untuk lengan atas, 2 untuk lengan bawah, 2 untuk pergelangan tangan dan 1 untuk perputaran pergelangan tangan. Masing-masing skor 2 untuk lengan bawah dan pergelangan tangan menunjukkan bahwa kedua anggota tubuh ini masih berada pada posisi yang normal walaupun mungkin diperlukan perubahan. Skor 1 untuk perputaran pergelangan tangan menunjukkan pergelangan tangan tidak mengalami perputaran dan berada pada kondisi normal, tidak membengkok.

Sementara itu, nilai yang diperoleh untuk kelompok bagian tubuh B adalah 1 untuk leher dan 3 untuk batang tubuh. Pada postur ini, leher masinis berada pada keadaan normal, tidak terlalu menunduk maupun mendongak. Nilai 3 untuk bagian batang tubuh diakibatkan oleh tubuh masinis yang miring ke arah depan sekitar 24 derajat untuk mendekati meja. Pada akhirnya hasil kalkulasi dari kedua bagian anggota tubuh ini memberikan *grand score* sebesar 3 yang berarti

dibutuhkan investigasi lebih lanjut dan memungkinkan perlu adanya perubahan terhadap postur ini

Nilai LBA, OWAS dan RULA yang tersebut selanjutnya dikalkulasi untuk memperoleh nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI untuk konfigurasi pada persentil 95 ini adalah sebesar 1,276218.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi Desain Aktual Persentil 95

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
570	2	3	1,276218

4.1.2. Analisis Persentil 5 dengan Desain Kursi Aktual

Dalam konfigurasi ini, objek yang dianalisis adalah masinis dengan persentil 5. Sesuai data antropometri yang telah diperoleh, persentil 5 memiliki kriteria seperti berikut :

Tabel 4.5 Rekapitulasi Data Antropometri Masinis dengan Persentil 5 (cm)

TB	Tpop	PB	TPn	LBh	LPg	LP	BL	PLA	PLB	PTK
156.7	43.4	38.1	51.4	37.7	29.4	17	46	25.4	35	20

Sementara itu, kursi yang digunakan sebagai *virtual environment* dalam konfigurasi ini merupakan desain kursi aktual yang digunakan pada kabin tanpa perubahan ataupun modifikasi sedikitpun. Pada konfigurasi ini, postur duduk yang dibentuk secara virtual juga disesuaikan dengan hasil pengamatan penulis terhadap postur duduk masinis yang ditemukan pada kenyataan agar mendekati postur aslinya, dengan demikian hasil yang diperoleh diharapkan bisa secara tepat merepresentasikan keadaan nyata.

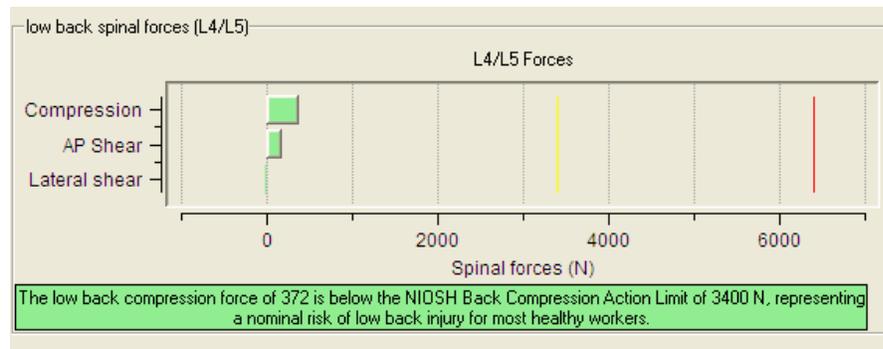
Sama seperti tahapan yang sebelumnya dilakukan, analisis ini diawali dengan analisis terhadap *Static Strength Prediction*. Berdasarkan hasil dari analisis SSP untuk konfigurasi aktual pada persentil 5 dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk *elbow*, *shoulder*, *trunk*, *hip*, *knee* dan *ankle* seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi tersebut dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.

Tabel 4.6 Capability Summary Chart Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	18	6	100	0	--	21	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	--	31	8	100	-1	--	31	8	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	30	9	100	-0	--	39	13	100
	Humeral Rot	-0	--	15	4	100	-0	--	17	4	100
Trunk	Flex/Ext	-6	EXTEN	243	84	100					
	Lateral Bending	-0	--	90	21	100					
	Rotation	0	--	51	15	100					
	Hip	-2	EXTEN	113	43	100	-2	EXTEN	113	43	100
	Knee	17	EXTEN	114	40	99	17	EXTEN	114	40	99
	Ankle	19	FLEXN	83	23	100	19	FLEXN	83	23	100

Sumber : Jack Analysis Toolkit

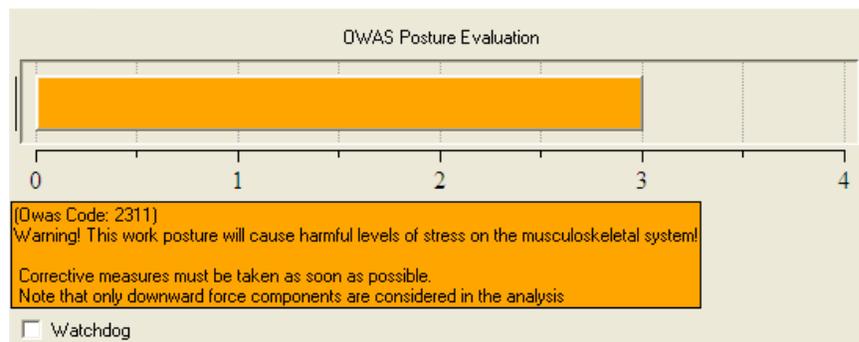
Setelah selesai dengan analisis SSP, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode *Lower Back Analysis* (LBA) yang memberikan hasil seperti dibawah ini.

**Gambar 4.4 Grafik LBA Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5**

Berdasarkan *software* Jack 6.1, postur duduk pada konfigurasi ini memberikan nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah sebesar 372 Newton (Gambar 4.4). Nilai tekanan ini terbentuk dari postur duduk masinis dengan tulang belakang yang agak membungkuk. Hal dikarenakan masinis harus mendorong tubuhnya ke bagian depan kursi agar dapat menjangkau kabin untuk meraih tuas kendali kereta sehingga punggung masinis berada dalam keadaan

tidak ditopang oleh sandaran punggung. Postur duduk dimana tubuh didorong ke arah depan seperti ini menyebabkan sebagian besar berat tubuh masinis terkonsentrasi ke bagian depan dan akan ditumpu oleh tangan yang berada diatas kabin sehingga tekanan pada tulang belakang, khususnya pada bagian ruas L4 dan L5 tidak terlalu besar. Selain itu nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah yang sebesar 372 Newton ini juga masih berada jauh dibawah batasan nilai beban aman yang dapat diterima oleh ruas-ruas tulang belakang yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 3400 Newton.

Selanjutnya perhitungan postur duduk pada konfigurasi ini memberikan nilai *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS) sebesar 3. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami dapat memberikan tekanan yang cukup membahayakan bagi *musculoskeletal system* dan diperlukan perbaikan segera untuk memperbaiki postur duduk ini. Menurut hasil yang diperoleh, kode OWAS untuk postur ini adalah 2311. Kode ini merupakan hasil penilaian postur pada 4 variabel yaitu punggung, tangan, kaki dan beban yang dialami.



Gambar 4.5 Grafik OWAS Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5

Berikut ini adalah penjelasan mengenai kode OWAS 2311:

1. Angka pertama yaitu 2, berarti tulang belakang berada dalam posisi membungkuk
2. Angka kedua yaitu 3, berarti kedua tangan berada lebih tinggi atau sejajar dengan bahu.
3. Angka ketiga yaitu 1, berarti posisi kaki berada dalam keadaan duduk
4. Angka keempat yaitu 1, berarti beban yang diterima oleh masinis adalah lebih kecil atau sama dengan 10 kg.

Body Group A Posture Rating Upper arm: 4 Lower arm: 2 Wrist: 2 Wrist Twist: 1 Total: 4 Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Supported		Body Group B Posture Rating Neck: 4 Trunk: 3 Total: 6 Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load	
Legs and Feet Rating Seated, Legs and feet well supported. Weight even.			
Grand Score: 6 Action: Investigation and changes are required soon.			

Gambar 4.6 Nilai RULA Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5

Hasil perhitungan analisis menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) terhadap postur duduk untuk konfigurasi persentil 5 dengan kaki tertumpu pada sandaran kaki dan tangan yang tertumpu pada kabin memberikan *grand score* sebesar 6 seperti dapat dilihat pada gambar 4.6 diatas. Nilai ini merupakan hasil dari perhitungan dua kelompok anggota tubuh, yaitu kelompok A dan kelompok B. Kelompok A yang berada pada kolom sebelah kiri terdiri dari lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan. Sementara kelompok B yang berada pada kolom sebelah kiri terdiri dari leher, punggung dan kaki. Kelompok bagian tubuh A menghasilkan nilai masing-masing 4 untuk lengan atas, 2 untuk lengan bawah, 2 untuk pergelangan tangan dan 1 untuk perputaran pergelangan tangan. Hal ini mengindikasikan bahwa posisi lengan atas harus segera diperbaiki karena pada postur duduk ini bagian lengan atas masinis mengangkat dengan cukup tinggi dan memiliki posisi kedepan dalam interval 45 hingga 90 derajat untuk meraih tuas kendali yang berada didepannya. Masing-masing nilai sebesar 2 untuk lengan bawah dan pergelangan tangan menunjukkan bahwa kedua anggota tubuh ini masih berada pada posisi yang normal walaupun mungkin diperlukan perubahan. Perputaran pergelangan tangan yang memiliki nilai sebesar 1 mengindikasikan bahwa pergelangan tangan tidak mengalami perputaran dan berada pada kondisi normal, tidak membengkok.

Sedangkan untuk kelompok bagian tubuh B, nilai yang diperoleh adalah 4 untuk leher dan 3 untuk batang tubuh. Lalu untuk bagian batang tubuh memiliki

nilai 4 yang diakibatkan oleh tubuh masinis yang miring kearah depan sekitar 24 derajat untuk menjangkau kabin. Pada akhirnya hasil kalkulasi dari kedua bagian anggota tubuh ini memberikan *grand score* sebesar 6 yang berarti investigasi dan perbaikan terhadap postur kerja ini harus segera dilakukan.

Pada langkah terakhir dilakukan kalkulasi untuk memperoleh nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) berdasarkan nilai LBA, OWAS dan RULA yang telah diperoleh. Berdasarkan rumus PEI, maka nilai PEI untuk konfigurasi aktual dengan persentil 5 ini adalah sebesar 2,076555.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi Desain Aktual Persentil 5

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
372	3	6	2,076555

4.2. Analisis Postur Duduk dengan Desain Usulan

Setelah pada bab sebelumnya telah dilakukan analisis terhadap postur duduk aktual yang dibuat berdasarkan hasil pengamatan penulis pada kondisi sebenarnya, selanjutnya analisis dilakukan terhadap postur duduk yang sudah menggunakan desain kursi usulan. Dalam penelitian ini terdapat 6 konfigurasi yang dilakukan, masing-masing diujikan untuk masinis dengan persentil 5 dan 95. Ukuran desain kursi usulan pada bagian ini telah dihitung sesuai dengan antropometri tubuh masinis, dengan modifikasi pada bagian kemiringan sandaran dan jenis sandaran kursi. Kemiringan sandaran kursi dibuat dalam 3 macam modifikasi yaitu 100, 105 dan 110 derajat. Sementara untuk jenis sandaran dibedakan menjadi *full* dan *half*.

Tabel 4.8 Rekapitulasi 12 Konfigurasi Usulan yang Akan Diujikan

No	Konfigurasi	Jenis Sandaran	Sudut Sandaran	Persentil
1	1a	full	100	95
2	1b	full	100	5
3	2a	full	105	95
4	2b	full	105	5

Tabel 4.8 Rekapitulasi 12 Konfigurasi Usulan yang Akan Diujikan (lanjutan)

5	3a	full	110	95
6	3b	full	110	5
7	4a	half	100	95
8	4b	half	100	5
9	5a	half	105	95
10	5b	half	105	5
11	6a	half	110	95
12	6b	half	110	5

Postur duduk model manusia virtual dalam konfigurasi ini dibuat dengan mengikuti kaidah-kaidah postur duduk yang benar, diantaranya : (Sumber : Dr. Dieter Breithecker, www.postureinstyle.com)

7. Kaki bagian bawah harus tegak lurus terhadap lantai, sementara posisi paha horizontal.
8. Lengan bagian bawah harus tertumpu ke meja dengan posisi yang santai
9. Sandaran harus dapat beradaptasi dengan posisi punggung dan menyangga bagian lumbar (punggung bawah)
10. Bagian lumbar (punggung bawah) pengguna menyender pada kursi, batang tubuh dalam posisi tegak (90 derajat), sementara leher menyesuaikan dengan kebutuhan pengguna untuk melihat permukaan meja
11. Paha pengguna tidak boleh menekan dudukan kursi bagian depan
12. Kaki bertumpu pada lantai atau sandaran kaki secara sempurna
13. Semakin dekat meja kerja dengan posisi duduk pengguna maka akan semakin baik karena sedikit pula otot yang akan bekerja untuk menjangkaunya

Sama seperti tahap analisis untuk konfigurasi postur duduk aktual yang sebelumnya telah dilakukan, tahap awal analisis konfigurasi postur duduk untuk desain usulan juga akan dimulai dengan analisis hasil nilai SSP. Setelah dilakukan analisis SSP tersebut, ternyata keenam konfigurasi seluruhnya memiliki nilai SSP diatas 90 persen untuk seluruh anggota tubuh. Dengan demikian, tahap analisis ini dapat kita lanjutkan dengan 3 metode selanjutnya, yaitu LBA, OWAS dan RULA hingga nantinya kita dapat menghitung nilai PEI sebagai hasil akhir analisis

postur duduk yang bersangkutan. Dibawah ini terdapat tabel yang merangkum masing-masing nilai LBA, OWAS, RULA dan PEI untuk setiap konfigurasi yang diujikan pada masinis.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1A	231	1	3	0.926
1B	298	1	3	0.946
2A	199	2	4	1.369
2B	246	2	5	1.586
3A	165	2	5	1.562
3B	190	2	5	1.570
4A	237	1	3	0.928
4B	307	1	3	0.948
5A	203	2	4	1.371
5B	252	2	5	1.588
6A	168	2	5	1.563
6B	203	2	5	1.573

Analisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada software Jack 6.1 menghasilkan 3 buah nilai yang menggambarkan ergonomi postur duduk yang diujikan, seperti tertera pada tabel diatas, yaitu nilai LBA, OWAS, RULA. Kemudian penghitungan ketiga nilai tersebut menggunakan rumus nilai PEI akan menghasilkan sebuah nilai PEI untuk setiap postur duduk yang diujikan. Berdasarkan tabel diatas dapat kita lihat bahwa konfigurasi 1 menghasilkan nilai PEI yang terkecil. Disusul oleh nilai PEI konfigurasi 4 yang hanya berbeda 0.002 saja. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut akan dilakukan untuk menilai desain yang terpilih, karena perbedaan nilai PEI yang sangat kecil dengan nilai PEI konfigurasi lain yang terdekat. Hal ini dapat dikatakan wajar, karena secara postur kedua desain ini tidak memiliki perbedaan signifikan, hanya saja berbeda dari segi kenyamanan karena jenis sandaran yang berupa *full* dan *half*.

Pada hasil analisis ini terlihat hasil bahwa konfigurasi 3A yang memiliki nilai LBA terkecil, disusul oleh konfigurasi 6A yang juga tidak jauh berbeda.

Berdasarkan tabel diatas, maka terlihat bahwa nilai LBA akan semakin kecil pada desain kursi yang memiliki sudut kemiringan semakin besar. Hal ini dapat kita amati dari 3 urutan konfigurasi berturut-turut 1A, 2A dan 3A serta 4A, 5A dan 6A, dimana pada ketiga konfigurasi ini memiliki kemiringan sandaran kursi yang signifikan yaitu 100, 105 dan 110 derajat. Dari tabel terlihat bahwa nilai LBA untuk konfigurasi 3A lebih kecil dari nilai LBA untuk konfigurasi 2A dan 1A. Sedangkan nilai LBA pada konfigurasi B, konfigurasi 3B justru memberikan nilai yang paling kecil dan yang terbesar adalah pada konfigurasi 4B. Berdasarkan tabel diatas, maka terlihat bahwa nilai LBA akan semakin kecil pada desain kursi yang memiliki sudut kemiringan semakin besar. Hal ini dapat kita amati dari 3 urutan konfigurasi berturut-turut 1B, 2B dan 3B serta 4B, 5B dan 6B, dimana pada ketiga konfigurasi ini memiliki kemiringan sandaran kursi yang signifikan yaitu 100, 105 dan 110 derajat. Dari tabel terlihat bahwa nilai LBA untuk konfigurasi 3B lebih kecil dari nilai LBA untuk konfigurasi 2B dan 1B. Kemiringan sandaran kursi yang makin besar akan menyebabkan sudut antara paha dengan batang tubuh menjadi lebih besar, sehingga bobot tubuh pengguna yang ditopang oleh sandaran tersebut menjadi semakin besar pula. Dengan demikian nilai LBA yang menunjukkan tekanan atau beban yang ditumpu oleh tulang belakang akan menjadi semakin kecil. Apabila sandaran kursi semakin tegak maka bobot tubuh masinis akan mengikuti gravitasi kearah bawah, yang menyebabkan tekanan atau beban yang ditumpu oleh tulang belakang menjadi lebih besar.

NIOSH *Back Compression Action Limit* memiliki nilai sebesar 3400 Newton untuk nilai beban maksimal yang dapat diterima oleh tulang belakang manusia. Seluruh nilai LBA yang dihasilkan dari analisis postur duduk dengan menggunakan desain usulan ternyata memberikan nilai yang masih jauh dibatas batasan dari NIOSH tersebut. Selain itu, nilai LBA untuk keenam konfigurasi tersebut juga lebih kecil dibandingkan nilai LBA pada konfigurasi aktual untuk yaitu sebesar 570 Newton untuk persentil 95 dan 372 Newton untuk persentil 5. Hal ini mengindikasikan bahwa postur tubuh masinis yang dibentuk pada konfigurasi menggunakan desain usulan ini sudah lebih baik.

Berdasarkan tabel konfigurasi A diperoleh bahwa konfigurasi 1A dan juga 4A memiliki nilai OWAS sebesar 1, lebih kecil dibandingkan nilai OWAS untuk 4 konfigurasi lainnya. Apabila diperhatikan dari postur duduk yang dibentuk pada kedua konfigurasi 1A dan 4A tersebut, maka dapat diartikan bahwa sudut antara paha dengan batang tubuh yang lebih kecil justru akan menghasilkan nilai OWAS yang semakin kecil. Nilai OWAS untuk keenam konfigurasi tersebut yang berkisar antara 1 hingga 2 menandakan bahwa postur duduk yang dibentuk oleh keenam konfigurasi tersebut masih cukup aman dan tidak memerlukan perubahan secara segera. Berdasarkan tabel juga diperoleh bahwa konfigurasi 1B dan juga 4B memiliki nilai OWAS sebesar 1, lebih kecil dibandingkan nilai OWAS untuk 4 konfigurasi lainnya. Apabila diperhatikan dari postur duduk yang dibentuk pada kedua konfigurasi 1B dan 4B tersebut, maka dapat diartikan bahwa sudut antara paha dengan batang tubuh yang lebih kecil justru akan menghasilkan nilai OWAS yang semakin kecil. Kedua konfigurasi tersebut juga memiliki nilai OWAS 1, yang berarti postur duduk yang dibentuk sudah normal dan *natural*, sehingga tidak dibutuhkan tindakan perbaikan terhadap kedua postur ini. Sementara untuk konfigurasi lainnya memiliki nilai OWAS 2 yang berarti postur tubuh ini masih cukup baik dengan musculoskeletal loading yang tidak ekstrim, namun demikian ada usulan untuk melakukan tindakan perbaikan.

Sedangkan hasil analisis RULA yang dapat dilihat pada Tabel 4.10 menunjukkan nilai yang berbeda-beda untuk tiap konfigurasi pada persentil 95. Konfigurasi 1A dan 4A memberikan hasil nilai RULA sebesar 3, sementara konfigurasi 2A hingga 6A memiliki nilai RULA yang lebih besar, yaitu 5. Hasil ini juga menggambarkan bahwa kemiringan sandaran kursi yang lebih kecil memberikan hasil nilai RULA yang lebih baik. Hasil analisis nilai RULA menunjukkan bahwa kemiringan sandaran kursi sebesar 100 derajat memberikan hasil nilai RULA yang paling kecil (paling baik). Namun perlu dicatat bahwa dalam hasil konfigurasi persentil 95 ini kedua konfigurasi dengan kemiringan sandaran kursi sebesar 105 dan 110 derajat memberikan nilai RULA yang sama yaitu bernilai 5. Hasil analisis nilai RULA pada keenam konfigurasi untuk persentil 95 ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dibentuk pada konfigurasi 1A dan 4A masih memerlukan investigasi lebih lanjut dan terdapat

kemungkinan akan dibutuhkan perbaikan kedepannya, sedangkan konfigurasi lainnya membutuhkan investigasi dan perubahan segera karena postur tubuh yang dibentuk pada keempat konfigurasi ini cukup membahayakan.

Tabel 4.10 Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95

Anggota tubuh		1A	2A	3A	4A	5A	6A
Group A	upper arm	2	2	2	2	3	2
	lower arm	2	3	3	2	3	3
	wrist	2	2	2	2	2	2
	wrist twist	2	2	2	2	2	2
TOTAL		3	4	4	3	4	4
Group B	neck	3	3	3	3	3	3
	trunk	1	4	4	1	4	4
TOTAL		3	5	5	3	5	5
GRAND TOTAL		3	5	5	3	5	5

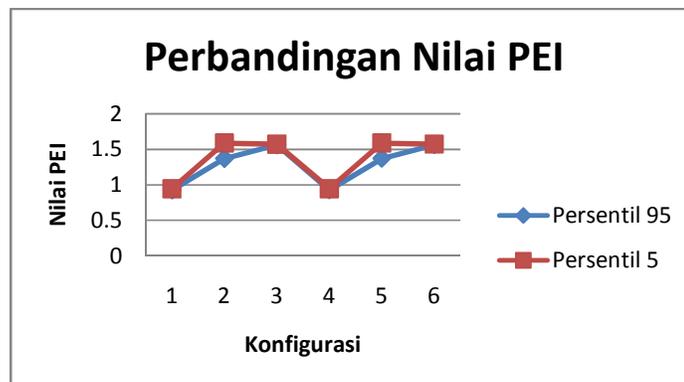
Sedangkan hasil analisis RULA untuk persentil 5 juga dapat dilihat pada Tabel 4.11 menunjukkan nilai yang berbeda-beda untuk tiap konfigurasi. menunjukkan nilai yang berbeda-beda untuk tiap konfigurasi. Konfigurasi 1B dan 4B memberikan hasil nilai RULA yang paling kecil, yaitu 3. Konfigurasi 2B dan 5B memiliki nilai RULA sebesar 4. Sementara, untuk konfigurasi 3B dan 6B memiliki nilai RULA sebesar 5. Perbedaan ini diakibatkan oleh perbedaan kemiringan sandaran kursi, derajat kemiringan sandaran kursi pada konfigurasi 1B dan 4B lebih kecil dibandingkan 4 konfigurasi lainnya, sedangkan derajat kemiringan sandaran kursi pada konfigurasi 2B dan 5B lebih kecil dibandingkan konfigurasi 3B dan 6B namun masih lebih besar bila dibandingkan dengan konfigurasi 1B dan 4B. Perbedaan paling besar terutama dapat dilihat pada nilai RULA untuk bagian *trunk* (batang tubuh). Pada konfigurasi 1B dan 4B, bagian batang tubuh ini memiliki nilai 1, sedangkan pada keempat konfigurasi lainnya memiliki nilai 4. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun pada seluruh konfigurasi postur duduk ini, penulis memposisikan batang tubuh yang tegak untuk model manusia virtual namun ternyata bagian lumbar yang menyender pada kemiringan kursi yang berbeda-beda masih memberikan pengaruh terhadap nilai RULA. Dalam hal ini kemiringan sandaran kursi yang lebih besar akan membuat sudut yang dibentuk oleh paha dan batang tubuh menjadi lebih besar sehingga

menghasilkan nilai RULA yang semakin besar pula. Dengan demikian berdasarkan hasil analisis nilai RULA untuk keenam konfigurasi tersebut mengindikasikan bahwa postur duduk pada konfigurasi 1B dan 4B masih memerlukan investigasi lebih lanjut dan kemungkinan akan dibutuhkan perbaikan, sebaliknya untuk konfigurasi lainnya harus dilakukan investigasi dan perubahan segera karena postur tubuh yang dibentuk pada keempat konfigurasi ini cukup membahayakan.

Tabel 4.11 Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5

Anggota tubuh		1B	2B	3B	4B	5B	6B
Group A	upper arm	2	1	2	2	2	2
	lower arm	3	2	3	2	2	3
	wrist	1	2	3	2	2	3
	wrist twist	2	2	1	1	1	1
TOTAL		4	2	4	3	3	5
Group B	neck	3	3	3	3	3	3
	trunk	1	4	4	1	4	4
TOTAL		3	5	5	3	5	5
GRAND TOTAL		3	4	5	3	4	5

Dibawah ini merupakan grafik perbandingan nilai PEI yang dihasilkan oleh masing-masing konfigurasi pada masinis dengan menggunakan desain kursi usulan.



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai PEI pada Seluruh Konfigurasi

Grafik garis diatas menunjukkan perbandingan nilai PEI yang diperoleh dari keenam konfigurasi menggunakan desain kursi usulan untuk masinis Titik-

titik pada grafik mewakili nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi. Pada grafik tersebut dapat kita perhatikan bahwa nilai PEI untuk konfigurasi 1 dan 4 adalah yang paling kecil. Untuk persentil 95, nilai tersebut akan semakin naik untuk konfigurasi 2A dan 5A hingga mencapai nilai yang terbesar pada konfigurasi 3A dan 6A. Konfigurasi 1A dan 4A sejauh ini memiliki nilai PEI yang terbaik, dikarenakan iabel kemiringan sandaran kursi memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai PEI. Terlihat bahwa kemiringan sandaran kursi yang lebih kecil (lebih tegak) memberikan nilai PEI yang lebih baik, yaitu seperti pada konfigurasi 1A dan 4A yang memiliki nilai PEI jauh lebih kecil dibandingkan 4 konfigurasi lainnya. Sedangkan untuk analisis persentil 5, hasil PEI yang didapat oleh keempat konfigurasi lain tidak terlalu berbeda. Terlihat bahwa kemiringan sandaran kursi yang lebih kecil (lebih tegak) memberikan nilai PEI yang lebih baik, yaitu seperti pada konfigurasi 1B dan 4B. Karena perbedaan yang kurang signifikan antara konfigurasi 1 dan 4 inilah, akan dilakukan analisis lebih lanjut berdasarkan kriteria lain untuk menentukan desain yang terbaik.

4.2.1. Penentuan Desain Terbaik

Dari hasil simulasi konfigurasi desain pada bagian sebelumnya telah menjelaskan bahwa terdapat 2 jenis konfigurasi yang memiliki nilai terkecil yang besarnya pun tidak berbeda jauh, yakni konfigurasi 1 dan 4. Oleh karena itu, diperlukan suatu kriteria yang mampu menjadi pertimbangan terbaik dalam menentukan salah satu konfigurasi yang terpilih, yakni faktor kenyamanan dan keselamatan.

Hasil simulasi menyebutkan bahwa dua jenis konfigurasi yang terbaik merupakan konfigurasi dari desain yang identik dari segi kemiringan sandaran kursi. Hanya saja keduanya berbeda dalam hal jenis sandaran, yakni *half* dan *full* yang berkorelasi langsung terhadap kenyamanan yang dirasakan pengguna. Desain konfigurasi 1 menggunakan jenis sandaran *full*, sedangkan desain konfigurasi 4 menggunakan jenis sandaran *half*

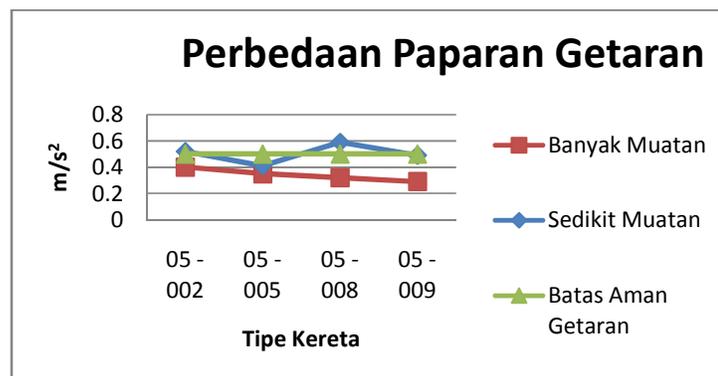
Seperti yang kita ketahui, pekerjaan seorang masinis memiliki tanggung jawab yang sangat besar karena harus bertanggung jawab terhadap seluruh keselamatan penumpang di dalam keretanya. Oleh karena itu, kondisi kerja harus

diatur sedemikian rupa agar masinis dapat selalu siaga dalam melaksanakan pekerjaannya. Kondisi siap siaga terkadang bukan dibangun dari kenyamanan. Karena posisi yang terlalu nyaman seringkali berakibat pengguna mudah terbuai dan cenderung cepat mengantuk, apalagi jika posisi ini dilakukan dalam jangka waktu yang cukup lama dalam 1 hari kerja. Hal inilah yang seharusnya dihindari, sehingga berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan menyebutkan bahwa kondisi siap siaga lebih tercipta dengan menggunakan sandaran *half* daripada *full*.

Oleh sebab itu, maka dapat disimpulkan bahwa desain terbaik adalah konfigurasi 4. Sesuai dengan analisis untuk persentil 95 dengan konfigurasi 4A, dan analisis untuk persentil 5 dengan konfigurasi 4B.

4.3. Analisis terhadap *Whole Body Vibration* pada Kursi Masinis

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai analisis terhadap paparan getaran pada kursi masinis yang dirasakan saat ini. Pengolahan data yang digunakan adalah besaran *daily vibration exposure* yang telah didapat dengan menggunakan *software*. *Daily vibration exposure* digunakan karena besaran tersebut telah mempertimbangkan paparan getaran selama 7 jam kerja masinis. Berdasarkan hasil pengambilan data di lapangan dan pengolahannya yang telah ditampilkan pada bab sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat perbedaan paparan getaran yang cukup signifikan saat kondisi kereta sedang dalam muatan sedikit dan banyak. Berikut ini ditampilkan grafik yang memperlihatkan perbedaan keduanya:



Gambar 4.9 Perbedaan Paparan Getaran Saat Kereta Bermuatan Banyak dan Sedikit

Dari grafik dapat terlihat bahwa ketika kereta bermuatan banyak, getaran yang dirasakan akan lebih kecil daripada saat kereta bermuatan sedikit. Hal ini dikarenakan beban yang lebih besar mempengaruhi gravitasi keseluruhan kereta. Sehingga saat bermuatan banyak, kereta cenderung lebih stabil dari pantulan dengan alas rel yang berakibat vibrasi. Sedangkan saat kereta bermuatan sedikit, maka beban kereta cenderung lebih ringan. Beban yang lebih ringan ini membuat kereta mudah bergoyang akibat gesekan rel dan kecepatan kereta, sehingga getaran yang dirasakan akan lebih besar. Namun secara umum, keseluruhan kondisi getaran saat ini masih dalam batas wajar. Hanya saja pada tipe kereta tertentu yakni tipe 05 – 002 dan 05 – 008 yang melebihi sedikit dari batas aman. Hal ini bisa saja diakibatkan karena kondisi masing-masing mesin kereta yang berakibat terhadap getaran yang ditimbulkan dan bertransmisi hingga ke bagian tempat duduk.

Berdasarkan analisis tersebut, terlihat bahwa kondisi paparan getaran yang saat ini dialami masinis masih dalam tingkat aman. Jika masih ada yang melampaui batas aman, besarnya tidak terlalu jauh sehingga diharapkan fitur penyangga kursi di bagian bawah dapat menjadi peredam getaran yang cukup efektif. Penyangga kursi ini pun telah secara ilmiah dibuktikan oleh Ozkaya, Willems, Goldsheyder pada tahun 1996 bahwa cukup efektif untuk memperkecil getaran kursi. Sehingga dapat dikatakan bahwa material yang digunakan saat ini telah mampu meredam getaran pada kursi masinis dan dengan teraplikasinya desain kursi yang diusulkan pada bagian sebelumnya diharapkan dapat mampu membuat getaran yang dirasakan masinis menjadi lebih aman.

BAB 5

KESIMPULAN

Dalam bab 5 ini akan dipaparkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis desain kursi dan meja maupun berbagai macam konfigurasi postur duduk yang telah dibahas pada bab 4. Selain itu bab ini juga akan memuat saran dan masukan dari penulis berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

1.8. Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul “Perancangan Kursi Masinis Yang Ergonomis pada KRL *Commuter* Jabodetabek dengan Menggunakan *Virtual Human Modelling*” ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. 80% anggota tubuh masinis yang paling banyak mengalami keluhan adalah leher, punggung atas, lengan atas, bahu, punggung bawah, serta paha.
2. Hasil analisa terhadap ukuran kursi actual yang digunakan pada kereta Tokyo Metro Seri 05 menunjukkan bahwa ukuran kursi yang digunakan saat ini kurang sesuai dengan ukuran tubuh masinis sehingga membentuk postur duduk yang buruk hingga mengakibatkan cedera pada tubuh masinis. Kesalahan desain yang terjadi diantaranya kursi yang terlalu jauh dengan kabin tuas pengendali, sandaran kaki yang terlalu pendek dan tidak sesuai kemiringan pada sandaran kursi.
3. Desain yang diusulkan mempertimbangkan ukuran kabin yang cukup sempit dan bertujuan untuk mengurangi paparan vibrasi, sehingga setiap desain dipastikan memiliki tiang penyangga dibagian bawah yang tetap dapat dilipat dan *adjustable* untuk mengakomodasi segala jenis antropometri masinis dengan ukuran kabin kereta yang sedemikian rupa.
4. Nilai PEI dari hasil konfigurasi postur duduk actual pada persentil 9 adalah sebesar 1,276 sedangkan untuk persentil 5 adalah 2,076.
5. Nilai PEI yang dihasilkan dari hasil konfigurasi postur duduk dengan menggunakan desain kursi usulan pada persentil 95, menunjukkan bahwa

6. Nilai PEI dihasilkan oleh konfigurasi 1 dan 4 merupakan yang terbaik dengan karakteristik kemiringan sandaran kursi 100 derajat.
7. Konfigurasi tersebut memiliki nilai PEI yang jauh lebih baik dibandingkan nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi aktual. Maka dengan demikian dapat disimpulkan bahwa desain usulan kursi sudah lebih baik dibandingkan desain kursi dan meja aktual, sehingga dapat membentuk postur duduk yang benar dan tidak mencederai tubuh masinis.
8. Dari kedua kandidat desain untuk masing-masing persentil, akhirnya dipilih salah satunya berdasarkan segi kenyamanan dan keselamatan. Sandaran jenis *half* dinilai lebih tepat digunakan, karena sandaran *full* membuat masinis terlalu nyaman sehingga dikhawatirkan mudah terbuai dan tertidur.
9. Dengan demikian, terpilihlah desain yang terbaik yaitu dengan jenis sandaran *half*. Untuk persentil 95 terpilih konfigurasi 4A, dan untuk persentil 5 terpilih konfigurasi 4B.
10. Dari hasil pengukuran getaran menggunakan alat ukur HVM 100, didapatkan hasil bahwa secara umum getaran pada kursi masinis masih dalam tingkat aman menurut standar ISO 2631-1: 1997. Hanya saja saat kereta berada pada kondisi sedikit muatan, getaran kereta Tokyo Metro 05-002 dan 05-008 menunjukkan sedikit melebihi batas aman.
11. Material kursi saat ini dinilai telah cukup aman bagi masinis. Diharapkan dengan terimplementasinya desain kursi usulan yang dilengkapi dengan tiang penyangga ini dapat mengurangi keluhan *musculoskeletal* pada masinis serta dapat berkontribusi untuk mengurangi getaran disegala kondisi agar tetap aman.

1.9. Saran

Postur duduk masinis sangat mempengaruhi resiko terjadinya keluhan *musculoskeletal*, apalagi pada kenyataannya usia rata-rata masinis yang sudah tua menambah tingginya resiko tersebut. Oleh karena itu kualitas postur duduk yang baik menjadi sangat penting untuk diperhatikan. Salah satu hal yang paling mempengaruhi postur duduk masinis adalah ukuran kursi yang digunakan. Ukuran

kursi ini harus disesuaikan dengan ukuran tubuh masinis agar nyaman digunakan dan tidak menimbulkan cedera. Selain ukuran, sandaran kursi, serta mekanisme untuk mengurangi getaran yang seringkali terpapar oleh masinis saat bekerja di dalam kereta juga perlu diperhatikan. Untuk itu diperlukan suatu kesatuan desain yang dapat mengakomodasi masinis demi menunjang kesehatan masinis.

Untuk membentuk postur duduk yang lebih baik dapat digunakan kursi dengan kemiringan sandaran sebesar 100 derajat. Dan untuk menunjang keselamatan kerja, akan lebih baik jika menggunakan jenis sandaran *half*. Selain memperhatikan desain kursi dan meja yang digunakan, para masinis juga harus memiliki posisi duduk yang benar. Tentunya akan menjadi sia-sia apabila desain kursi dan meja yang digunakan sudah tepat namun ternyata postur duduk yang dilakukan masinis masih salah. Kombinasi dari desain kursi dan meja yang tepat dengan postur duduk yang benar akan memberikan kenyamanan dan kesehatan *musculoskeletal* bagi para masinis. Posisi duduk yang benar ini akan menghindarkan masinis dari rasa cepat lelah ataupun kemungkinan cedera. Berikut ini akan dijelaskan kembali postur duduk yang benar untuk masinis :

(Sumber : Dr. Dieter Breithecker, www.postureinstyle.com)

14. Kaki bagian bawah harus tegak lurus terhadap lantai, sementara posisi paha horizontal.
15. Lengan bagian bawah harus tertumpu ke meja dengan posisi yang santai
16. Sandaran harus dapat beradaptasi dengan posisi punggung dan menyangga bagian lumbar (punggung bawah)
17. Bagian lumbar (punggung bawah) pengguna menyender pada kursi, batang tubuh dalam posisi tegak (90 derajat), sementara leher menyesuaikan dengan kebutuhan pengguna untuk melihat permukaan meja
18. Paha pengguna tidak boleh menekan dudukan kursi bagian depan
19. Kaki bertumpu pada lantai atau sandaran kaki secara sempurna
20. Semakin dekat meja kerja dengan posisi duduk pengguna maka akan semakin baik karena sedikit pula otot yang akan bekerja untuk menjangkaunya.

Material yang saat ini digunakan telah cukup mampu melindungi masinis dari resiko paparan getaran. Namun, terdapat juga beberapa saran lain yang dapat dijadikan masukan diantaranya:

1. Pemeriksaan dan perawatan mesin kereta api secara berkala harus dilakukan untuk mengurangi getaran yang ditimbulkan.
2. Kebiasaan olahraga sangat membantu dalam peningkatan stamina dan menjaga kesehatan. Karena dengan melakukan olahraga yang teratur juga dapat melatih otot menjadi lebih lentur dan kuat.
3. Lakukan pemeriksaan berkala (1 tahun sekali) pada masinis untuk mencegah hal-hal serius yang tidak diinginkan terjadi. Lebih baik mencegah daripada mengobati.

Dalam pengembangan penelitian pada kabin masinis yang ergonomis juga dapat dilakukan dengan memperhatikan jarak *workstation/jangkauan* tangan terhadap desain kabin saat ini, serta aspek lain seperti jarak penglihatan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan *eyetracker* yang sudah tersedia di Laboratorium Ergonomi Universitas Indonesia. Penggunaan teknologi ini dapat digunakan untuk penempatan panel dalam kabin masinis dan perangkat lainnya yang dapat membantu masinis dalam pekerjaannya dan meningkatkan *safety*.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersson, G.B.J., Ortengren, R., Nachemson, A., Elfstrom, G., (1974). Lumbar disc pressure and myoelectric back muscle activity during sitting. I, Studies on an experimental chair. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 3, 104–114.
- Brown, C.R., Schaum, D.L.. (1980). *User-adjusted VDU parameters*. (Cited in Pheasant,2003).
- Bridger. R.S, (1995). *Introduction to Ergonomics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis.
- Campbell, Cronin, and Salisbury. (2008). *High Rate Characterization of Automotive Seat Foams*. University of Waterloo, Canada.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Cengiz and Babalık. (2009). The effects of ramie blended car seat covers on thermal comfort during road trials.
- Choffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.
- Choffin, Don. B., *Localized Muscle Fatigue, Definition and Measurement*. *Journal of Occupational Medicine*. 1979: 346
- Data Internal PT. KAI Commuter Jabodetabek.
- Data Investigasi KNKT 2007 – 2011.
- Data Statistik Kementerian Perhubungan 2009.
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. In: *Proceed of The 7th International Conference on “The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process” – ATA 2001, Florence*.

- Franco, G. dan Fusetti, L. (2004). Bernardino Ramazzini's early observation of the link between musculoskeletal disorders and ergonomic factors. *Applied Ergonomics* 35, 67-70.
- Hedge, Allan. (2001). "RULA Employee Assessment Worksheet", Cornell University, <http://ergo.human.cornell.edu/Pub/AHquest/CURULA.pdf>.
(Accessed in Saturday, April 09, 2011, 3:58:56 PM)
- Hedge, Allan. (2009). *Anthropometry and Workspace Design*, Cornell University. <http://ergo.human.cornell.edu/.../DEA3250pdfs/AnthroDesign.pdf>.
(Accessed in Saturday, April 09, 2011, 9:32:24 AM)
- Helander, Martin. (2003). *A Guide to Human Factors and Ergonomics* (2nd ed). New York: Taylor & Francis.
- Kalawsky, R. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Keegan J.J. (1953). Alterations of the lumbar curve. *Journal of Bone and Joint Surgery* 35, 589-603.
- Kroemer, K.H.E. Kroemer, H.B. Kroemer-Elbert, K.E. (2001). *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Leelavathy, K.R., Raju, R., Raj, S.Gokul. (2011). Whole Body Vibration and Back Disorders among Vehicle Operators. *European Journal of Scientific Research* Vol. 61 No. 3, 328-340.
- Lueder, Rani. (2004). *Ergonomics of Seated Movement : A Review of the Scientific Literature*. Humanics ErgoSystems, Inc.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Mandal, A.C. (1981). The seated man (Homo sedens): the seated work position, theory and practice. *Applied Ergonomics* 12, 19–26.
- Ozkaya, Nihat; Willems, Bernardus; Goldsheyder, David. (1996). Effect of operator seat design on vibration exposure. *AIHA Journal* Sept, 837.
- Pheasant, Stephen. (1986) *Bodyspace*. London: Taylor and Francis.
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace : Anthropometry, Ergonomics and Design of Work*. London: Taylor & Francis.

- Putz-Anderson, Vern. (Ed.). (2005). *Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Disease of the Upper Limbs*. London: Taylor & Francis
- Ramazzini, Bernardino. 1940 (1717). Wright, Wilmer. (Trans.). *The Disease of Workers*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Staffel, F. Zur Hygiene des Sitzens, Zbl f. allg. Gesundheitspflege, 3, 403-421. (Cited in Kroemer, K.H.E. Kroemer, H.B. Kroemer-Elbert, K.E., 2001).
- Sanders, Mark and Ernest McCormick. (1993). *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Suma'mur, P.K. (1982). *Ergonomi Untuk Produktivitas Kerja*. Jakarta: Yayasan Swabhawa Karya.
- Taylor, J.H. (1973). *Vision*, (Cited in Pheasant, 2003).
- T.C Fai., F. Delbressine, and M. Rauterberg¹. (2007). Vehicle Seat Design: State Of The Art And Recent Development. Proceedings World Engineering Congress 2007, pp. 51-61
- UGS The PLM Company, E-Factory JACK. (2004). UGS Launches New Version of E-factory Jack, its Human Simulation and Ergonomics Analysis Software. 7 Maret 2009. <http://www.plm.automation.siemens.com>
- Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D'Cruz, M.D. & Eastgate, R.M. (1995). *Manufacturing Operations in Virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4, pp. 306–317.
- Wilson, J.R. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics." *Applied Ergonomics* 30.
- Zacharkow, D. (1988). *Posture: Sitting, Standing, Chair Design and Exercise*. Springfield: Thomas.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Antropometri Masinis

No	Berat Badan	Tinggi Badan	T. Popliteal	Bokong-Popliteal	T. Pundak	L. Bahu	L. Panggul	T. Mata (duduk)	L. Perut	Bokong-Lutut
1	102	174	48	46	64	47	42	74	20	49
2	74	175	42	40	54	47	43	75	24	56
3	68	160	45	45	60	47	35	68	24	57
4	74	158	45	46	57	46	38	65	20	51
5	66	165	49	40	56	45	40	78	23	52
6	74	171	45	52	66	47	37	70	24	46
7	70	160	47	39	62	48	46	76	20	48
8	60	162	51	36	57	41	30	65	17	46
9	55	159	46	42	62	38	28	72	20	49
10	77	170	53	48	62	50	42	82	25	59
11	55	155	50	39	50	47	43	68	22	52
12	52	169	47	46	58	39	36	74	19	59
13	67	169	53	43	70	37	34	76	19	51
14	96	173	54	46	58	46	42	74	29	57
15	85	172	53	40	56	44	42	78	24	46
16	58	173	53	43	64	40	33	74	25	56
17	53	158	42	44	52	42	37	62	17	51
18	70	166	50	42	49	39	41	70	20	52

Universitas Indonesia

19	63	167	55	45	54	44	38	72	23	55
20	71	164	44	42	66	44	36	70	22	53
21	52	166	46	46	61	38	30	70	20	51
22	56	156	46	39	62	40	33	69	18	48
23	71	166	51	40	53	41	40	69	23	52
24	61	160	47	36	66	38	30	72	22	47
25	44	161	48	39	69	41	39	78	20	47
26	59	164	53	44	60	50	48	79	20	56
27	48	165	55	42	59	37	35	75	23	51
28	56	164	47	40	57	39	28	66	19	50
29	82	172	52	39	65	43	38	73	35	51
30	62	164	50	44	52	44	31	77	27	56
31	102	159	50	45	54	50	52	65	27	55
32	65	157	47	42	62	41	32	68	20	47
33	56	166	50	43	61	42	35	71	17	50
34	67	161	48	42	53	44	43	75	25	53
35	70	164	51	41	63	40	33	73	20	49

Lampiran 2. Foto Pengambilan Data



Pengukuran Ukuran Kursi Aktual dan Pengambilan Data Antropometri



Pengambilan Data *Whole Body Vibration* dengan Larson Davis Accelerometer