



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN DESAIN KABIN PENGEMUDI BUS PHL  
(PATAS HYNO LONG) AK3HR YANG ERGONOMIS DALAM  
*VIRTUAL ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

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

**EVARIYANI RIZKI  
0706274640**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2011**

## 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 : Evariyan Rizki**

**NPM : 0706274640**

**Tanda tangan :** 

**Tanggal : 20 Juni 2011**

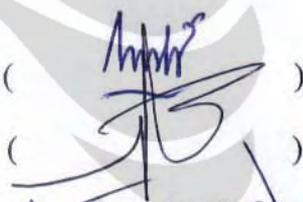
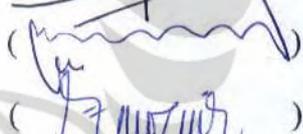
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Evariyani Rizki  
NPM : 0706274640  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Perancangan Desain Kabin Pengemudi Bus PHL (Patas Hyno Long) AK3HR yang Ergonomis dalam *Virtual Environment*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Amalia Suzianti (  )  
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE (  )  
Penguji : Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE (  )  
Penguji : Ir. Fauzia Dianawati, M.Si (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena hanya dengan kasih karunia-Nya yang berlimpah, penulis dapat menyelesaikan penelitian hingga sampai pada tahap penyusunan skripsi ini. Adapun penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia (FTUI). Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini, terutama kepada:

- (1) Ibu Dr. -Ing. Amalia Suzianti, selaku dosen pembimbing skripsi penulis, yang telah memberikan banyak waktu, tenaga, pikiran, kesabaran, serta dukungan untuk memberikan saran serta pengarahan selama proses pengerjaan skripsi.
- (2) Bapak Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE dan Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE., selaku dosen pembimbing ergonomi, atas bimbingan, pengarahan, dan motivasi yang sangat berguna bagi penulis.
- (3) Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Industri FTUI, atas ilmu selama 4 tahun kehidupan perkuliahan penulis, yang sangat berguna dalam penyelesaian skripsi ini.
- (4) Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri, atas kesediaannya membantu dan memfasilitasi penulis dan teman-teman Teknik Industri 2007.
- (5) Bapak Zulkifli yang telah memberikan izin serta mempermudah akses masuk menuju objek penelitian dan juga memberikan masukan dan referensi yang bermanfaat.
- (6) Pengemudi bus Mayasari Bhakti, atas waktu dan kerja sama selama proses pengumpulan data.
- (7) Keluarga Besar Tukiman dan Suharma, terutama Mama, Papa, Fauziah Ulfah (Ulil), dan Astriana Nurfitriah yang selalu sabar menghadapi penulis,

serta senantiasa menyemangati dan memberikan doanya yang terbaik bagi penulis.

- (8) Melissa Kartika, teman penulis yang memiliki objek penelitian yang hampir sama, yaitu Bus Mayasari Bhakti, yang telah banyak membantu dan selalu bersama dalam pengambilan data.
- (9) Radita Tanaya, Sartika, dan Yunita, teman penulis sesama pembimbing yang telah banyak memberikan dukungan, saran, serta masukan selama penulisan skripsi.
- (10) Ivan G. Sihombing, Raden Yoga Prawiranegara, Muhammad Farouk Akbar, Anisha Puti Lalita, serta Tim Kursi yang lain yang telah memberikan saran dan masukan selama penelitian dan penyusunan skripsi.
- (11) Fitri Yanthi, Hilda Rizkiani, Ferdinandus, Regina Prisilia, Satria Utama, Handoyo Handoko, Sherly Juanita, Junita Rosalina Sirait, Andrea Coudillo, Anggraini Oktavianingrum, Astriana Gita, Bayu Pramudyo, Chandra Satria Muda, Dela Agung, Heny Nopiyanti, Komara Jaya, Landra Bakri, Malouna Felissa, dan Valentina Cynthia, sesama rekan penulis dalam penelitian terkait ergonomi yang menjadi tempat bertukar pikiran dan informasi serta berbagi suka dan duka selama penelitian dan penyusunan skripsi.
- (12) Dyah Ayuningtyas, Triana Rahayu, Tarida Lucyana, Tria Minarta, serta teman-teman lain yang tergabung dalam pesan di Facebook yang telah memberikan hiburan, dukungan, doa, serta motivasi kepada penulis.
- (13) Teman-teman Teknik Industri Universitas Indonesia angkatan 2007, atas semangat saling mendukung selama penyusunan skripsi dan atas kebersamaan tak tergantikan selama 4 tahun masa perkuliahan.

Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi banyak pihak yang membacanya. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, apabila ada kritik dan saran yang berkenaan dengan isi skripsi ini, penulis akan dengan senang hati membuka diri untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

---

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

Nama : Evariyani Rizki  
NPM : 0706274640  
Program Studi : Teknik Industri  
Departemen : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

Perancangan Desain Kabin Pengemudi Bus PHL (Patas Hyno Long) AK3HR yang Ergonomis dalam *Virtual Environment*

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 20 Juni 2011  
Yang menyatakan



(Evariyani Rizki)

## ABSTRAK

Nama : Evariyani Rizki  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Perancangan Desain Kabin Pengemudi Bus PHL (Patas Hyno Long) AK3HR yang Ergonomis dalam *Virtual Environment*

Kegiatan secara repetitif yang dilakukan oleh pengemudi bus serta berada dalam posisi duduk yang berkepanjangan di kabin pengemudi bus yang tidak sesuai dengan antropometri pengemudi merupakan faktor yang menyebabkan pengemudi bus mengalami gangguan *musculoskeletal disorder*. Penelitian ini membahas tentang perancangan desain kabin pengemudi bus PHL (Patas Hyno Long) AK3HR yang ergonomis dalam lingkungan virtual dengan menggunakan *software* Jack 6.1. Hasil penelitian ini berupa desain kabin pengemudi bus yang ergonomis berdasarkan nilai (Posture Evaluation Index) PEI dan hasil analisis *comfort assessment*. Sehingga didapat desain kabin pengemudi yang dapat mengurangi resiko timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* pada pengemudi.

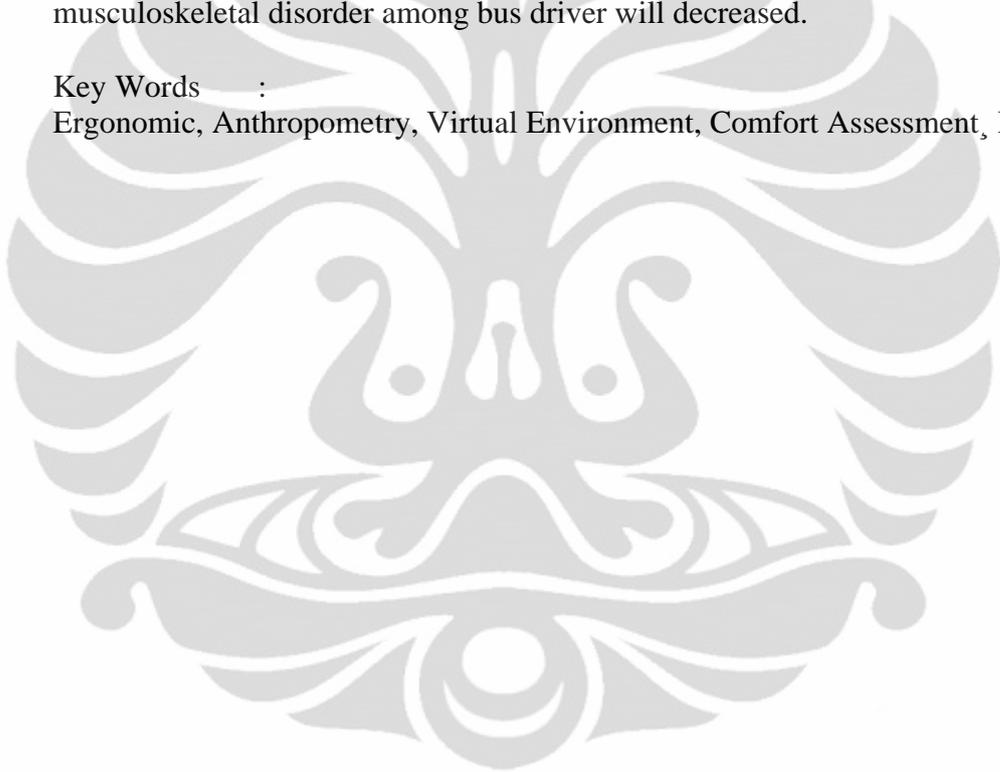
Kata Kunci :  
Ergonomi, Antropometri, *Virtual Environment*, *Comfort Assessment*, PEI

## ABSTRACT

Name : Evariyani Rizki  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Design of Ergonomic Bus Driver's Cab PHL (Patas Hyno Long) AK3HR in Virtual Environment

Repetitive activity, prolonged sitting, and anthropometric mismatch were perceived to be most related to musculoskeletal disorder in bus drivers. This study discusses about design of ergonomic bus driver's cab PHL (Patas Hyno Long) AK3HR in the virtual environment by using software Jack 6.1. The result of this study is design ergonomic driver's cab based on Posture Evaluation Index score and comfort assessment analysis. By ergonomic bus driver's cab, the risk of musculoskeletal disorder among bus driver will decreased.

Key Words :  
Ergonomic, Anthropometry, Virtual Environment, Comfort Assessment, PEI



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
1.3 Perumusan Masalah.....	6
1.4 Tujuan, Outcome, dan Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	7
1.6 Metodologi Penelitian.....	7
1.7 Sistematika Penulisan.....	11
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>12</b>
2.1 Ergonomi .....	12
2.2 <i>Work-related Musculoskeletal Disorder (WMSD)</i> .....	17
2.3 Antropometri .....	23
2.4 Postur Mengemudi Bus .....	29
2.5 <i>Virtual Environment</i> .....	32
2.6 <i>Software UGS NX 6.0</i> .....	34
2.7 <i>Software Jack</i> .....	35
2.8 Metode PEI.....	39
2.8.1 <i>Static Strength Prediction</i> .....	43
2.8.2 <i>Lower Back Analysis</i> .....	44
2.8.3 <i>Ovako Working Posture Analysis (OWAS)</i> .....	46
2.8.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i> .....	48
2.9 Kabin Pengemudi bus.....	51
2.9.1 <i>Entrance Kabin Pengemudi Bus</i> .....	51
2.9.2 <i>Steering Wheel</i> .....	51
2.9.3 Tempat Duduk.....	52
2.9.4 <i>Controls</i> .....	53
2.9.4.1 <i>Foot-Operated Controls (Pedal)</i> .....	53
2.9.4.2 <i>Hand-Operated Controls</i> .....	54
2.9.5 <i>Instrument Panel</i> .....	55
2.9.5.1 <i>Color Coding</i> untuk Lampu Indikator.....	55
<b>3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>57</b>
3.1 Pengumpulan Data.....	57
3.1.1 Deskripsi Data .....	58

3.1.2 Data Identifikasi Keluhan Pengemudi.....	58
3.1.3 Data Bentuk dan Dimensi Komponen Kabin Pengemudi Bus.....	61
3.1.4 Data Antropometri Pengemudi Bus.....	64
3.1.5 Data Postur Pengemudi Bus.....	68
3.2 Pengolahan Data.....	69
3.2.1 Pengolahan Data Pembuatan <i>Model Digital Virtual Simulation Jack70</i>	
3.2.1.1 Penentuan Konfigurasi.....	71
3.2.1.2 Pembuatan <i>Virtual Environment</i> .....	83
3.2.1.3 Pembuatan <i>Virtual Human Modeling</i> .....	83
3.2.1.4 Penempatan <i>Virtual Human</i> ke dalam <i>Virtual Environment</i> .....	85
3.2.1.5 Pemberian Tugas Kerja pada <i>Virtual Human Modeling</i> .....	88
3.2.1.6 Verifikasi dan Validasi Model.....	88
3.2.1.7 Analisa Kinerja Tugas dengan <i>Jack Task Analysis Toolkit</i> (TAT) dan <i>Occupant Packaging Toolkit</i> (OPT).....	94
3.2.1.8 Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI).....	99
<b>4. ANALISIS.....</b>	<b>101</b>
4.1 Analisis Kondisi Aktual.....	101
4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Proses Setir dan Gas.....	101
4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Proses Pergantian Gigi.....	110
4.2 Analisis Konfigurasi Usulan.....	118
4.2.1 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas.....	119
4.2.1.1 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Model Pengemudi Persentil 5.....	120
4.2.1.2 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Model Pengemudi Persentil 95.....	125
4.2.2 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi.....	131
4.2.2.1 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Model Pengemudi Persentil 5.....	131
4.2.2.2 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Model Pengemudi Persentil 95.....	137
4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan.....	143
4.3.1 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan pada Proses Kemudi dan Gas.....	143
4.3.2 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan pada Proses Pergantian Gigi.....	146
<b>5. PENUTUP.....</b>	<b>150</b>
5.1 Kesimpulan.....	150
5.2 Saran.....	151
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>152</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pengemudi Bus Patas .....	2
Gambar 1.2	Diagram Keterkaitan Masalah .....	4
Gambar 1.3	Diagram Metodologi Penelitian .....	9
Gambar 2.1	Sistem Kerja Sederhana .....	13
Gambar 2.2	Postur Dasar .....	19
Gambar 2.3	Usaha Tergantung pada Arah .....	20
Gambar 2.4	Usaha yang Lebih Efektif .....	20
Gambar 2.5	Genggaman .....	21
Gambar 2.6	Usaha Tergantung pada Genggaman .....	21
Gambar 2.7	Kekuatan Tergantung pada Postur .....	22
Gambar 2.8	Antropometri Tubuh Manusia yang Diukur Dimensinya .....	24
Gambar 2.9	Distribusi Normal dan Perhitungan Persentil .....	28
Gambar 2.10	Diagram Alir Metode PEI .....	40
Gambar 2.11	Contoh Output SSP .....	44
Gambar 2.12	Contoh Output LBA .....	45
Gambar 2.13	Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh .....	46
Gambar 2.14	Contoh Output Analisis OWAS .....	47
Gambar 2.15	Pengelompokkan Tubuh Metode RULA .....	49
Gambar 2.16	Contoh Output Analisis RULA .....	50
Gambar 2.17	Kriteria untuk Desain <i>Steering Wheel</i> .....	51
Gambar 2.18	Dimensi dan Tekanan yang Diperhitungkan pada Pedal .....	54
Gambar 2.19	Ilustrasi <i>Instrument Panel</i> dengan Legenda .....	56
Gambar 3.1	Keluhan Pengemudi pada Bagian Tubuh .....	59
Gambar 3.2	Diagram Pareto Keluhan Pengemudi .....	60
Gambar 3.3	Kabin Pengemudi Bus Tampak Atas .....	62
Gambar 3.4	Kabin Pengemudi Bus Tampak Samping .....	62
Gambar 3.5	Kabin Pengemudi Bus Tampak Depan .....	63
Gambar 3.6	<i>Pie Chart</i> Kegiatan dengan Frekuensi dan Beban Tinggi pada Pengemudi .....	69
Gambar 3.7	Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi .....	70
Gambar 3.8	Standar Internasional untuk Pedal Bus .....	73
Gambar 3.9	Standar Internasional untuk Setir Kemudi Bus .....	75
Gambar 3.10	Model Kabin Pengemudi Bus Aktual .....	83
Gambar 3.11	<i>Dialog Box Build Human</i> .....	84
Gambar 3.12	<i>Virtual Human</i> dengan Persentil 5 .....	85
Gambar 3.13	Postur pada <i>Posture Library</i> .....	86
Gambar 3.14	Pembuatan Postur Tubuh dengan <i>Human Control</i> .....	87
Gambar 3.15	Pembuatan Postur Tangan dengan <i>Hand Postures</i> .....	87
Gambar 3.16	Tampilan Jendela Animasi .....	88
Gambar 3.17	Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri model Manusia Digital .....	89
Gambar 3.18	Uji Analisis Unit Variabel Durasi Waktu pada <i>Animation System</i> .....	89
Gambar 3.19	Analisis SSP Sebelum Diberikan Beban Ekstrim .....	90
Gambar 3.20	Analisis SSP Setelah Diberikan Beban Ekstrim .....	91

Gambar 3.21	Analisis LBA Sebelum Diberikan Beban Ekstrim.....	91
Gambar 3.22	Analisis LBA Setelah Diberikan Beban Ekstrim.....	92
Gambar 3.23	Analisis RULA Sebelum Diberikan Beban Ekstrim.....	92
Gambar 3.24	Analisis RULA Setelah Diberikan Beban Ekstrim .....	93
Gambar 3.25	Analisis OWAS Sebelum Diberikan Beban Ekstrim.....	93
Gambar 3.26	Analisis OWAS Setelah Diberikan Beban Ekstrim .....	94
Gambar 3.27	<i>Dialog box Loads and Weight</i> .....	95
Gambar 3.28	Grafik SSP Pengemudi dengan Postur Setir dan Gas Persentil 5 pada Kondisi Aktual .....	96
Gambar 3.29	Hasil Analisis LBA pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada <i>Virtual Human</i> dengan Persentil 5 .....	97
Gambar 3.30	Hasil Analisis OWAS pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada <i>Virtual Human</i> dengan Persentil 5 .....	97
Gambar 3.31	Hasil Analisis RULA pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada <i>Virtual Human</i> dengan Persentil 5 .....	98
Gambar 3.32	Hasil Analisis <i>Comfort Assessment</i> pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada <i>Virtual Human</i> dengan Persentil 5 .....	99
Gambar 4.1	Model Simulasi Aktual Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas dengan Persentil 5, 50, dan 95	102
Gambar 4.2	Perbandingan Nilai LBA pada Persentil 5, 50, dan 95 .....	105
Gambar 4.3	Perbandingan Nilai OWAS pada Persentil 5, 50, dan 95 .....	106
Gambar 4.4	Perbandingan <i>Comfort Assessment</i> pada Persentil 5, 50, dan 95	109
Gambar 4.5	Model Simulasi Aktual Pada Pergantian Gigi dengan Persentil 5, 50, dan 95 .....	110
Gambar 4.6	Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan 95.....	113
Gambar 4.7	Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan 95 .....	114
Gambar 4.8	Perbandingan <i>Comfort Assessment</i> Persentil 5, 50, dan 95 .....	117
Gambar 4.9	Perbandingan Nilai PEI pada Kondisi Aktual .....	118
Gambar 4.10	Nilai OWAS pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5.....	121
Gambar 4.11	Perbandingan <i>Comfort Assessment</i> pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5 .....	122
Gambar 4.12	Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5 .....	125
Gambar 4.13	Nilai OWAS pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95.....	126
Gambar 4.14	<i>Comfort Assessment</i> pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95 .....	128
Gambar 4.15	Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95 .....	131
Gambar 4.16	Nilai OWAS Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5.....	133
Gambar 4.17	<i>Comfort Assessment</i> Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5.....	134
Gambar 4.18	Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5 .....	137
Gambar 4.19	Nilai OWAS Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95.....	138

Gambar 4.20	<i>Comfort Assessment</i> Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95.....	140
Gambar 4.21	Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95 .....	142
Gambar 4.22	Perbandingan Posisi Setir Pada Bus dan Kendaraan Lain .....	144
Gambar 4.23	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Proses Kemudi dan Gas .	145
Gambar 4.24	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Proses Pergantian Gigi...	148



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pembobotan Nilai pada OWAS .....	47
Tabel 2.2	Pembobotan Nilai pada RULA .....	50
Tabel 2.3	Dimensi dan <i>Adjustment Range</i> Tempat Duduk Pengemudi Bus .....	53
Tabel 3.1	Dimensi Kabin Pengemudi Bus .....	63
Tabel 3.2	Data Antropometri Pengemudi Bus .....	64
Tabel 3.3	Persentil Data Antropometri Pengemudi Bus .....	68
Tabel 3.4	Standar Internasional untuk Tempat Duduk Pengemudi Bus .....	71
Tabel 3.5	Data Antropometri untuk Tempat Duduk Pengemudi Bus .....	72
Tabel 3.6	Desain Tempat Duduk Pengemudi Aktual dan Konfigurasi Usulan .....	72
Tabel 3.7	Data Antropometri untuk Pedal Bus .....	73
Tabel 3.8	Desain Pedal bus Aktual dan Konfigurasi Usulan .....	74
Tabel 3.9	Datar Antropometri untuk Setir Kemudi Bus .....	75
Tabel 3.10	Desain Setir Kemudi Bus Aktual dan Konfigurasi Usulan .....	76
Tabel 3.11	Rangkuman Konfigurasi Usulan Kabin Pengemudi Bus .....	80
Tabel 3.12	<i>SSP Capability Summary Chart</i> Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas Persentil 5 pada Kondisi Aktual .....	96
Tabel 3.13	Resume Nilai LBA, OWAS, dan RULA .....	100
Tabel 4.1	<i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 5 Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas .....	103
Tabel 4.2	<i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 50 Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas .....	103
Tabel 4.3	<i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 95 Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas .....	104
Tabel 4.4	Perbandingan Nilai RULA pada Persentil 5, 50, dan 95 .....	106
Tabel 4.5	Rekapitulasi Nilai Kondisi Aktual Pengemudi Mengemudikan Setir dan Menginjak Pedal Gas .....	109
Tabel 4.6	<i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 5 Saat Pergantian Gigi .....	111
Tabel 4.7	<i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 50 Saat Pergantian Gigi .....	111
Tabel 4.8	<i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 95 Saat Pergantian Gigi .....	112
Tabel 4.9	Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, 50, dan 95 .....	114
Tabel 4.10	Rekapitulasi Nilai Kondisi Aktual Saat Pergantian Gigi .....	117
Tabel 4.11	Perbandingan Nilai LBA pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5 .....	120
Tabel 4.12	Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5 .....	121
Tabel 4.13	Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5 .....	124

Tabel 4.14	Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95 .....	125
Tabel 4.15	Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95.....	127
Tabel 4.16	Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95 .....	130
Tabel 4.17	Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5 .....	132
Tabel 4.18	Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5 .....	133
Tabel 4.19	Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5.....	136
Tabel 4.20	Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95 .....	137
Tabel 4.21	Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95 .....	139
Tabel 4.22	Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95.....	142
Tabel 4.23	Rekapitulasi Nilai PEI Konfigurasi Usulan .....	143
Tabel 4.24	Perbandingan Nilai Analisis Pengemudi Persentil 5 .....	144
Tabel 4.25	Perbandingan Nilai Analisis Pengemudi Persentil 95 .....	144
Tabel 4.26	Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Usulan pada Kedua Persentil	145
Tabel 4.27	Perbandingan <i>Comfort Assessment</i> pada Kondisi Aktual dan Usulan .....	146
Tabel 4.28	Perbandingan Nilai Analisis pada Proses Pergantian Gigi Persentil 5.....	147
Tabel 4.29	Perbandingan Nilai Analisis pada Proses Pergantian Gigi Persentil 95.....	147
Tabel 4.30	Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Usulan pada Proses Pergantian Gigi Kedua Persentil.....	147
Tabel 4.31	Perbandingan <i>Comfort Assessment</i> pada Kondisi Aktual dan Usulan Proses Pergantian Gigi.....	148

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan, outcome, dan manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

### **1.1 Latar Belakang**

Berdasarkan data dari Dinas Perhubungan Provinsi DKI Jakarta, terdapat 22.827 bus kota yang beroperasi di Jakarta pada tahun 2008 yang berasal dari 20 perusahaan. Dengan banyaknya bus kota yang beroperasi di Jakarta, maka persaingan antar armada pada rute yang sama semakin tajam. Untuk melayani kebutuhan penumpang yang ingin cepat, maka beberapa perusahaan tersebut mengoperasikan bus-bus Patas pada rute-rute tertentu. Menurut Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Bus Patas adalah bus biasa yang beroperasi dengan pemberhentian terbatas di jalan khusus bus atau lalu lintas campuran di jalan bebas hambatan atau arteri. Konsep bus Patas ini sendiri dikeluarkan pada tahun 1990-an dengan kepanjangan dari cepat dan terbatas. Dimana cepat artinya bus hanya berhenti di terminal ke terminal saja, dilarang menaikkan penumpang di sembarang tempat, sedangkan terbatas artinya bus tidak diperkenankan untuk memiliki penumpang melebihi kapasitas atau tidak diijinkan bagi penumpang untuk berdiri.

Dengan tajamnya persaingan antar armada, maka kinerja angkutan bus tersebut perlu diperhatikan. Kinerja angkutan bus tidak terlepas dari kinerja pengemudi bus itu sendiri. Hal ini dikarenakan penumpang cenderung untuk menilai kinerja perusahaan angkutan bus kota dari kinerja pengemudi bus itu sendiri. Sebagai ujung tombak penilaian kinerja angkutan bus, kenyamanan dan kesehatan pengemudi bus perlu diperhatikan sehingga pengemudi dapat memberikan pelayanan yang optimal kepada masyarakat.

Pengemudi bus kota memiliki jam kerja rata-rata  $\pm$  18 jam/hari dengan sistem hari kerja dua hari kerja lalu satu hari libur. Selama lebih dari  $\frac{1}{2}$  waktu kerja pengemudi dihabiskan untuk mengemudikan bus dimana mengharuskan

pengemudi berada dalam postur duduk. Menurut Johansen et al., (2002) postur duduk dapat mendorong ke arah ketidaknyamanan dan timbulnya penyakit (sakit punggung, sakit leher dan pundak) yang menyebabkan kerugian besar melalui kesalahan kerja dan mengurangi efektifitas serta produktifitas kerja. Hal ini dikuatkan oleh Okunribido et al., (2006) yang mengatakan bahwa postur duduk yang dilakukan dalam proporsi yang tinggi dari tugas pelayanan rute mengemudi dan durasi yang panjang (lebih dari dua jam) biasanya dilaporkan sebagai pemicu timbulnya rasa sakit pada otot.

Dalam mengemudikan bus, pengemudi melakukan kontrol terhadap roda kemudi (setir), tuas gigi persneling, dan pedal serta memperhatikan kaca spion secara berulang-ulang. Menurut Szeto et al., (2007) Tindakan-tindakan tersebut apabila dilakukan secara berulang-ulang dan dengan lamanya waktu melakukan tugas tersebut (mengemudi) akan menambah beban kumulatif pada sendi leher dan pundak. Beban kumulatif pada sendi yang berkepanjangan dapat menimbulkan rasa sakit.

Selain itu, armada bus Patas yang ada sekarang ini sepertinya dalam proses perancangannya belum memperhatikan antropometri pengemudi Indonesia, sehingga terjadi ketidaksesuaian ergonomi antara pengemudi dengan kabin pengemudi. Ketidaksesuaian antara komponen-komponen kabin pengemudi bus dengan antropometri pengemudi bus akan membawa pengemudi melakukan postur-postur yang buruk, misalnya membungkuk. Hal ini dapat dilihat dari gambar dibawah ini.



**Gambar 1.1** Pengemudi Bus Patas

Menurut Szeto et al., (2007) Duduk dalam waktu yang panjang, ketidaksesuaian antropometri pengemudi dengan dimensi kursi dapat menambah beban kerja otot seperti halnya lebih besar beban kerja tulang sendi yang terlibat dalam mengoperasikan bus.

Timbulnya rasa sakit pada otot serta ketidaknyaman disebabkan oleh *musculoskeletal disorder*. Menurut Szeto, et al. (2007) Faktor fisik yang menyebabkan *work-related musculoskeletal disorder* adalah berada dalam posisi duduk dengan waktu yang lama, *whole body vibration* (WBV), ketidaksesuaian ergonomi antara pengemudi dan tempat duduk, tipe kendaraan, dan mekanisme dalam mengemudi. Dengan kondisi mengemudi seperti di atas, tidak heran apabila pengemudi bus Patas mengalami *musculoskeletal disorder* dengan adanya faktor yang berada di sekitar mereka.

Hal ini dikuatkan oleh Lis, et al. (2006) posisi duduk yang berkepanjangan yang dikombinasikan dengan postur yang tidak baik akan mengakibatkan *musculoskeletal disorder*. Postur yang tidak baik ini didefinisikan dengan posisi beban dan postur kurang baik, contohnya adalah posisi membungkuk ke depan, memutar tulang punggung. Selain itu, menurut Olanrewaju O. Okunribido (2006), dampak negatif dari ketidaknyamanan supir yang disebabkan oleh sakit otot (otot kaku, keseleo atau kejepit) yang dirasakan supir bus adalah ketidakmampuan untuk bekerja dengan optimal.

Dari hal tersebut diperlukan perancangan kabin pengemudi bus yang baik dimana pada dasarnya dapat mencegah timbulnya *musculoskeletal disorder* yang secara tipikal merupakan implikasi dari postur duduk yang buruk. Postur mengemudi harus menjamin visibilitas yang luas dan kemudahan untuk menjangkau semua kontrol dan display yang dimiliki oleh kendaraan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan rancangan kabin pengemudi harus memikirkan aspek tempat duduk pengemudi, *steering wheel*, pedal dan tuas gigi. Menurut Yamazaki (1992) desain kabin pengemudi sangat tergantung pada detail ergonomik yang tersedia untuk desain tempat duduk dan pendekatan kriteria yang digunakan untuk mengukur dan menganalisa interaksi antara pengemudi dan kendaraan. Sementara sampai saat ini, belum ada penelitian yang mendesain kabin pengemudi bus dengan mengedepankan aspek ergonomi. Sehingga penulis merasa perlu

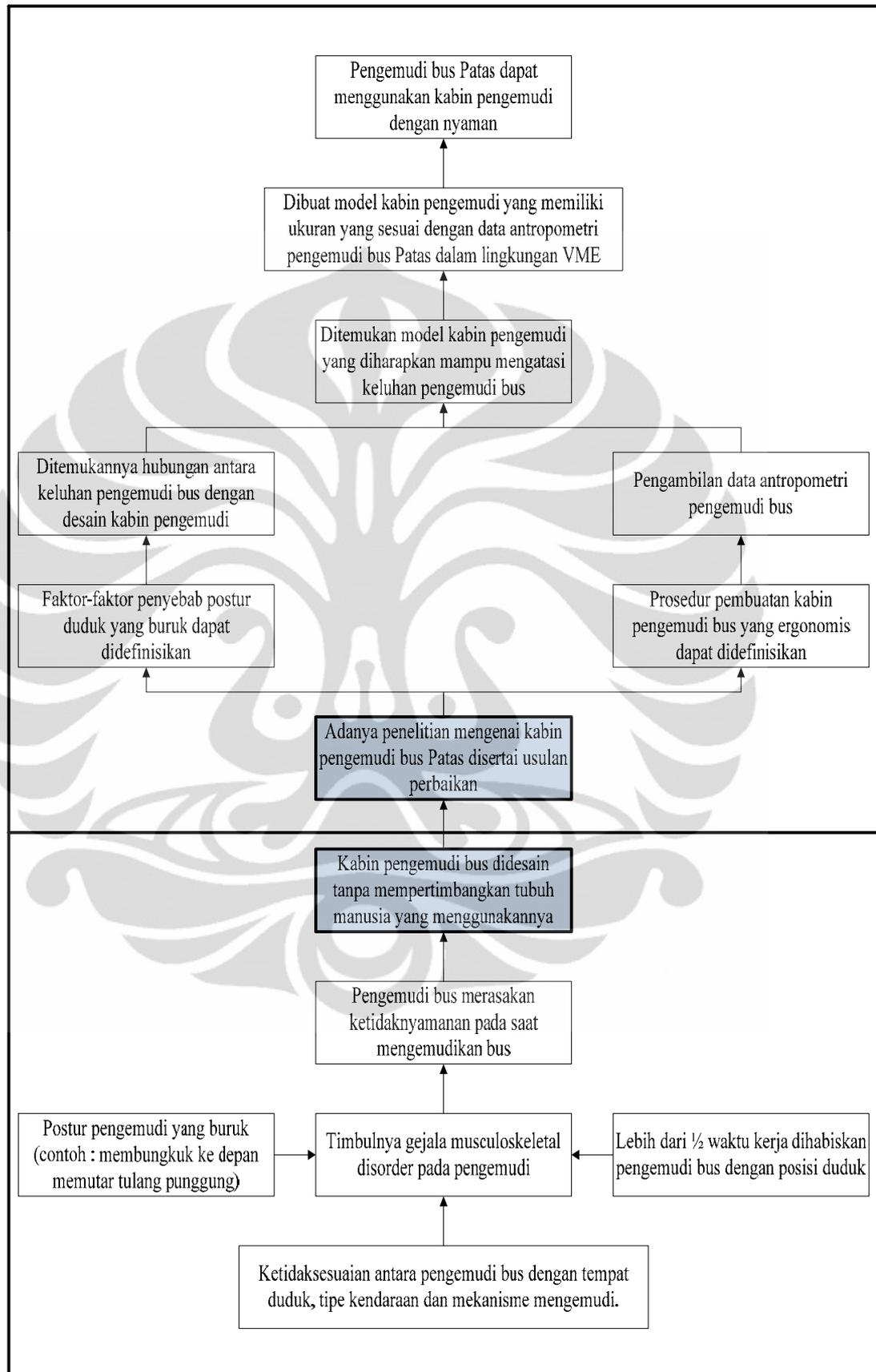
mengadakan penelitian untuk analisa desain kabin pengemudi bus yang ergonomis dan sesuai dengan antropometri orang Indonesia.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi virtual pada *software Jack* untuk mendapatkan rancangan desain kabin pengemudi bus Patas yang ideal bagi pengemudinya berdasarkan tinjauan nilai postur yang ergonomis. Metode simulasi virtual digunakan dalam membuat suatu rekomendasi penyesuaian pada kabin pengemudi agar kita tidak perlu melakukan penerapan secara langsung kepada subjek dan lingkungan yang aktual.

Hasil perbaikan dan usulan desain kabin supir bus yang ergonomis diharapkan akan menjadi acuan yang ideal bagi pengembangan rancangan kabin supir bus yang ada di Indonesia.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, dapat dibuat diagram keterkaitan masalah yang dapat dilihat pada **Gambar 1.2**. Diagram keterkaitan masalah merupakan kerangka berpikir sistematis mengenai topik penelitian dan pokok permasalahan serta tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini baik berupa *output* ataupun *outcome* solusi permasalahan. Diagram keterkaitan masalah akan memberikan gambaran secara keseluruhan mengenai hubungan interaksi antara sub-sub masalah yang melandasi penelitian ini.



**Gambar 1.2** Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 Perumusan Masalah

Dari diagram keterkaitan masalah (**Gambar 1.2**), diketahui bahwa pokok permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah perlunya dilakukan analisis terhadap postur mengemudi pengemudi bus pada kabin pengemudi bus Patas yang ada saat ini. Analisa tersebut akan dijadikan dasar usulan perbaikan kabin yang ergonomis dengan cara menentukan bentuk tempat duduk pengemudi, jarak antara tempat duduk pengemudi dengan setir dan tombol kontrol serta penempatan pedal dan tuas gigi dari kabin pengemudi bus yang akan diusulkan, yang paling ideal untuk pengemudi bus.

Penelitian ini dilakukan dengan memfokuskan pada dampak desain kabin pengemudi yang digunakan terhadap kemungkinan postur mengemudi bus. Postur mengemudi tersebut akan dianalisis dan dilihat apakah memenuhi sisi ergonomis yang ideal bagi pengemudi. Hasil analisis dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan model usulan kabin pengemudi yang ergonomis untuk pengemudi bus yang dapat mengurangi resiko *musculoskeletal disorder* sehingga memberikan kenyamanan bagi pengemudi pada saat mengemudikan bus.

### 1.4 Tujuan, Outcome, dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendefinisikan jenis gangguan yang terjadi pada pengemudi bus yang didapat dari postur mengemudi yang bermasalah, kemudian mendapatkan output berupa pembuatan model postur duduk pengemudi dan skor serta diagram analisa penilaian postur mengemudi dengan menggunakan virtual human model dan virtual environment yang ada pada software ergonomi *Jack*.

Dari hasil analisa skor dan diagram analisa penilaian postur yang didapatkan, penelitian dilanjutkan untuk mendapatkan outcome berupa rekomendasi desain kabin ideal untuk pengemudi bus yaitu dari segi bentuk tempat duduk pengemudi, jarak antara tempat duduk pengemudi dengan setir dan tombol kontrol serta penempatan pedal dan tuas gigi berdasarkan data antropometri pengemudi bus.

Kemudian penelitian ini diharap agar dapat memberikan manfaat berupa postur mengemudi yang lebih baik ketika pengemudi mengemudikan bus

sehingga mengurangi timbulnya gangguan yang terjadi pada sistem *musculoskeletal* pengemudi serta dapat dijadikan sebagai acuan bagi para pengembang rancangan bus untuk pengemudi bus di Indonesia.

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

1. Objek penelitian adalah bus Mayasari Bhakti dengan spesifikasi mesin PHL (Patas Hyno Long) AK 3 HR.
2. Pengukuran antropometri dilakukan terhadap pengemudi bus Mayasari Bhakti di Pool Cijantung.
3. Kabin pengemudi terdiri dari bentuk tempat duduk pengemudi, jarak antara tempat duduk pengemudi dengan setir serta penempatan pedal dan tuas gigi.
4. Perancangan desain kabin pengemudi bus dilakukan dengan menggunakan *ergonomi tools* yang terdapat pada *Task Analysis Toolkit* dan *Occupant Packaging Toolkit*.
5. Penelitian hanya dibatasi sampai tahap perancangan desain, tidak sampai tahap realisasi desain kabin pengemudi bus, tidak sampai tahap realisasi desain kabin pengemudi bus dan tanpa mempertimbangkan faktor biaya.

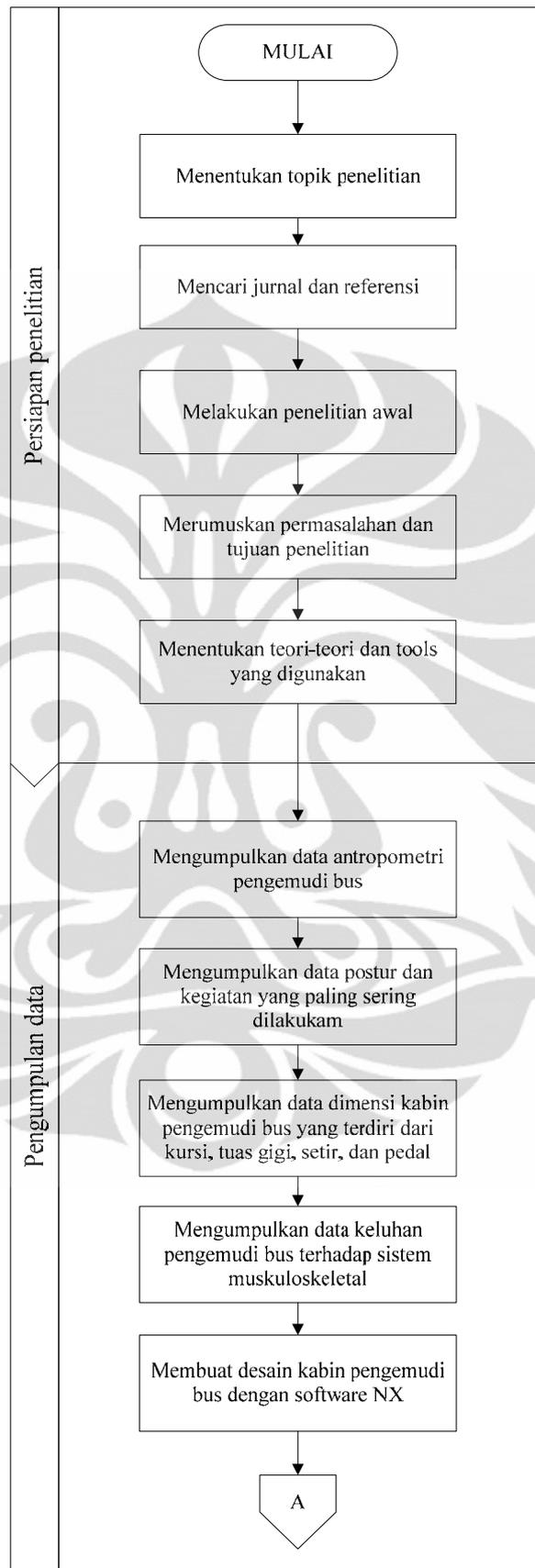
### **1.6 Metodologi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui tahapan-tahapan dan metode sebagai berikut :

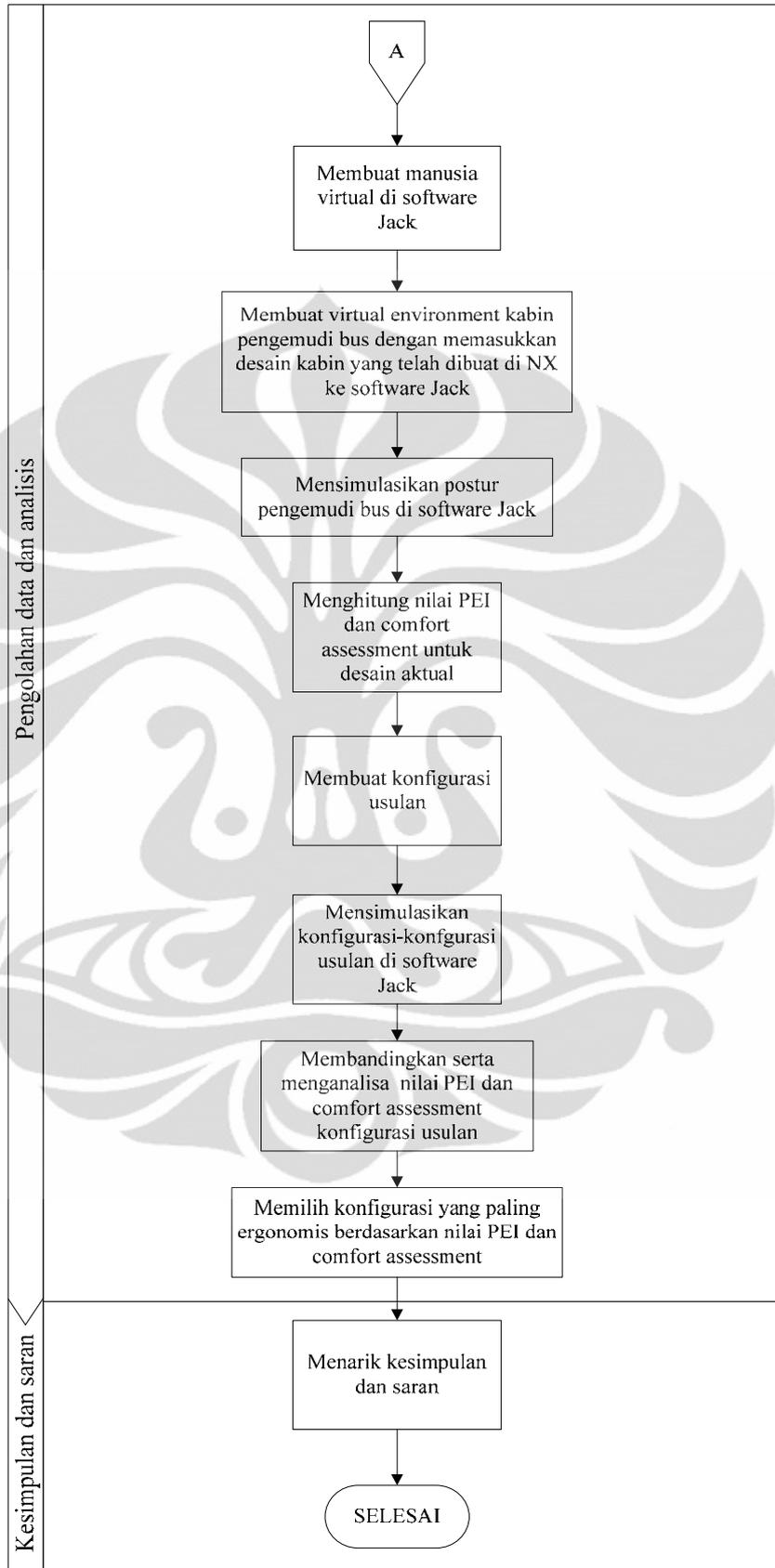
1. Tahap persiapan penelitian
  - a. Menentukan topik penelitian
  - b. Mencari jurnal dan referensi yang sesuai dengan topik penelitian
  - c. Melakukan penelitian awal ke objek penelitian untuk mendapatkan gambaran masalah secara keseluruhan
  - d. Merumuskan permasalahan, dan tujuan penelitian
  - e. Menentukan teori-teori dan alat analisis yang akan digunakan
2. Tahap pengumpulan data
  - a. Mengumpulkan data antropometri pengemudi bus
  - b. Melakukan observasi mengenai postur pengemudi serta kegiatan yang paling sering dilakukan pengemudi saat mengemudikan bus

- c. Mengukur dimensi kabin pengemudi yang terdiri dari kursi, setir, tuas gigi dan pedal.
  - d. Mengumpulkan data keluhan pengemudi bus terhadap sistem muskuloskeletal
  - e. Membuat desain kabin pengemudi bus dengan software NX.
3. Tahap pengolahan data dan analisis
- a. Membuat manusia virtual pada *software* Jack yang sesuai dengan antropometri pengemudi bus
  - b. Membuat virtual environment kabin pengemudi bus dengan memasukkan kabin pengemudi bus yang telah dibuat di NX ke *software* Jack.
  - c. Mensimulasikan postur pengemudi tersebut di *software* Jack.
  - d. Menghitung nilai PEI dan comfort assessment untuk desain kabin pengemudi bus yang aktual
  - e. Membuat konfigurasi-konfigurasi kabin pengemudi bus usulan yang lebih ergonomis, yang disesuaikan dengan data antropometri pengemudi, data keluhan dan hasil simulasi desain awal.
  - f. Mensimulasikan konfigurasi-konfigurasi usulan di *software* jack, hingga mengetahui nilai PEI dan confort assessment.
  - g. Membandingkan nilai PEI dan confort assessment konfigurasi-konfigurasi usulan, kemudian menganalisa dan memilih konfigurasi yang paling ergonomis.
4. Tahap penarikan kesimpulan dan saran
- a. Merangkum poin penting hasil penelitian
  - b. Mengajukan saran untuk perusahaan dan penelitian ke depannya.

Tahapan-tahapan diatas selanjutnya ditransformasikan menjadi Diagram Alir Metodologi Penelitian pada **Gambar 1.3** dibawah ini:



**Gambar 1.3** Diagram Metodologi Penelitian



**Gambar 1.3** Diagram Metodologi Penelitian (Sambungan)

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini terbagi dalam lima bab, yaitu bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Tinjauan Pustaka, Bab 3 Pengumpulan Data, Bab 4 Pengolahan Data dan Analisa Permasalahan dan Bab 5 Kesimpulan.

### Bab 1 Pendahuluan

Bab pendahuluan ini merupakan pengantar yang menjelaskan isi penelitian untuk menjelaskan isi penelitian secara garis besar. Bab ini berisikan latar belakang pemilihan topik penelitian, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan, *outcome* serta manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

### Bab 2 Dasar Teori

Bab tinjauan pustaka ini berisikan landasan teori yang diantaranya membahas ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorder*, *virtual environment*, *tools* analisis ergonomi pada *software Jack*, PEI (*Posture Evaluation Index*).

### Bab 3 Pengumpulan Data

Bab pengumpulan data ini berisikan seluruh data yang berhubungan serta menunjang proses penelitian, seperti aktivitas yang dilakukan pengemudi, karakteristik pengemudi, data spesifikasi kabin pengemudi bus, data observasi yang berisikan postur tubuh pengemudi untuk setiap tugas, data antropometri pengemudi bus, serta kuesioner kesehatan.

### Bab 4 Pengolahan Data dan Analisa Permasalahan

Bab pengolahan data dan analisa permasalahan berisikan pembuatan model simulasi dengan menggunakan *software Jack* yang berdasarkan data-data yang didapat serta pembuatan konfigurasi desain yang sesuai dengan kebutuhan pengemudi. Hasil pembuatan simulasi dan desain konfigurasi tersebut dianalisa dengan menggunakan *Jack Task Analysis* dan *Occupant Packaging Toolkit*. Dari hasil analisa permasalahan, akan didapat rancangan kursi pengemudi yang ergonomis.

### Bab 5 Kesimpulan

Bab kesimpulan ini berisikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dicapai.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

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 mengemudi, virtual environment, *software* UGS NX 6.0, *software* Jack, metode PEI, dan kabin pengemudi bus.

#### 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:

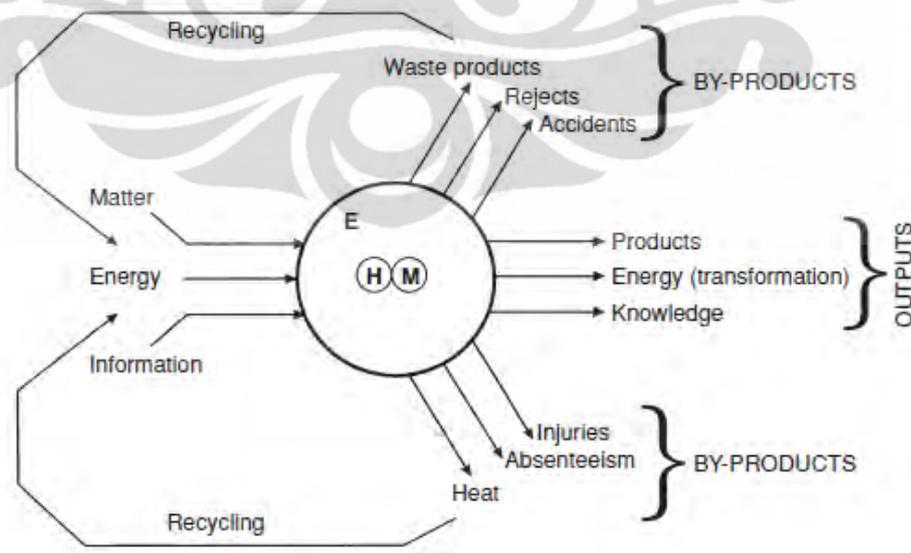
- Merancang *user-interface* menjadi lebih kompatibel dengan tugas dan pengguna. Hal ini dapat membuat mesin tersebut lebih mudah digunakan dan lebih tahan terhadap kesalahan yang manusia lakukan.
- Merubah lingkungan kerja menjadi lebih aman dan lebih sesuai dengan tugas
- Merubah tugas menjadi lebih 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.

Fokus dari ergonomi adalah pada interaksi antara manusia dengan mesin dan desain *interface* antara keduanya. **Gambar 2.1** menggambarkan tentang interaksi antara manusia dan mesin serta lingkungan kerja.



**Gambar 2.1** Sistem Kerja Sederhana

(Sumber: Bridger.R.S, Introduction to Ergonomics 2<sup>nd</sup> edition, Taylor & Francis Group, London and New York, 2003)

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

McCormick (1993) menggunakan istilah *human factor* untuk mengistilahkan ergonomi dan mendefinisikan *human factor* dalam kaitannya dengan fokus, tujuan dan pendekatannya terhadap *human factor*. Ketiga hal tersebut dapat dilihat dibawah ini:

1. Fokus *human factor* adalah pada manusia serta interaksi mereka dengan produk, perlengkapan, fasilitas, prosedur, dan lingkungan yang digunakan pada saat bekerja dalam kehidupan sehari-hari. *Human factor* lebih ditekankan pada faktor manusianya dibandingkan ilmu teknik yang lebih menekankan pada faktor-faktor non-teknis. *Human factor* mencari jalan untuk mengubah peralatan yang digunakan manusia dan lingkungan dimana manusia menggunakan peralatan tersebut menjadi lebih baik yang sesuai dengan kemampuan, keterbatasan, dan kebutuhan manusia.
2. *Human factor* memiliki dua tujuan utama yaitu meningkatkan efektivitas dan efisiensi pekerjaan dan aktivitas lain yang dilakukan serta meningkatkan nilai-nilai tertentu yang diinginkan dari pekerjaan tersebut, termasuk memperbaiki keselamatan, mengurangi kelelahan dan stres, meningkatkan kenyamanan, penerimaan pengguna yang lebih baik, meningkatkan kepuasan kerja dan memperbaiki kualitas hidup.

3. Pendekatan *human factor* adalah pendekatan aplikasi sistematis dari informasi yang berhubungan dengan kapasitas manusia, keterbatasan, karakteristik, perilaku motivasi untuk mendesain benda dan lingkungan yang digunakan oleh manusia. Hal ini termasuk penelitian investigasi untuk melihat informasi antara manusia dengan lingkungan, dan benda-benda disekitarnya.

Dengan menggabungkan ketiga elemen penting diatas (fokus, tujuan dan pendekatan), Chapanis (1985) mengatakan bahwa *human factor* mempertemukan dan menggunakan informasi tentang perilaku manusia, kemampuan, keterbatasan, dan karakteristik lain untuk desain alat, mesin, sistem, tugas, pekerjaan, dan lingkungan untuk mencapai produktifitas, keselamatan, kenyamanan dan penggunaan manusia yang efektif.

Disiplin ilmu ergonomi di pengaplikasiannya dikelompokkan atas empat bidang penelitian (Sutalaksana, 1982), yang antara lain:

1. Penelitian tentang tampilan ( *display* ).

Tampilan (*display*) adalah suatu perangkat antara (*interface*) yang menyajikan informasi tentang keadaan lingkungan, dan mengkomunikasikannya pada manusia dalam bentuk tanda-tanda, angka, lambang dan sebagainya.

2. Penelitian tentang kekuatan fisik manusia

Penelitian ditujukan pada aktivitas-aktivitas manusia ketika bekerja, dan kemudian dipelajari cara mengukur aktivitas-aktivitas tersebut.

3. Penelitian tentang ukuran tempat kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan tempat kerja yang sesuai dengan ukuran (dimensi) tubuh manusia, agar diperoleh tempat kerja yang baik, yang sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia sekaligus memberikan kenyamanan yang optimal.

4. Penelitian tentang lingkungan kerja.

Penelitian ini meliputi kondisi fisik lingkungan tempat kerja dan fasilitas kerja yang mempengaruhi kondisi fisik manusia seperti intensitas cahaya, kebisingan, temperatur, getaran, kelembapan, dll.

Berdasarkan bidang – bidang penelitian tersebut, maka penelitian ergonomi membutuhkan pengetahuan – pengetahuan lainnya seperti:

- a. Anatomi dan fisiologi manusia, yaitu ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi tubuh manusia.
- b. Antropometri, yaitu ilmu mengenai ukuran/dimensi tubuh manusia.
- c. Fisiologi psikologi, yaitu ilmu yang mempelajari sistem saraf dan otak manusia.
- d. Psikologi eksperimen, yaitu ilmu mempelajari tingkah laku manusia.

## **2.2 Work-related Musculoskeletal Disorder (WMSD)**

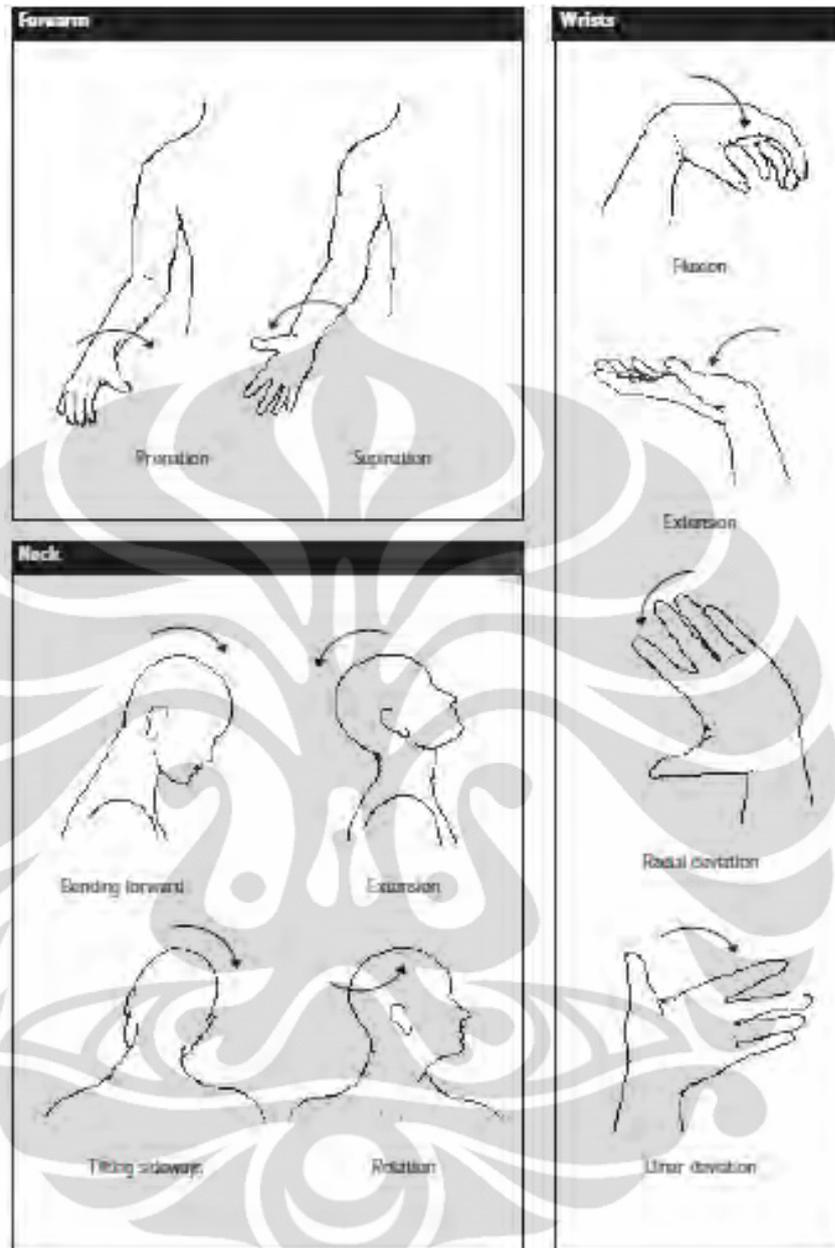
Pada saat otot, urat daging, urat syaraf atau tulang sendi mengalami tekanan dan terluka dikarenakan aktivitas yang dilakukan secara berulang-ulang selama sehari-hari, berbulan-bulan ataupun bertahun-tahun, maka jaringan yang terdapat dalam tubuh pada akhirnya akan mengalami kerusakan. Hal ini mengarah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

Meurut Putz-Anderson (2005), WMSDs, RSIs, CTD merupakan tipe cedera yang disebabkan oleh gerakan yang berulang-ulang serta menimbulkan efek kumulatif yang menyebabkan cedera tersebut dapat bertambah setelah beberapa periode waktu berjalan. Hal ini dikuatkan dengan pernyataan Franco dan Fusetti (2004) yang mengatakan bahwa WMSD merupakan hasil dari gerakan tangan yang berulang-ulang dengan postur tubuh yang terbatas, dan tekanan mental yang berlebihan.

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, pergelangan tangan, jari, lengan, bahu, atau lengan, 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 menuntut. 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. Dibawah ini adalah postur-postur dasar untuk setiap tulang sendi :



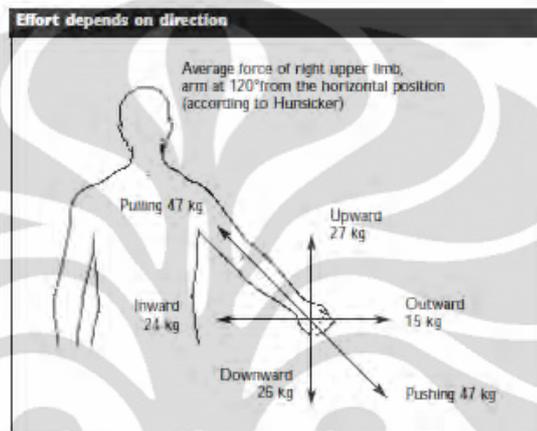
**Gambar 2.2** Postur Dasar

(sumber : Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): a better understanding for more effective prevention, 1996)

Usaha dan kekuatan (*effort and force*) merupakan kata-kata yang sulit untuk didefinisikan. Apabila kata tersebut digambarkan dengan sebuah keadaan kerja adalah sebagai berikut kekuatan lebih kearah pekerjaan yang mengeluarkan tenaga seperti mengangkat beban, menarik tali, dll atau dapat dikatakan bahwa kekuatan dapat diukur dari sistem *muskuloskeletal*. Sedangkan usaha (*effort*) merupakan biaya yang harus dibayar oleh badan untuk menggunakan kekuatan (*force*). Kekuatan (*force*) lebih sulit atau lebih mudah untuk dihasilkan, tergantung

**Universitas Indonesia**

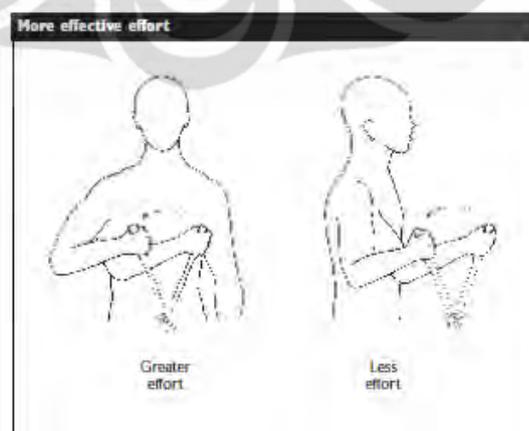
pada kelompok otot yang digunakan. Jika otot mayor seperti lengan bawah yang digunakan, akan lebih mudah unyuk memberikan kekuatan karena otot tersebut sangat kuat. Namun, apabila kekuatan dihasilkan dari otot yang lebih kecil maka usaha yang dikeluarkan harus lebih besar. Oleh karena itu, bila kekuatan yang digunakan tidak signifikan, masih ada resiko timbulnya usaha yang dilakukan oleh otot yang kecil.



**Gambar 2.3** Usaha Tergantung pada Arah

(sumber : Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): a better understanding for more effective prevention, 1996)

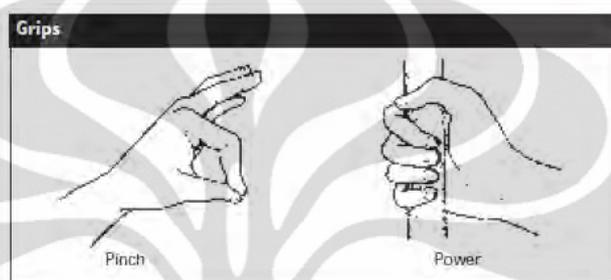
Kelompok otot yang sama dapat memproduksi kekuatan maksimum yang berbeda tergantung pada arah kekuatan tersebut. Hal ini dikatenakan geometri dari struktur internal yang bervariasi pada arah. Hal ini dapat dilihat dari gambar dibawah ini:



**Gambar 2.4** Usaha yang Lebih Efektif

(sumber : Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): a better understanding for more effective prevention, 1996)

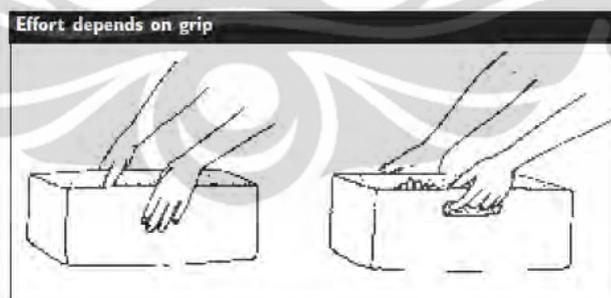
Kekuatan juga dibuat berdasarkan kualitas genggaman pada objek, mulai dengan sifat dasar dari genggaman. Pada dasarnya terdapat dua tipe utama dari genggaman yaitu genggaman tenaga dan genggaman cubitan. Genggaman tenaga mengikutsertakan telapak tangan dan semua jari sehingga genggaman jenis ini paling bertenaga dan genggaman yang paling tepat untuk menghasilkan tenaga. Sedangkan pada genggaman cubitan objek tidak dapat dicakup sehingga kekuatan yang dihasilkan akan lebih kecil.



**Gambar 2.5** Genggaman

(sumber : Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): a better understanding for more effective prevention, 1996)

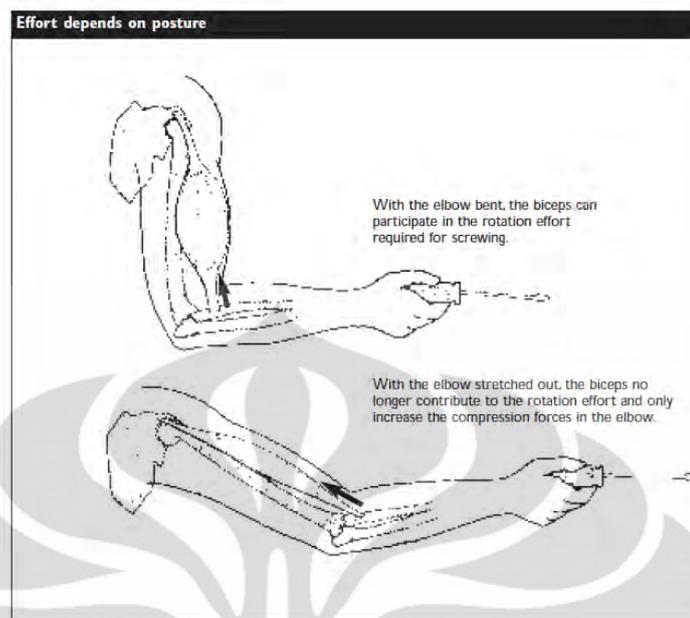
Hal serupa juga terjadi pada penempatan tangan untuk mengangkat beban atau memindahkan beban. Usaha yang diperlukan akan lebih besar ketika memegang objek dengan permukaan yang licin atau bentuk yang aneh yang membuat pekerja kesulitan untuk memegangnya dengan baik.



**Gambar 2.6** Usaha Tergantung pada Genggaman

(sumber : Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): a better understanding for more effective prevention, 1996)

Postur yang digunakan pada saat mengeluarkan tenaga juga memengaruhi usaha yang harus digunakan. Hal ini dapat dilihat melalui gambar dibawah ini :



**Gambar 2.7** Kekuatan Tergantung pada Postur

(sumber : Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): a better understanding for more effective prevention, 1996)

Kerja muscular statis (*static muscular work*) melibatkan kegiatan yang memendekkan otot secara terus menerus tanpa berhenti. Hal ini merupakan keterbalikan dari kerja muscular dinamis (*dynamic muscular work*) dimana terjadi pergantian antara pemendekkan dan pemanjangan otot secara selang-seling.

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 dikarena 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 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 Nurmiyanto (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 komputer
- 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 : ukuran tinggi badan, tinggi siku duduk, tinggi pantat popliteal, berat badan, dan lain-lain.

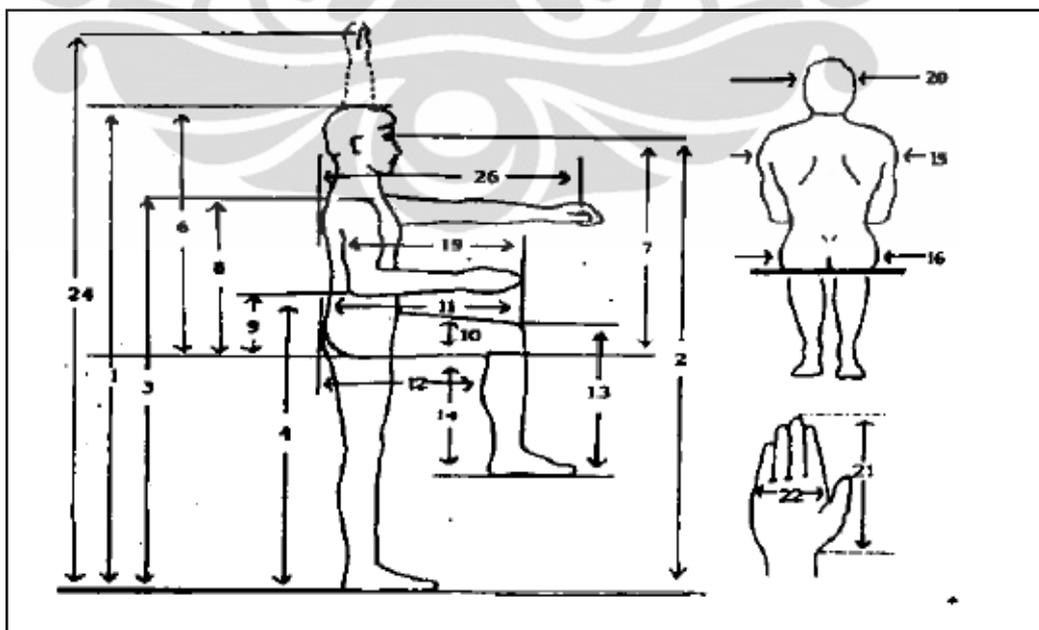
2. Antropometri fungsional / dinamis

Merupakan pengukuran posisi anggota badan sebagai hasil dari gerakan tubuh. Contoh : sudut putar pergelangan tangan, sudut putar kepala, dan lain-lain.

3. 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 2.8** Antropometri Tubuh Manusia yang Diukur Dimensinya

(Sumber : Stevenson, 1989; Nurmiyanto 1991)

Universitas Indonesia

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; Nurmianto, 1991) :

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

b. 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.

c. 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.

d. 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.

e. 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.

f. 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.

g. Faktor Kehamilan pada Wanita

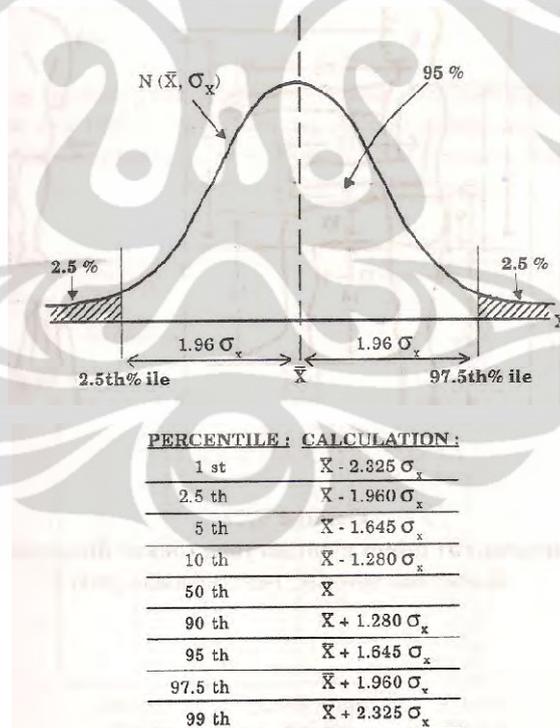
Faktor ini sudah jelas akan mempunyai pengaruh perbedaan yang berarti kalau dibandingkan dengan wanita yang tidak hamil, terutama yang berkaitan dengan analisis perancangan produk (APP) dan analisis perancangan kerja (APK).

h. 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 2.9** Distribusi Normal dan Perhitungan Percentil

(Sumber : Stevenson, 1989; Nurmiyanto 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 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 5<sup>th</sup> sampai dengan 95<sup>th</sup> *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 Postur Mengemudi Bus**

Postur mengemudi yang dilakukan oleh pengemudi bus seharusnya mempertimbangkan faktor *musculoskeletal* dan biomekanikal, serta menjamin semua kegiatan yang dilakukan pada saat mengemudi berada dalam jarak

jangkauan yang nyaman. Postur duduk pengemudi tergantung pada desain tempat duduk, kebiasaan duduk pengemudi dan aktivitas yang dilakukan oleh pengemudi. Postur duduk didefinisikan sebagai posisi badan dimana berat tubuh dibebankan pada bagian *ischial tuberosities* di tulang panggul. Pertimbangan mengenai biomekanika pada postur duduk adalah pada bagian tulang belakang, lengan, dan kaki. Otot pada bagian belakang paha mempengaruhi posisi dari tulang belakang dan tulang panggul. Lokasi dan kemiringan dari area kerja pengemudi mempengaruhi posisi leher, bahu, dan bagian atas kaki dan tangan ketika pengemudi berada dalam postur duduk. Oleh karena itu, selain tempat duduk pengemudi, pekerjaan yang dilakukan oleh pengemudi sangat penting untuk menjadi pertimbangan dalam mendesain kabin pengemudi bus. Posisi mengemudi statis yang dilakukan oleh pengemudi terdiri dari posisi ketika pengemudi mengendalikan setir pada posisi jam 3 dan 9 serta kaki kanan berada diatas pedal gas. Posisi mengemudi dinamis yang dilakukan oleh pengemudi didefinisikan sebagai pemeliharaan batang tubuh dalam posisi statis, dimana pengemudi mengendalikan setir, mengoperasikan tombol kontrol dengan tangan kanan dan panel dengan tangan kiri, serta pengemudi menginjak pedal gas atau kopling.

Posisi atau postur tubuh dianggap sebagai posisi yang tepat ketika beban tubuh pengemudi yang ditransmisikan ke tempat duduk memberikan tekanan pada tubuh sesedikit mungkin. Tumpuan untuk kepala, bahu, dan tempat duduk seharusnya dapat menerima beban dari kepala, tulang belakang, dan paha, ketika beban dari betis dan kaki dikirimkan ke lantai, tumpuan kaki, atau pedal.

Dikarenakan banyak faktor yang perlu dipertimbangkan untuk postur mengemudi bus, tidak ada yang namanya postur ideal dalam mengemudikan bus. Namun ada beberapa faktor yang dapat meminimalisir tekanan pada *musculoskeletal*, diantaranya:

- Tempat duduk pengemudi seharusnya dapat membuat pengemudi melakukan perubahan dalam postur duduk
- Tersedianya *Adjustable* sandaran punggung yang luas
- Permukaan tempat duduk seharusnya dapat menampung beban yang ditansmisikan oleh tubuh
- Penyesuaian pada tinggi dan sudut tempat duduk mudah dilakukan

Tinggi dan sudut inklinasi pada tempat duduk, serta dikombinasikan dengan posisi, bentuk dan sudut inklinasi sandaran punggung akan mempengaruhi postur duduk pengemudi. Tekanan pada punggung bawah dapat berkurang dengan penggunaan sandaran punggung. Faktor yang paling penting dalam mengurangi tekanan pada punggung bawah adalah sudut inklinasi pada sandaran tempat duduk. Apabila pengemudi menyandarkan punggungnya, maka beban pada tulang belakang serta tegangan statis pada otot punggung dan bahu akan berkurang. Hal ini berkaitan dengan beban pada tulang belakang akan lebih besar ketika seseorang duduk dibandingkan ketika seseorang berdiri. Ketika seseorang duduk, elemen bokong pada tulang belakang memiliki beban yang lebih besar melalui cakram tulang belakang. Dengan begitu, ketika pekerjaan yang dilakukan pada saat duduk, resiko kerusakan pada cakram tulang belakang akan lebih besar. Oleh karena itu, sangat penting untuk mempertimbangkan desain fitur tempat duduk yang mempengaruhi beban pada cakram tulang belakang. Tekanan pada cakram tulang belakang berkurang ketika sudut sandaran punggung bertambah. Penambahan pada tingkat sandaran lumbar akan mengurangi tekanan pada cakram tulang belakang.

Penyesuaian tempat duduk pada tinggi dan sudut tempat duduk membantu untuk menyokong posisi tulang belakang, bahu, leher, dan kaki untuk mengurangi tegangan pada otot, tendon dan cakram. Tinggi tempat duduk seharusnya dapat disesuaikan dengan antropometri pengemudi, sehingga kaki pengemudi dapat diposisikan dengan baik pada lantai dengan tekanan minimal di bawah paha.

Tumpuan kaki sangat penting untuk mendistribusikan dan mengurangi beban pada bokong dan belakang paha. Tekanan pada bagian depan paha, dapat menyebabkan bengkak pada kaku dan tekanan pada urat syaraf pada pinggang.

Ketika tempat duduk terlalu rendah, sudut *flexion* pada lutut menjadi lebih besar dan beban pada tulang belakang ditransfer pada permukaan tempat duduk diatas *ischial tuberosities*. Sudut lutut dan pinggul yang besar dapat menimbulkan ketidaknyamanan dan tulang belakang akan mengalami *flexion* saat tulang panggul berrotasi ke belakang. Lebih lanjut lagi, organ perut akan tertekan ketika seseorang bersandar dengan posisi ke depan.

Ketika tempat duduk terlalu tinggi, kaki tidak dapat menjangkau lantai sehingga tekanan pada belakang tulang belakang menjadi lebih besar. Pengemudi cenderung mencondongkan tubuhnya ke depan bagian tempat duduk. Hal ini dilakukan akan kaki mendapatkan tumpuan, tetapi dapat menyebabkan sandaraan tempat duduk tidak digunakan dengan wajar untuk menyangga punggung.

Tempat duduk seharusnya cukup luas untuk membuat pengemudi melakukan perubahan pada postur duduk pengemudi. Hal ini menghindarkan pengemudi dari postur status dan mengakomodasi *range* yang lebar untuk ukuran pinggul pengemudi. Ujung dari tempat duduk seharusnya membentuk tepi yang dibulatkan sehingga tekanan pada bagian bawah paha berkurang yang dapat mempengaruhi aliran darah yang mengalir ke kaki dan tangan.

Berdasarkan hal-hal yang telah disebutkan sebelumnya, sangat penting untuk mendesain tempat duduk berdasarkan antropometri pengemudi bus, khususnya untuk menentukan dimensi tinggi, lebar, panjang dan slope tempat duduk.

## **2.5 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 komputer
- 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.

*Virtual Environment* dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam pengumpulan data dan penelitian (Roy C. Davies, 2000), antara lain :

- Operasi kerja di lingkungan yang berbahaya  
Merupakan simulasi kerja bagi orang-orang yang bekerja di tempat kerja yang mengandung unsur *radioactive* atau zat racun, serta orang-orang yang bekerja di luar angkasa dapat melakukan penanganan material yang sifatnya berbahaya.
- Visualisasi ilmiah  
*Virtual Environment* mendukung adanya *feedback* grafis secara *real-time* selama simulasi berlangsung sehingga peneliti dapat berkonsentrasi terhadap area-area penelitian yang penting.
- Kedokteran  
Dengan adanya *virtual environment* maka akan sangat memungkinkan untuk membuat tampilan pasien *virtual* yang realistis. Simulasi fisiologis tubuh manusia ini dapat digunakan untuk mengetahui efek dari berbagai penyakit dan juga penggantian organ terhadap tubuh manusia seperti layaknya yang terjadi di dunia nyata.
- Rehabilitasi dan bantuan untuk orang-orang cacat  
Penelitian yang ada menunjukkan bahwa *virtual environment* dapat digunakan untuk membuat kotak dialog berdasarkan isyarat tangan. Kotak dialog ini dibuat berdasarkan *American Sign Language* dan dapat membantu komunikasi untuk manusia yang tuli. Manfaat lainnya adalah penggunaan teknik *virtual*

*environment* untuk memperbaiki kondisi pasien cacat yang mengalami gangguan otak.

- Visualisasi arsitektur

*Virtual environment* memungkinkan konsumen untuk mencoba tinggal dalam rumah baru mereka sebelum rumah tersebut dibangun. Mereka akan dapat merasakan suasana dari ruangan dalam rumah tersebut, merasakan pencahayaan ruangan yang berbeda, pengaturan *furniture*, serta *layout* dari rumah tersebut.

- Desain

*Virtual environment* menyediakan peralatan 3D yang sangat bermanfaat dalam pembuatan desai barang-barang 3D.

- Simulasi Ergonomi

*Virtual environment* adalah tool yang sangat bermanfaat untuk membuat simulasi situasi baru terutama untuk menguji aspek efisiensi dan ergonomi.

- Entertainment

*Virtual environment* dapat membuat simulasi dari *game*, taman bermain, dan kasino.

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 industri
- Diagnosa kesalahan dan perbaikan yang dibutuhkan

## 2.6 Software UGS NX 6.0

*Software* UGS NX 6.0 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 penggunaannya. Desain 3D *objects* telah memiliki tempat yang sangat penting di kalangan praktisi desain.

## 2.7 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 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.
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. *Predetermined 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* dari *software* (AutoCAD, SolidWorks, NX, dll) ke dalam layar simulasi Jack dan kemudian memosisikan 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 penggunaannya 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.

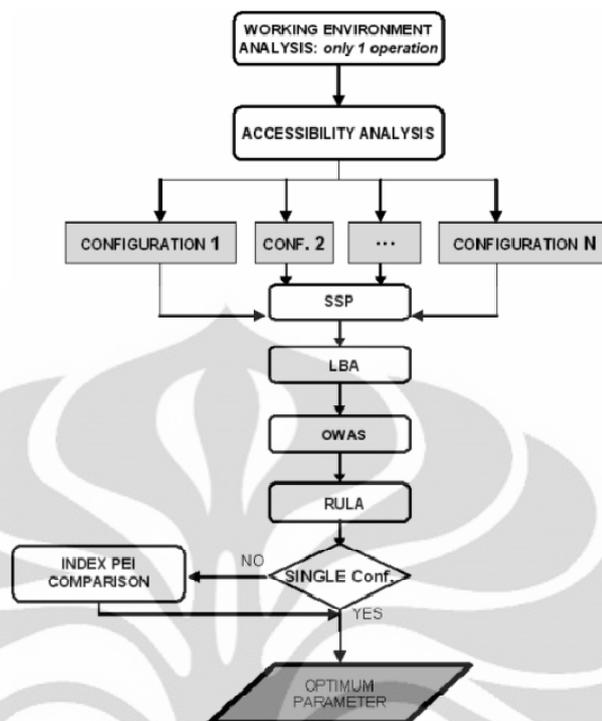
5. Menganalisa performa *virtual human* secara *real time* ketika melakukan tugas yang diberikan dengan menggunakan TAT.

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.

## 2.8 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 2.10** menunjukkan diagram alur dari pendekatan yang menggunakan metode PEI.



**Gambar 2.10** 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 2.10**, 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 kerja dengan 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. Jika 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.
- 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.  $I_1 > 1$  menunjukkan kegiatan 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* “ $mr$ ”.

$$I_1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I_2 = \frac{OWAS}{4} \quad I_3 = \frac{RULA}{7} \quad mr = 1,42 \quad (2.1)$$

Keterangan :

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

3 = nilai maximum index OWAS

7 = level maximum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

$Mr$  = koefisien amplifikasi

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

- Prinsip faktor risiko 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 nilai 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.

### 2.8.1 *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.

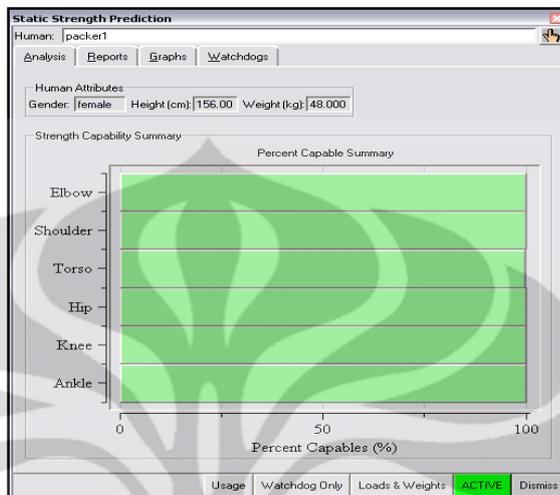
Prinsip dasar SSP (Don B. Chaffin et al., 2003) adalah sebagai berikut:

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

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 2.11** Contoh Output SSP

(Sumber : Software Jack 6.1)

### 2.8.2 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

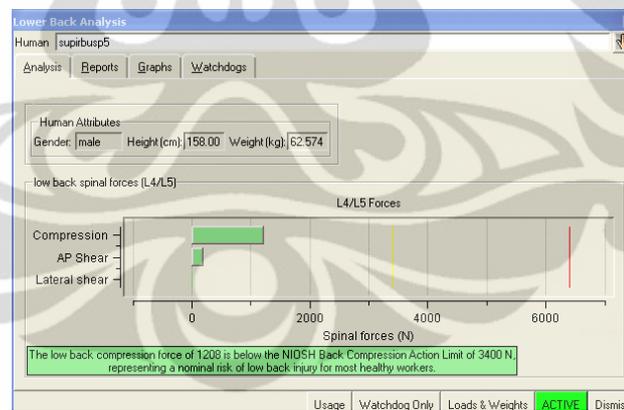
kemampuan pekerja dengan kondisi ideal untuk mengangkat ataupun memproses suatu beban secara aman pada jangka waktu tertentu. Secara matematis, standar *lifting* NIOSH ini dapat dirumuskan sebagai berikut):

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

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 2.12** 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

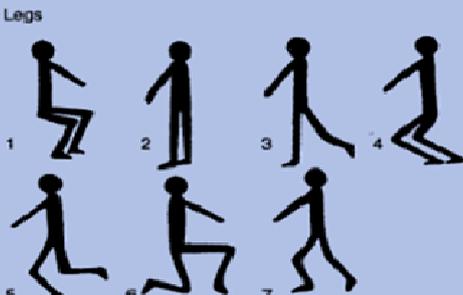
berwarna merah yang mengindikasikan aktivitas dan postur tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh pekerjaanya.

### 2.8.3 *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 menanalisis 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 2.13**.

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

**Gambar 2.13** Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

(Sumber: Waldemar Karwowski, International Encyclopedia of Ergonomis 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 nilai 1 hingga 4 seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.1**.

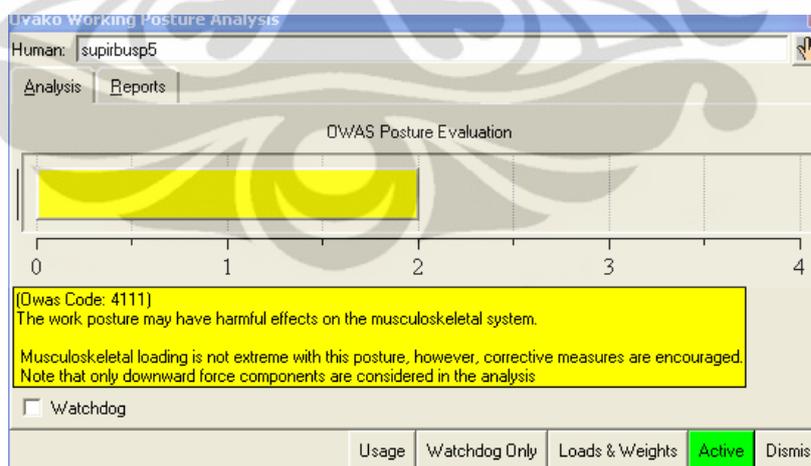
**Tabel 2.1** Pembobotan Nilai pada OWAS

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 pekerjanya.



**Gambar 2.14** Contoh Output Analisis OWAS

(Sumber : Software Jack 6.1)

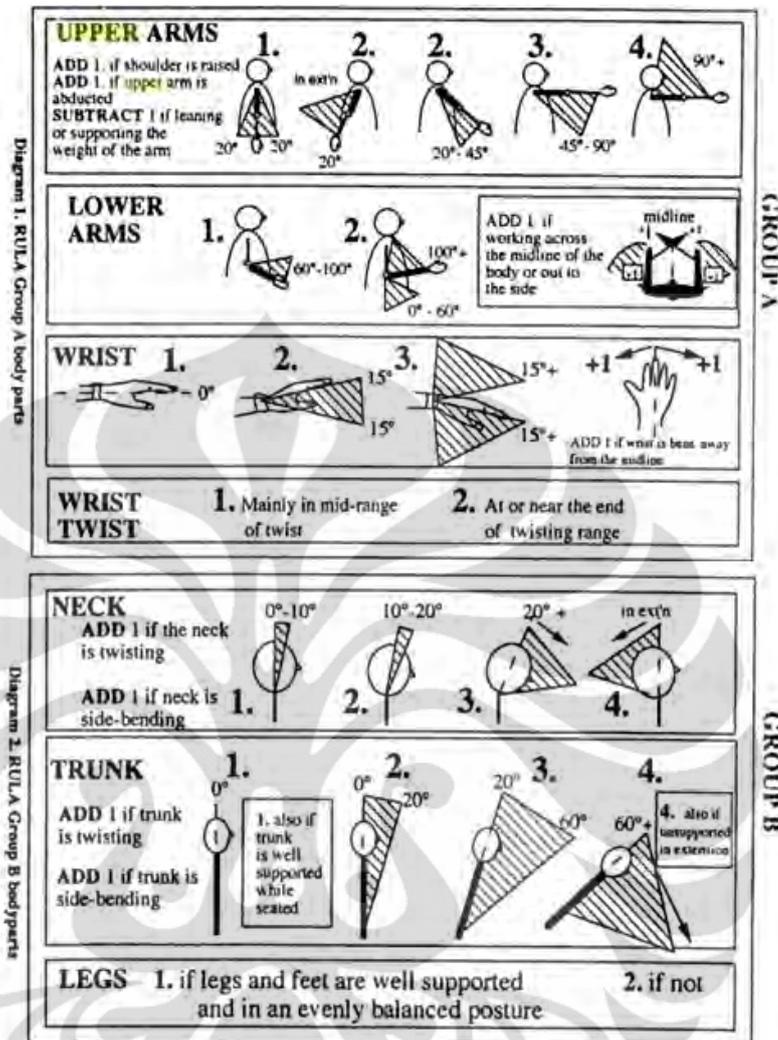
#### 2.8.4 *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

*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 2.15**:

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 2.15** Pengelompokan Tubuh Metode RULA

(Sumber: Karwowski, Waldemar, International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, 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 2.16** di bawah ini.

**Gambar 2.16** Contoh Output Analisis RULA

(Sumber : Software Jack 6.1)

## 2.9 Kabin Pengemudi Bus

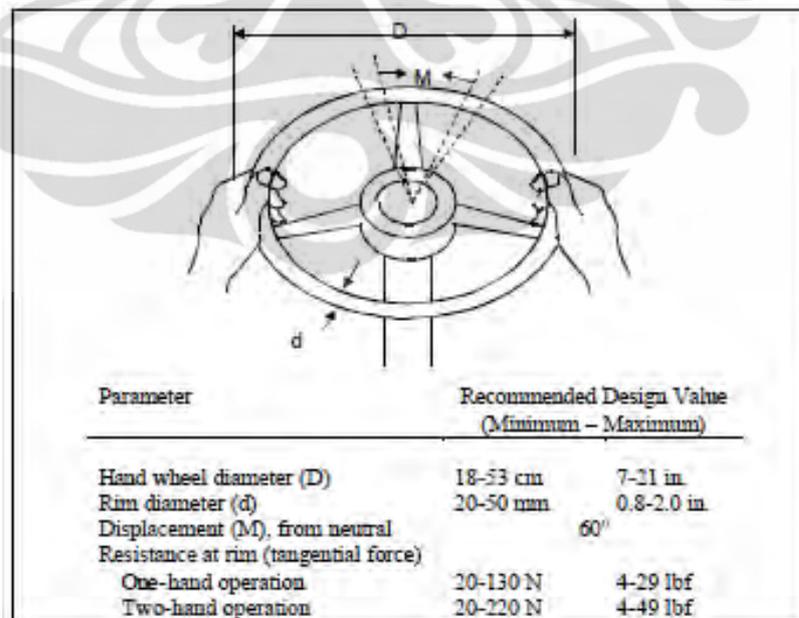
Dimensi kabin pengemudi dan penyesuaian yang dapat dilakukan pada tempat duduk dan setir harus berada dalam *range* yang dapat mengakomodasi 95% populasi pengemudi. Ukuran tubuh khusus, seperti pengemudi yang *overweight* atau memiliki anggota tubuh yang terlalu panjang atau pendek, harus dipertimbangkan dalam pembuatan desain kabin pengemudi bus.

### 2.9.1 Entrance Kabin Pengemudi Bus

Apapun yang dapat membuat pengemudi tersandung harus dihindari. Tangga untuk pengemudi memasuki kabin pengemudi harus memiliki tinggi yang sama dan memiliki lebar yang cukup.

### 2.9.2 Steering Wheel

**Gambar 2.17** menunjukkan *range* dimensi untuk diameter setir, diameter genggam setir, serta penempatan tangan pada setir yang direkomendasikan untuk merancang desain setir bus. Gaya tangensial minimal dan maksimal yang dibutuhkan untuk mengoperasikan setir baik dengan satu ataupun dengan dua tangan-pun ditunjukkan pada **Gambar 2.17**.



**Gambar 2.17** Kriteria untuk Desain *Steering Wheel*

(Sumber: Departement of Defense, 1974; Ely, Thomson, dan Orlansky, 1963; Kellermann, van Wely, dan Willems, 1963; Eastman Kodak, 2003)

### 2.9.3 Tempat Duduk

Posisi dan desain tempat duduk kabin pengemudi bus seharusnya dapat mengeliminasi atau meminimalisir semua refleksi kaca dari interior kendaraan. Refleksi dari kaca sangat berbahaya ketika bus dengan beroperasi dan desain yang baik dapat mengeliminasi permasalahan ini.

Panjang dari tempat duduk harus dapat mengakomodasikan 95% populasi pengemudi. Hal ini dilakukan agar pengemudi yang berukuran tubuh kecil tidak perlu merentangkan tangan dengan berlebihan ketika ingin menjangkau panel kontrol.

Tempat duduk pengemudi seharusnya memiliki beberapa penyesuaian seperti panjang dan tinggi tempat duduk, sudut tempat duduk, sudut bawah tempat duduk, kedalaman tempat duduk, dan penyangga *lumbar*. Selain itu, salah satu hal yang direkomendasikan adalah tempat duduk pengemudi dilengkapi dengan tiga titik sabuk pengaman dan sandaran untuk kepala. Penempatan tempat duduk yang paling optimal memiliki sudut inklinasi untuk sandaran sekitar 20°. Penyesuaian tempat duduk secara manual agar berada dalam posisi yang tepat menurut ilmu ergonomi akan memakan waktu. **Tabel 2.3** menunjukkan *range* dimensi untuk tempat duduk yang direkomendasikan.

**Tabel 2.3** Dimensi dan *Adjustment Range* Tempat Duduk Pengemudi Bus

Component	Measurement	Standard value (mm)	Adjustment range (mm)	Memorized	
ENTIRE SEAT	Horizontal	—	≥ 200	Yes	
	Vertical	—	≥ 100	Yes	
SEAT SURFACE	Seat surface depth	—	390–450	Yes	
	Seat surface width (total)	Min. 495	—	—	
	Seat surface width (flat part, in pelvic area)	430	—	—	
	Depth of seat recess	10–20	—	—	
	Seat surface slope	—	0–10° (rising toward front)	Yes	
SEATBACK	Seatback height	Min. height	495	—	—
		Max. height	640	—	—
	Seatback width (total)*	Min. 475	—	—	
	Seatback width (flat part)	—	—	—	
	Lumbar area (lower)	340	—	—	
	Shoulder area (upper)	385	—	—	
	Side upholstery* (side depth)	Lumbar area (lower)	50	—	—
		Shoulder area (upper)	25	—	—
	Seatback slope (to vertical)	—	0°–25°	Yes	
	HEADREST	Height of headrest upper edge above seat surface	—	Min. 840	—
Height of headrest itself		Min. 120	—	—	
Width of headrest		Min. 250	—	—	
LUMBAR PAD	Forward arch of lumbar support from lumbar surface	—	10–50	—	
	Height of lumbar support lower edge over seat surface	—	180–250	—	

(Sumber: Ch. 102 Transport Industry and Warehousing. Ergonomics of Bus Driving In Encyclopedia of Occupational Health and Safety/ edited by Janne Mager Stellman. 4<sup>th</sup> ed. Geneva: International Labour Office, 1998. Vol 3, pt. XVII.)

Penyesuaian pada tempat duduk pengemudi dan setir seharusnya dapat dikordinasikan sehingga semua pengemudi berada dalam *range* desain agar dapat mencari posisi yang ergonomis untuk tangan dan kaki pengemudi.

#### 2.9.4 Controls

Semua *controls* seharusnya berada dalam posisi yang mudah dijangkau oleh pengemudi. Sehingga tidak mengganggu aktivitas pengemudi pada saat mengemudi.

##### 2.9.4.1 Foot-Operated Controls (Pedal)

Perancangan desain pedal harus memastikan pengemudi terhindar dari kesalahan menginjak pedal, pemindahan kaki yang cepat dari satu pedal ke pedal lainnya, memastikan pengemudi bebas dari kelelahan, serta pedal yang sensitif. **Gambar 2.18** menunjukkan panjang dan lebar minimum dari pedal serta gaya yang diperlukan untuk menginjak pedal. Gaya maksimum yang diperlukan

tergantung pada otot yang digunakan dalam menginjak pedal; otot yang lebar pada kaki dapat memberikan gaya yang lebih besar dibandingkan otot yang lebih kecil. Selain itu, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam merancang desain pedal, diantaranya:

- Pedal yang membuat tulang sendi pergelangan kaki *overstretching* (lebih dari  $25^\circ$  dengan posisi kaki yang normal) sangat tidak direkomendasikan.
- Pengoperasian pedal dengan frekuensi tinggi membutuhkan jarak antar pedal yang kecil.
- Apabila pengoperasian pedal membutuhkan tekanan yang tinggi, posisi pedal harus memungkinkan penggunaan otot kaki, tidak hanya pergelangan kaki, untuk menambah gaya yang dikeluarkan.
- Gaya yang lebih dari 400 N (90lbf) tidak diperkenankan bahkan dengan mempergunakan kaki pada saat mengoperasikan pedal tersebut (Montimer, 1974; Eastman Kodak, 2003).



Operating Pedal Parameter	Recommended Design Value	
Minimum Length (L)		
Occasional use	8 cm	3 in.
Constant use	25 cm	10 in.
Minimum Width (W)	9 cm	3.5 in.
Displacement Range (V)		
For ankle flexion	12-65 mm	0.5-2.5 in.
For whole leg movement	25-180 mm	1.7 in.
Angle of ankle from neutral position, recommended minimum-maximum range, operator seated.		20° up, 30° down
Counter-pressures, recommended minimum-maximum	15-90 N	3.3-19.8 lbf

**Gambar 2.18** Dimensi dan Tekanan yang Diperhitungkan pada Pedal

(Sumber: Department of Defense, 1974; Ely, Thomson, dan Orlansky, 1963; Kellermann, Van Wely, dan Willems, 1963; Murrell, 1965; Eastman Kodak, 2003.)

#### 2.9.4.2 Hand-Operated Controls

Semua tombol kontrol dalam stasiun kerja pengemudi seharusnya disusun untuk kenyamanan pengemudi saat mengakses tombol tersebut. Banyaknya tombol kontrol sering dibutuhkan karena jumlah perlengkapan yang ditambahkan

pada kendaraan. Tombol kontrol yang tersedia harus dapat dijangkau tanpa harus meregangkan dan/atau memuntir tubuh. Tombol kontrol seharusnya didesain dengan sederhana dan konsisten sehingga tombol tersebut berada di posisi yang sama pada tipe kendaraan yang berbeda untuk menghindari kebingungan.

### **2.9.5 Instrument Panel**

Semua sistem peringatan visual seharusnya berada dalam jangkauan penglihatan pengemudi dan tidak terhalang dengan setir. *Analogue dial* yang jelas dan sederhana sangat diperlukan dalam perancangan desain *instrument panel*.

Meneliti pergerakan visual yang ditunjukkan saat mengendarai bus dan mengamati naik-turunnya penumpang sangat menyita perhatian pengemudi. Oleh karena itu, informasi yang ditunjukkan oleh instrumen dan lampu indikator dalam kendaraan seharusnya terbatas hanya untuk yang sangat dibutuhkan.

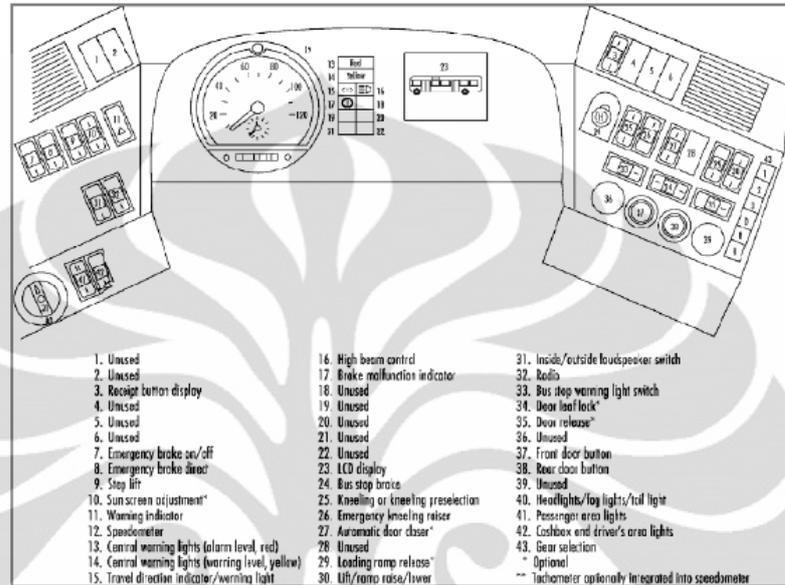
*Instrument panel* seharusnya dapat *adjustable* sehingga pengemudi dapat mengakses panel tersebut dengan mudah sesuai dengan level penyesuaian dan *visibility* yang baik dari instrumen tersebut. Untuk kasus ini, penyesuaian panel harus dikordinasikan dengan penyesuaian pada setir. Penggunaan setir yang lebih kecil dapat menguntungkan untuk pengemudi.

#### **2.9.5.1 Color Coding untuk Lampu Indikator**

- Menggunakan warna hijau untuk operasi yang memuaskan, *test ok*, siap, dll
- Menggunakan warna putih untuk status, *selection mode*, *test in progress*, atau hal yang belum tentu sukses atau gagal
- Menggunakan warna kuning untuk tanda waspada, berhati-hati, *recheck*, atau penundaan
- Menggunakan warna merah untuk sistem yang tidak beroperasi, *error*, *no-go*, kegagalan atau *malfunction*.
- Penggunaan warna biru jarang digunakan dan biasanya digunakan untuk pengemudi yang mengalami buta warna sehingga warna biru dibagai sebagai pengganti warna hijau

- *Flashing* merah menandakan berada dalam keadaan sangat bahaya dimana hidup atau mesin yang dipertaruhkan. Periode on-off seharusnya 3-5 detik.
- *Flashing* putih digunakan sebagai tanda untuk komunikasi

**Gambar 2.19** Ilustrasi *Instrument Panel* dengan Legenda



(Sumber: Erobuss GmbH, Mannheim, Germany in Grosbrink & Mahr, 1988)

## 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

Penelitian ini mengangkat permasalahan ergonomi yang terjadi pada pengemudi bus kota terutama bus dengan type PHL (Patas Hyno Long) AK3HR. Untuk menyelesaikan permasalahan ergonomi ini, dibutuhkan data-data yang berkaitan dengan pengemudi bus, lingkungan kerja pengemudi, dan aktivitas pengemudi. Data-data tersebut dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner, wawancara, dan observasi. Data mengenai pengemudi bus yang harus dikumpulkan antara lain data keluhan pengemudi terhadap gejala *musculoskeletal disorder* dan data antropometri pengemudi. Data keluhan pengemudi terhadap gejala *musculoskeletal disorder* digunakan untuk mengkonfirmasi hipotesa permasalahan ergonomi yang terjadi pada pengemudi bus serta sebagai pertimbangan dalam pembuatan desain usulan yang dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Data antropometri pengemudi digunakan untuk membuat *virtual human modeling* dalam *software* Jack. Selain itu, data antropometri pengemudi juga digunakan untuk merancang desain kabin pengemudi yang ergonomi dimana desain tersebut dirancang sesuai dengan antropometri pengemudi bus.

Data yang dikumpulkan mengenai lingkungan kerja pengemudi dimana lingkungan kerja pengemudi adalah kabin pengemudi bus, diantaranya adalah komponen-komponen dari kabin pengemudi yang terdiri dari tempat duduk, setir kemudi, pedal dan tuas gigi, beserta ukuran komponen-komponen tersebut. Data-data tersebut digunakan untuk membuat *virtual environment* dalam *software* Jack.

Data mengenai aktivitas pengemudi yang dikumpulkan adalah aktivitas atau kegiatan yang dilakukan oleh pengemudi pada saat melakukan pekerjaannya serta postur tubuh pengemudi pada saat melakukan aktivitas tersebut. Data ini

digunakan sebagai aktivitas yang disimulasikan dalam *software* Jack, sehingga penelitian ini dapat mensimulasikan semua aktivitas yang dilakukan pengemudi bus sesuai dengan kenyataan yang ada.

### 3.1.1 Deskripsi Data

Pengambilan data keluhan terhadap gejala *musculoskeletal disorder* dan data antropometri dilakukan pada pengemudi bus tipe PHL (Patas Hyno Long) AK3HR yang berada di Pool Mayasari Bhakti Cijantung. Penentuan jumlah sampel yang dibutuhkan dalam penelitian ini, dilakukan berdasarkan rumus Taro Yamane (Yamane, 1967):

$$n = \frac{N}{N(d)^2 + 1} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

d = level signifikansi atau alpha yang diinginkan

Berdasarkan data yang berasal dari Mayasari Bhakti, jumlah pengemudi yang mengendarai bus kota dengan tipe PHL (Patas Hyno Long) AK3HR adalah 125 orang. Level signifikansi atau alpha yang digunakan adalah 0.05. Dengan demikian jumlah sampel yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

$$\begin{aligned} n &= \frac{N}{N(d)^2 + 1} \\ &= \frac{125}{125(0.05)^2 + 1} \\ &= 96 \text{ sample} \end{aligned}$$

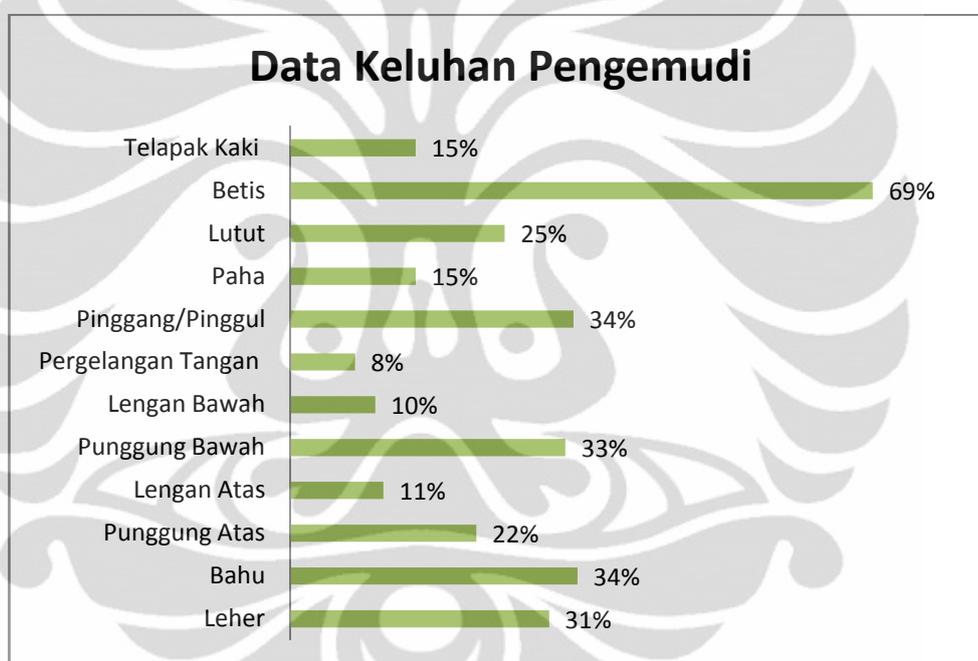
Berdasarkan hasil perhitungan diatas, jumlah sampel yang harus dikumpulkan sebanyak 96 data. Namun, untuk memastikan kevalidan dan realibilitas data, penelitian ini mengambil data sebanyak 104 data antropometri dan keluhan terhadap gejala *musculoskeletal disorder*.

### 3.1.2 Data Identifikasi Keluhan Pengemudi

Pengemudi bus beresiko tinggi mengalami gangguan gejala terjadinya *musculoskeletal disorder* dikarenakan pada saat melakukan pekerjaannya,

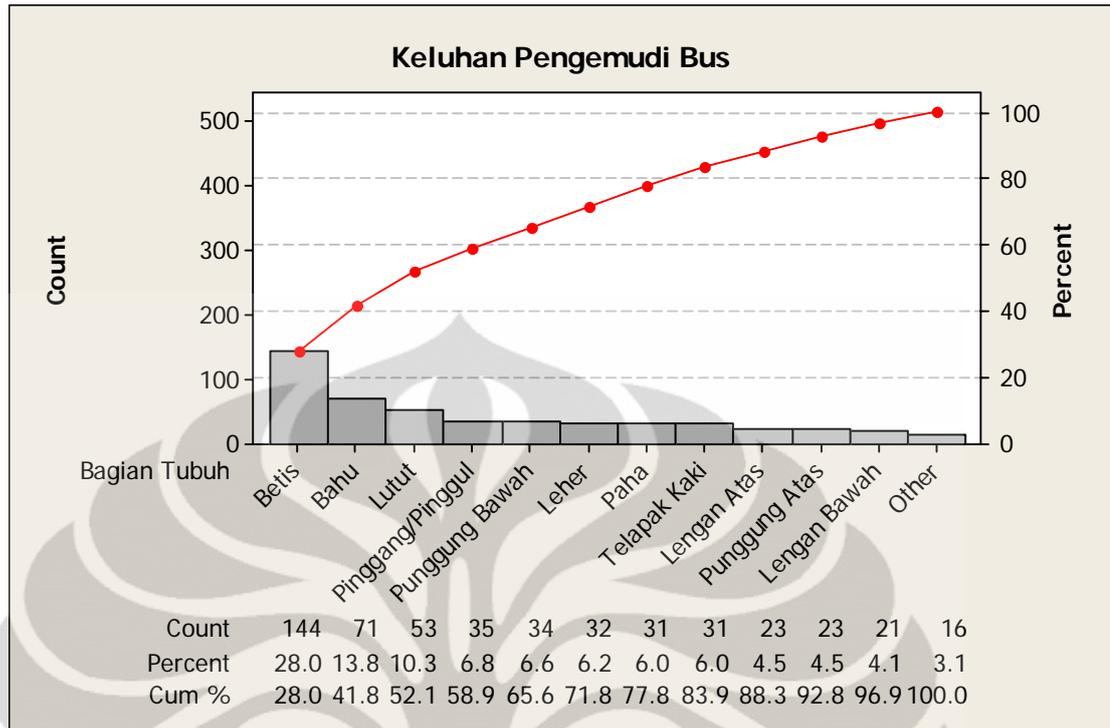
pengemudi berada dalam posisi duduk dalam waktu yang panjang serta terdapat ketidaksesuaian ergonomi antara pengemudi dengan tempat duduk, tipe kendaraan, dan mekanisme mengemudi.

Untuk mengidentifikasi keluhan pengemudi terhadap gejala *musculoskeletal disorder*, dilakukan penyebaran kuesioner yang bertujuan untuk mengetahui bagian tubuh pengemudi yang mengalami gejala *musculoskeletal disorder* seperti nyeri otot, kesemutan, kram otot, dll. Jumlah bagian tubuh yang menjadi objek penelitian adalah 12 anggota tubuh. **Gambar 3.1** merupakan grafik yang menunjukkan bagian tubuh yang paling banyak dikeluhkan oleh pengemudi.



**Gambar 3.1** Keluhan Pengemudi pada Bagian Tubuh

Dari **Gambar 3.1** diketahui bahwa bagian tubuh yang paling banyak mengalami gangguan gejala *musculoskeletal disorder* pada pengemudi adalah bagian betis dengan persentase 69%. Hampir sepertiga pengemudi mengeluhkan gejala *musculoskeletal disorder* pada bagian pinggang atau pinggul, punggung bawah, dan bahu. Namun, untuk mengetahui 80% bagian tubuh pengemudi yang mengalami gejala *musculoskeletal disorder* digunakanlah Diagram Pareto.



**Gambar 3.2** Diagram Pareto Keluhan Pengemudi

Dari **Gambar 3.2** dapat diketahui bahwa bagian tubuh yang mengalami gejala *musculoskeletal disorder* antara lain betis, bahu, lutut, pinggang atau pinggul, punggung bawah, leher, paha, dan telapak kaki.

Untuk masalah ergonomi pada desain kabin pengemudi bus, diketahui bahwa terdapat hubungan antara gangguan *musculoskeletal disorder* dengan kesalahan pada desain kabin pengemudi bus (Szeto, Y, Lam et al., 2007). Apabila terjadi pengemudi berada dalam keadaan duduk lebih dari 2 jam akan mengakibatkan timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* pada bagian leher dan punggung. Apabila terjadi ketidaksesuaian kursi pengemudi bus dengan antropometri pengemudi akan mengakibatkan timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* pada bagian leher, bahu, lutut, paha, dan kaki. Untuk ketidaksesuaian pada setir kemudi akan mengakibatkan timbulnya gangguan pada bagian bahu, sedangkan untuk ketidaksesuaian pada pedal akan mengakibatkan timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* pada bagian kaki.

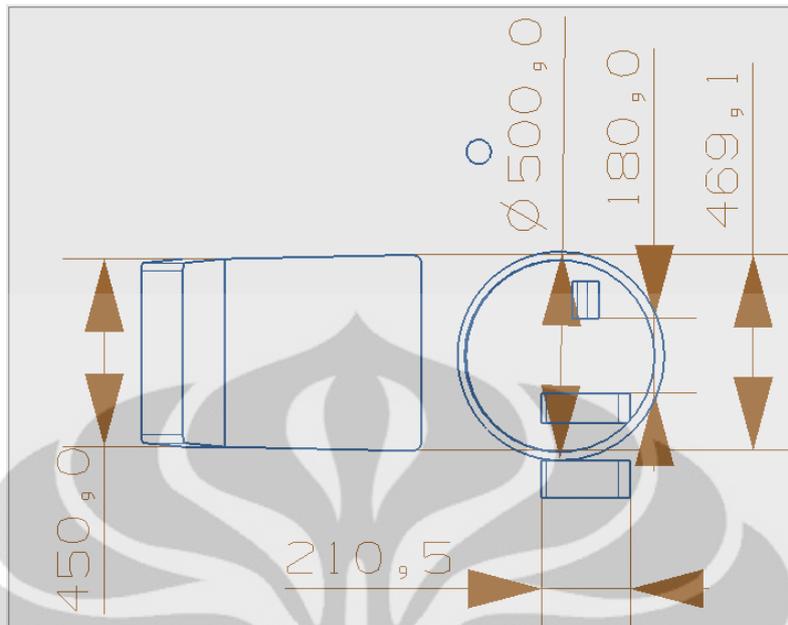
Berdasarkan pernyataan tersebut, dapat diketahui bahwa timbulnya keluhan terhadap gejala *musculoskeletal disorder* pada pengemudi bus tipe PHL (Patas Hyno Long) AK3HR disebabkan oleh pengemudi yang berada dalam posisi lama dalam waktu yang lama dan terjadi ketidaksesuaian antara komponen kabin

dalam hal ini tempat duduk, setir kemudi dan pedal dengan antropometri pengemudi bus. Dari hasil tersebut terlihat adanya indikasi ketidaknyamanan yang diakibatkan oleh desain kabin pengemudi bus yang kurang ideal bagi pengemudi bus sehingga terbentuk postur mengemudi yang tidak nyaman dan berakibat timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder*. Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap aspek ergonomi dari desain kabin pengemudi bus yang ada saat ini, yang akan dilakukan dengan metode PEI. Selain itu akan dibuat desain kabin pengemudi bus berdasarkan ukuran antropometri pengemudi bus dengan spesifikasi mesin PHL (Patas Hyno Long) AK3HR.

### 3.1.3 Data Bentuk dan Dimensi Komponen Kabin Pengemudi Bus

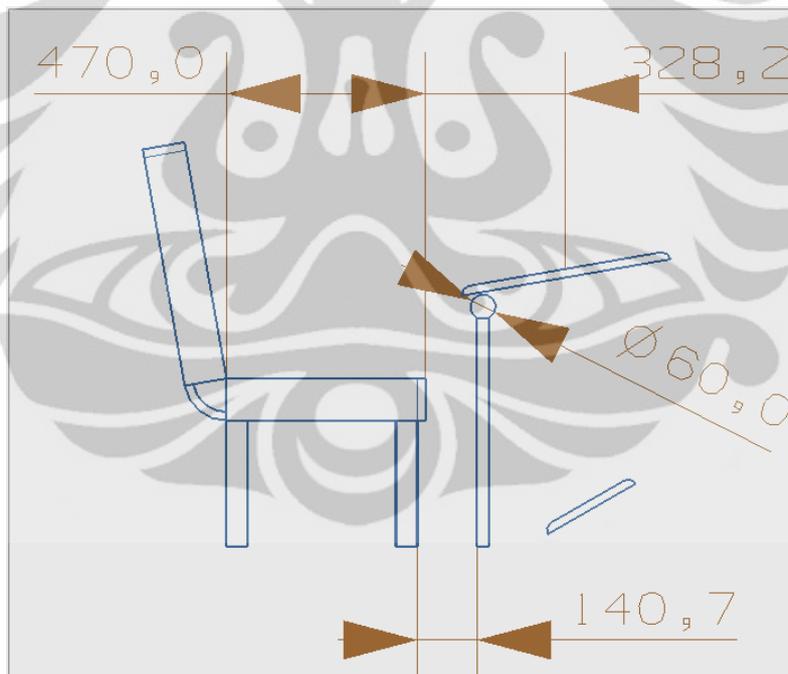
Kabin pengemudi bus dengan tipe PHL (Patas Hyno Long) AK3HR memiliki 4 komponen yang berinteraksi dengan pengemudi pada saat mengemudi bus, diantaranya tempat duduk, tuas gigi, setir kemudi dan pedal. Berdasarkan pengamatan pada kabin pengemudi bus, desain tempat duduk yang ada saat ini memiliki fasilitas *adjustable* untuk arah horizontal tempat duduk dan sudut sandaran sehingga pengemudi dapat menyenderkan punggungnya dan duduk dalam posisi menyender. Namun dimensi serta jarak antara keempat komponen tersebut belum sesuai dengan antropometri pengemudi sehingga menyebabkan *flexion* yang berlebihan pada beberapa bagian tubuh pengemudi. Berikut adalah gambar kabin pengemudi bus beserta dimensinya:

- a. Kabin Pengemudi Bus Tampak Atas



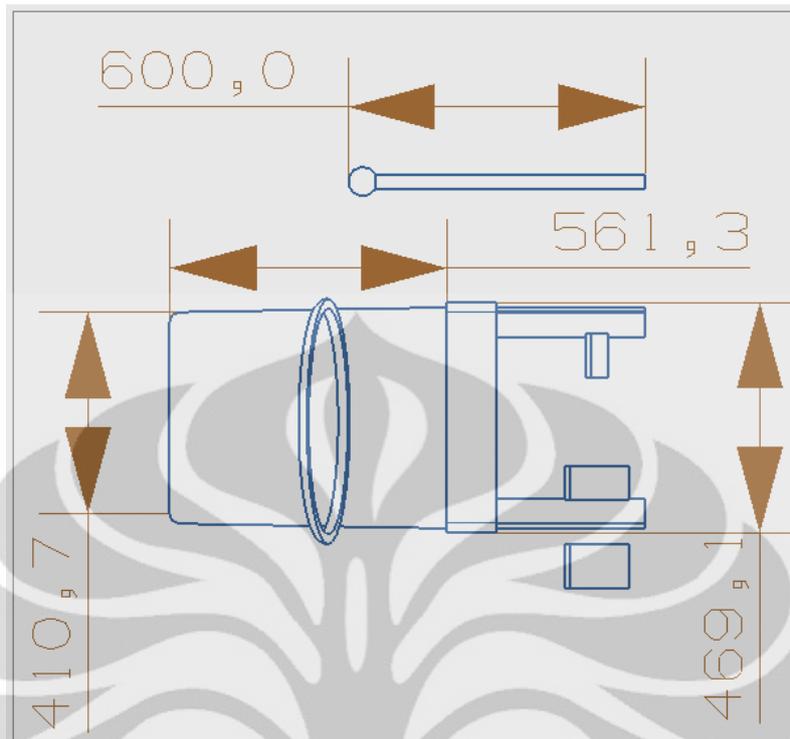
**Gambar 3.3** Kabin Pengemudi Bus Tampak Atas

b. Kabin Pengemudi Bus Tampak Samping



**Gambar 3.4** Kabin Pengemudi Bus Tampak Samping

c. Kabin Pengemudi Bus Tampak Depan



**Gambar 3.5** Kabin Pengemudi Bus Tampak Depan

Keterangan :

**Tabel 3.1** Dimensi Kabin Pengemudi Bus

Component		Ukuran	
Seat	Seat Surface	Depth	46 cm
		Width H	45 cm
		Width P	47 cm
	Seat Back	Height	58 cm
		Width S	43 cm
		Width L	45 cm
	Height	30 cm	
Pedals	Angle	30°	
	Width K	9 cm	
	Length K	7 cm	
	Width G/R	7 cm	
	Length G/R	24 cm	
Steering Wheel	Hand Wheel Diameter	50 cm	
	Rim Diameter	2 cm	
	Height	64 cm	
	Angle	80°	

### 3.1.4 Data Antropometri Pengemudi Bus

Data antropometri merupakan data yang perlu dimasukkan dalam pembuatan model manusia virtual (*virtual human modeling*). 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 lilitan, lebar pinggul, tinggi mata pada posisi duduk, lebar perut, jarak bokong-lutut, jarak pundak-siku, jarak siku-jari, panjang lengan dan panjang telapak kaki. Hal ini dilakukan agar model manusia dalam *software* Jack dapat merepresentasikan ukuran tubuh pengemudi pada kondisi aktual.

Selain itu, data antropometri pengemudi juga digunakan untuk membuat rancangan desain kabin pengemudi bus. Data-data yang diambil ini digunakan untuk mendesain komponen-komponen kabin pengemudi bus yang sesuai dengan antropometri pengemudi itu sendiri. Data berat badan merupakan faktor yang berpengaruh pada penilaian beban kerja, data tinggi badan digunakan untuk menentukan tinggi ideal kabin, tinggi popliteal digunakan untuk menentukan tinggi kursi, data jarak bokong-popliteal digunakan untuk menentukan kedalaman dudukan kursi, data tinggi pundak pada posisi duduk digunakan untuk menentukan tinggi sandaran kursi, data lebar bahu untuk menentukan lebar sandaran kursi pada bahu, data lebar pinggul digunakan untuk menentukan lebar sandaran kursi pada bagian pinggul, data lebar perut digunakan untuk menentukan jarak antara setir dengan tempat duduk, data jarak bokong-lutut untuk menentukan jarak kursi dengan pedal, data panjang lengan untuk menentukan jarak tempat duduk dengan tuas gigi dan setir kemudi, dan data panjang telapak kaki untuk menentukan panjang pedal.

Pengambilan data antropometri pengemudi dilakukan secara langsung dengan menggunakan antropometer dan timbangan badan. Hasil pengumpulan data antropometri pengemudi bus dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3.2** Data Antropometri Pengemudi Bus

No	BMI	St	Dimensi Tubuh (cm)												
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	74	161	45	37	51	43	35	40	75	24	53	35	38	63	24

**Tabel 3.2** Data Antropometri Pengemudi Bus (Sambungan)

2	102	174	48	46	64	47	40	42	74	20	49	27	35	53	20
3	74	175	42	40	54	47	38	43	75	24	56	30	36	54	28
4	68	160	45	45	60	47	33	35	68	24	57	26	38	55	28
5	74	158	45	46	57	46	34	38	65	20	51	30	37	63	20
6	66	165	49	40	56	45	39	40	78	23	52	30	39	64	23
7	74	171	45	52	66	47	33	37	70	24	46	24	36	57	24
8	70	160	47	39	62	48	38	46	76	20	48	35	39	66	22
9	60	162	51	36	57	41	27	30	65	17	46	29	35	55	24
10	55	159	46	42	62	38	23	28	72	20	49	30	36	56	20
11	77	170	53	48	62	50	35	42	82	25	59	35	38	63	30
12	55	155	50	39	50	47	33	43	68	22	52	27	35	53	26
13	52	169	47	46	58	39	33	36	74	19	59	30	36	54	24
14	67	169	53	43	70	37	30	34	76	19	51	26	38	55	25
15	96	173	54	46	58	46	38	42	74	29	57	30	37	63	23
16	85	172	53	40	56	44	37	42	78	24	46	30	39	64	24
17	58	173	53	43	64	40	28	33	74	25	56	24	36	57	25
18	53	158	42	44	52	42	34	37	62	17	51	35	39	66	24
19	70	166	50	42	49	39	34	41	70	20	52	29	35	55	26
20	63	167	55	45	54	44	33	38	72	23	55	30	36	56	26
21	71	164	44	42	66	44	32	36	70	22	53	32	37	76	23
22	52	166	46	46	61	38	27	30	70	20	51	33	43	69	20
23	56	156	46	39	62	40	28	33	69	18	48	32	44	68	21
24	71	166	51	40	53	41	38	40	69	23	52	30	37	60	27
25	61	160	47	36	66	38	26	30	72	22	47	33	40	70	22
26	44	161	48	39	69	41	34	39	78	20	47	34	43	73	21
27	59	164	53	44	60	50	37	48	79	20	56	32	42	79	26
28	48	165	55	42	59	37	25	35	75	23	51	32	40	70	26
29	56	164	47	40	57	39	25	28	66	19	50	30	38	68	22
30	82	172	52	39	65	43	33	38	73	35	51	38	43	69	25
31	62	164	50	44	52	44	34	31	77	27	56	33	48	77	27
32	102	159	50	45	54	50	45	52	65	27	55	31	42	69	24
33	65	157	47	42	62	41	25	32	68	20	47	39	48	73	22
34	56	166	50	43	61	42	25	35	71	17	50	31	49	74	24
35	67	161	48	42	53	44	37	43	75	25	53	36	41	74	22
36	70	164	51	41	63	40	26	33	73	20	49	35	46	79	23
37	69	153	47	37	57	45	36	42	71	33	46	32	43	69	24
38	80	171	51	43	59	48	42	46	77	29	52	37	44	81	24
39	75	168	53	41	59	45	38	44	74	22	52	36	41	77	24
40	60	173	54	40	53	44	22	36	84	22	51	31	45	76	31
41	45	166	50	38	55	40	32	35	72	23	42	35	47	79	23
42	74	162	53	48	47	34	32	41	74	25	56	30	50	76	26

**Tabel 3.2** Data Antropometri Pengemudi Bus (Sambungan)

43	65	160	49	42	59	46	32	38	82	22	51	35	48	75	25
44	64	161	52	39	51	42	27	31	71	23	54	30	43	71	22
45	72	172	52	43	58	43	33	41	76	23	54	30	43	73	25
46	63	172	53	41	60	45	28	37	72	20	56	26	49	77	28
47	57	165	47	37	60	38	25	29	70	22	47	36	50	78	22
48	83	158	47	34	61	44	29	33	69	28	45	33	46	73	20
49	90	170	45	45	70	45	39	40	76	22	52	35	50	78	22
50	60	167	40	46	54	40	32	41	70	27	56	28	39	78	27
51	40	163	39	43	54	40	26	31	71	18	52	32	48	75	23
52	70	167	40	45	56	46	35	40	72	30	52	30	42	73	28
53	60	170	44	43	60	41	29	37	72	22	46	34	38	64	24
54	62	167	43	46	55	42	30	36	66	23	56	32	48	75	26
55	72	172	42	46	61	46	35	43	73	30	58	30	39	64	24
56	74	156	41	42	53	42	35	44	67	31	54	24	36	57	22
57	85	172	49	50	58	44	35	42	72	25	60	35	39	66	27
58	60	158	43	45	56	44	34	40	69	30	55	29	35	55	25
59	50	160	40	40	54	39	29	36	68	22	52	30	36	56	25
60	60	178	46	48	53	46	31	38	70	23	59	30	50	76	24
61	50	160	45	44	53	39	32	37	68	23	53	35	48	75	25
62	60	170	46	49	53	45	34	43	71	26	58	30	43	71	27
63	84	158	44	43	51	46	39	44	68	26	56	30	43	73	28
64	75	172	47	50	57	44	33	44	81	25	59	26	49	77	29
65	67	161	43	50	53	41	34	40	68	26	59	36	50	78	29
67	64	174	47	48	50	38	35	39	77	22	57	33	46	73	26
68	68	174	45	46	55	47	35	41	71	23	57	35	50	78	27
69	58	171	45	45	53	45	30	36	73	21	55	28	39	78	25
70	58	162	44	40	53	47	31	39	69	20	50	32	48	75	26
71	68	165	42	40	58	40	30	37	72	23	48	32	37	76	24
72	55	165	44	45	52	40	29	39	65	17	55	33	43	69	23
73	75	163	40	44	60	50	34	40	79	30	55	32	44	68	25
74	60	160	41	49	50	43	30	42	65	25	54	30	37	60	24
75	80	162	45	46	59	47	38	46	70	26	57	33	40	70	25
76	45	170	44	50	54	47	36	43	67	29	59	34	43	73	29
77	65	169	45	48	55	46	30	36	70	22	57	32	42	79	26
78	67	168	45	41	62	44	30	40	80	22	60	32	40	70	28
79	65	166	44	46	54	44	33	41	68	27	56	30	38	68	29
80	60	165	44	46	53	42	33	41	69	20	56	38	43	69	26
81	65	173	44	48	61	49	34	42	75	25	57	33	48	77	26
82	65	158	38	44	57	43	33	43	68	32	54	31	42	69	25
83	71	169	45	45	55	50	35	40	75	23	55	39	48	73	27
84	67	160	47	42	56	46	32	40	75	25	55	31	49	74	29

**Tabel 3.2** Data Antropometri Pengemudi Bus (Sambungan)

85	55	167	46	43	54	47	32	38	73	20	52	36	41	74	27
86	96	175	48	48	59	57	38	48	78	29	60	35	46	79	29
87	70	159	45	54	52	46	32	40	76	22	43	32	43	69	29
88	65	165	47	40	54	50	36	45	78	25	55	37	44	81	27
89	70	172	40	48	59	52	39	42	70	26	55	36	41	77	28
90	70	167	45	45	60	54	38	45	76	22	57	31	45	76	28
91	61	164	45	47	48	50	37	43	67	23	56	35	47	79	25
92	89	164	43	54	56	55	37	46	75	32	62	30	50	76	27
93	74	165	45	49	57	47	36	41	72	24	60	35	48	75	28
94	59	159	42	43	57	46	33	43	74	20	52	30	43	71	27
95	68	165	41	46	55	43	29	39	64	28	57	30	43	73	26
96	46	162	45	45	58	44	37	40	75	19	56	26	49	77	27
97	84	173	48	49	55	46	30	35	69	25	62	36	50	78	31
98	55	164	45	51	52	33	28	42	61	20	57	33	46	73	28
99	65	172	44	45	59	50	37	40	80	20	55	35	50	78	30
100	55	170	44	43	58	41	25	30	78	20	54	28	39	78	23
101	97	169	46	48	63	60	47	50	85	30	56	32	48	75	23
102	72	164	46	42	59	57	37	47	79	26	56	30	42	73	30
103	73	167	45	42	61	41	31	33	71	27	52	34	38	64	29
104	70	165	44	46	32	42	28	33	67	24	54	32	48	75	26

Keterangan :

- BMI = Berat Badan
- St = Tinggi Badan
- a = Tinggi Popliteal
- b = Jarak Bokong-Popliteal
- c = Tinggi Pundak pada Posisi Duduk
- d = Lebar Bahu
- e = Lebar Lilitan
- f = Lebar Pinggul
- g = Tinggi Mata pada Posisi Duduk
- h = Lebar Perut
- i = Jarak Bokong-Lutut
- j = Jarak Pundak-Siku
- k = Jarak Siku-Jari
- l = Panjang Lengan
- m = Panjang Telapak Kaki

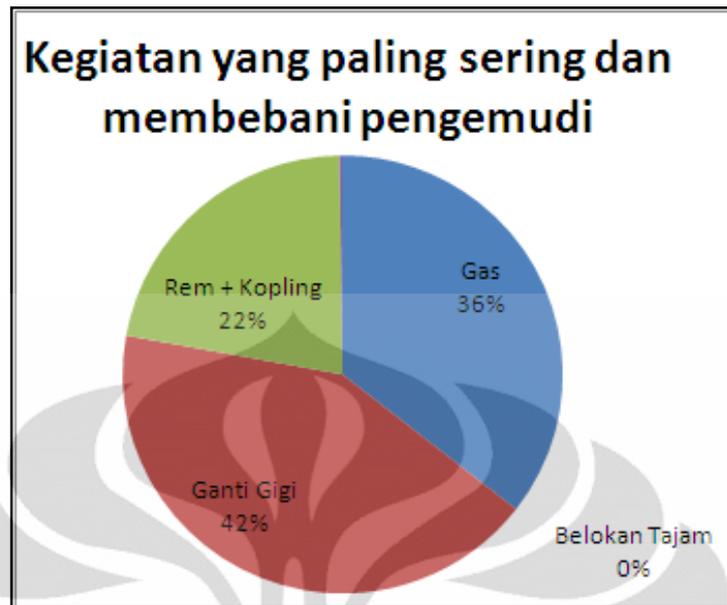
Data antropometri kemudian diolah menjadi persebaran data dalam persentil 5, 50 dan 95. Rincian data persentil yang didapat dari data antropometri yang dikumpulkan dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Persentil Data Antropometri Pengemudi Bus

Bagian Tubuh	Persentil		
	5%	50%	95%
Berat Badan (kg)	48	66	90
Tinggi Badan (cm)	158	165	174
Tinggi Popliteal	40	46	53
Jarak Bokong-Popliteal	37	44	50
Tinggi Pundak pada Posisi Duduk	50	57	66
Lebar Bahu	38	44	52
Lebar Lilitan	25	33	39
Lebar Pinggul	30	40	46
Tinggi Mata pada Posisi Duduk	65	72	80
Lebar Perut	18	23	30
Jarak Bokong-Lutut	46	54	60
Jarak Pundak-Siku	26	32	37
Jarak Siku-Jari	36	43	50
Panjang Lengan	55	73	79
Panjang Telapak Kaki	21	25	29

### 3.1.5 Data Postur Pengemudi Bus

Pada saat mengoperasikan bus, pengemudi bus memiliki 4 postur yang pada umumnya dilakukan oleh semua pengemudi, dimana postur tersebut antara lain: postur pengemudi menginjak gas dan mengontrol setir kemudi, postur pengemudi mengganti gigi, postur pengemudi memberhentikan bus, postur mengemudi belokan tajam. Postur-postur pengemudi dihitung frekuensi kejadian postur tersebut dalam jangka waktu satu rute. Selain itu, juga dilakukan perhitungan pembebanan terhadap pengemudi pada saat melakukan postur tersebut. Dari frekuensi dan beban yang dialami pengemudi, didapat **Gambar 3.6** dibawah ini.



**Gambar 3.6** Pie Chart Kegiatan dengan Frekuensi dan Beban Tinggi pada Pengemudi

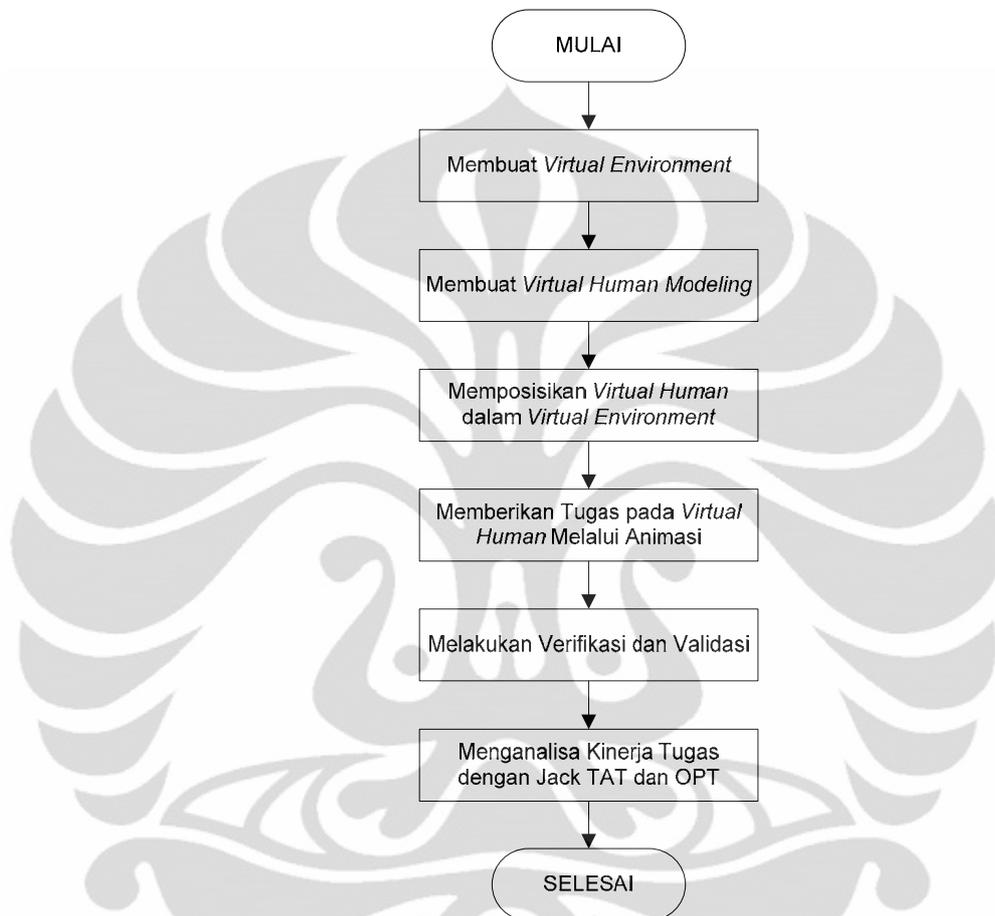
Berdasarkan **Gambar 3.6** dapat diketahui kegiatan pengemudi yang frekuensinya tinggi dan membebani pengemudi adalah postur pengemudi menginjak gas dan mengontrol setir dan postur pengemudi mengganti gigi. Oleh karena itu, simulasi yang dilakukan di *software* Jack 6.1 akan menggunakan aktivitas pengemudi menginjak gas dan mengontrol setir dan aktivitas pengemudi mengganti gigi.

### 3.2 Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan metode simulasi untuk dapat menyelesaikan permasalahan ergonomi yang terjadi pada kabin pengemudi bus, dimana hasil akhir dari penelitian ini adalah rancangan desain kabin pengemudi bus yang ergonomis. Untuk mendapatkan desain tersebut, digunakan metode *virtual environment simulation* dalam *software* Jack. Simulasi tersebut akan memberikan usulan mengenai desain kabin bus yang ergonomis sehingga dapat mengurangi resiko timbulnya gejala gangguan *musculoskeletal disorder* pada pengemudi bus.

### 3.2.1 Pengolahan Data Pembuatan Model Digital Virtual Simulation Jack

Perancangan model dibuat melalui tahapan yang berurutan dengan menggunakan *software* Jack 6.1. **Gambar 3.7** di bawah ini menunjukkan tahapan proses perancangan model.



**Gambar 3.7** Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi

Berdasarkan **Gambar 3.7** tahapan-tahapan pembuatan model simulasi untuk menganalisa postur pengemudi bus seperti yang telah digambarkan pada diagram diatas tersebut secara lengkap adalah sebagai berikut:

1. Membuat *virtual environment*
2. Membuat *virtual human modeling*
3. Memposisikan *virtual human modeling* ke dalam *virtual environment* sesuai dengan keadaan nyata
4. Memberikan tugas pada *virtual human* melalui animasi
5. Melakukan verifikasi dan validasi
6. Menganalisa kinerja tugas dengan Jack TAT dan OPT

### 3.2.1.1 Penentuan Konfigurasi

Berdasarkan pengolahan data keluhan pengemudi terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* diketahui bahwa komponen-komponen kabin pengemudi bus yang perlu diperbaiki adalah tempat duduk, setir kemudi dan pedal. Sehingga variabel yang dijadikan konfigurasi adalah dimensi dari ketiga komponen tersebut.

#### a. Tempat Duduk

Perancangan tempat duduk untuk kabin pengemudi harus menyesuaikan aturan baku mengenai tempat duduk pengemudi bus dan antropometri pengemudi bus. **Tabel 3.4** merupakan acuan internasional dalam pembuatan tempat duduk pengemudi bus.

**Tabel 3.4** Standar Internasional untuk Tempat Duduk Pengemudi Bus

Component	Measurement	Standard value (mm)	Adjustment range (mm)	Memorized
ENTIRE SEAT	Horizontal	—	> 200	Yes
	Vertical	—	≥ 100	Yes
SEAT SURFACE	Seat surface depth	—	390–450	Yes
	Seat surface width (total)	Min. 495	—	—
	Seat surface width (flat part, in pelvic area)	430	—	—
	Depth of seat recess	10–20	—	—
	Seat surface slope	—	0–10° (rising toward front)	Yes
	SEATBACK	Seatback height		
	Min. height	495	—	—
	Max. height	640	—	—
	Seatback width (total)*	Min. 475	—	—
	Seatback width (flat part)			
	Lumbar area (lower)	340	—	—
	Shoulder area (upper)	385	—	—
	Side upholstering* (side depth)			
	Lumbar area (lower)	50	—	—
	Shoulder area (upper)	25	—	—
	Seatback slope (to vertical)	—	0°–25°	Yes
HEADREST	Height of headrest upper edge above seat surface	—	Min. 840	—
	Height of headrest itself	Min. 120	—	—
	Width of headrest	Min. 250	—	—
LUMBAR PAD	Forward arch of lumbar support from lumbar surface	—	10–50	—
	Height of lumbar support lower edge over seat surface	—	180–250	—

— Not applicable

\* The width of the lower part of the backrest should correspond approximately to the width of the seat surface and grow narrower as it goes up.

(Sumber: Ch.102 Transport Industry and Warehousing. Ergonomics of Bus Driving In Encyclopedia of Occupational Health and Safety / edited by Janne Mager Stellman. 4<sup>th</sup> ed.

Geneva: International Labour Office, 1998, Vol 3, pt. XVII)

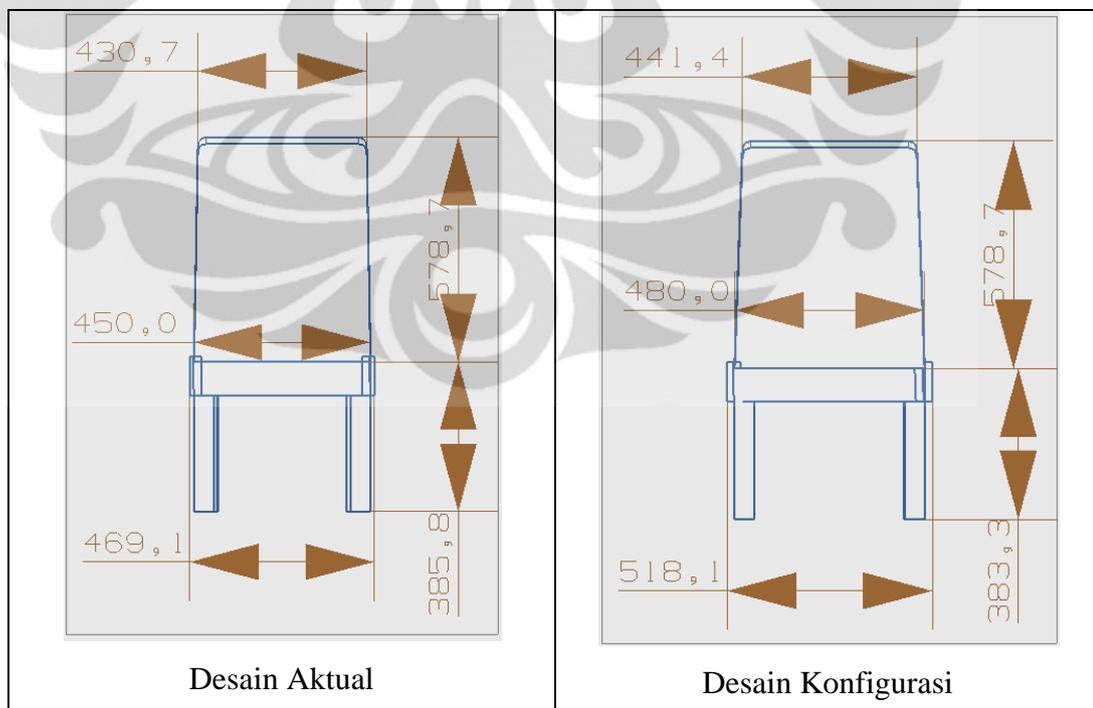
Selain berdasarkan acuan internasional, perancangan desain tempat duduk pengemudi juga harus mempertimbangkan antropometri pengemudi bus. **Tabel 3.5** menjabarkan data antropometri yang dibutuhkan dalam pembuatan desain tempat duduk pengemudi bus.

**Tabel 3.5** Data Antropometri untuk Tempat Duduk Pengemudi Bus

Component		Antropometri	
Seat	Seat Surface	Depth	Buttock Popliteal Height
		Width	Hip Breadth
	Seat Back	Height	Sitting Shoulder Height
		Width S	Girth Breadth
		Width L	Hip Breadth
Height		Popliteal Height	

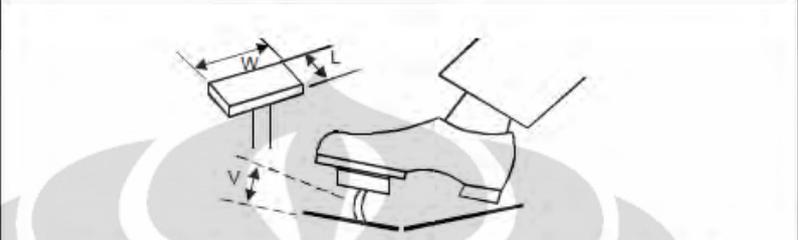
Dengan mempertimbangan acuan internasional dan data antropometri pengemudi yang telah dikumpulkan maka **Tabel 3.6** dibawah ini merupakan desain tempat duduk pengemudi aktual dan konfigurasi usulan.

**Tabel 3.6** Desain Tempat Duduk Pengemudi Aktual dan Konfigurasi Usulan



b. Pedal

Perancangan pedal untuk kabin pengemudi harus menyesuaikan aturan baku mengenai pedal dan antropometri pengemudi bus. **Gambar 3.8** merupakan acuan internasional dalam pembuatan pedal bus.



Operating Pedal Parameter	Recommended Design Value	
Minimum Length (L)		
Occasional use	8 cm	3 in.
Constant use	25 cm	10 in.
Minimum Width (W)	9 cm	3.5 in.
Displacement Range (V)		
For ankle flexion	12-65 mm	0.5-2.5 in.
For whole leg movement	25-180 mm	1.7 in.
Angle of ankle from neutral position, recommended minimum-maximum range, operator seated.	20° up, 30° down	
Counter-pressures, recommended minimum-maximum	15-90 N	3.3-19.8 lbf

**Gambar 3.8** Standar Internasional untuk Pedal Bus

(Sumber: Department of Defense, 1974; Ely, Thomson, and Orlansky, 1963; Kellermann, Van Wely, and Willems, 1963; Murrell, 1965 in Eastman Kodak, 2003)

Selain berdasarkan acuan internasional, perancangan pedal bus juga harus mempertimbangkan antropometri pengemudi bus. **Tabel 3.7** menjabarkan data antropometri yang dibutuhkan dalam pembuatan desain pedal bus.

**Tabel 3.7** Data Antropometri untuk Pedal Bus

Component		Antropometri
Pedals	Angle	-
	Width	-
	Length	Foot Length

Dengan mempertimbangan acuan internasional dan data antropometri pengemudi yang telah dikumpulkan maka **Tabel 3.8** dibawah ini merupakan desain pedal bus aktual dan konfigurasi usulan.

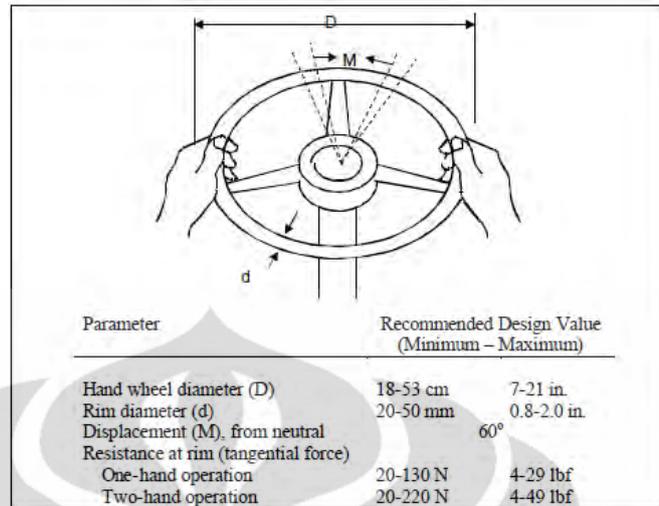
**Tabel 3.8** Desain Pedal Bus Aktual dan Konfigurasi Usulan

Desain Aktual	
Desain Konfigurasi	

c. Setir Kemudi

Perancangan setir kemudi untuk kabin pengemudi harus menyesuaikan aturan baku mengenai setir kemudi dan antropometri pengemudi bus.

**Gambar 3.9** merupakan acuan internasional dalam pembuatan rancangan setir kemudi.



**Gambar 3.9** Acuan Internasional untuk Setir Kemudi Bus

(Sumber: Department of Defense, 1974; Ely, Thomson, and Orlansky, 1963; Kellermann, van Wely, and Willems, 1963 Eastman Kodak, 2003)

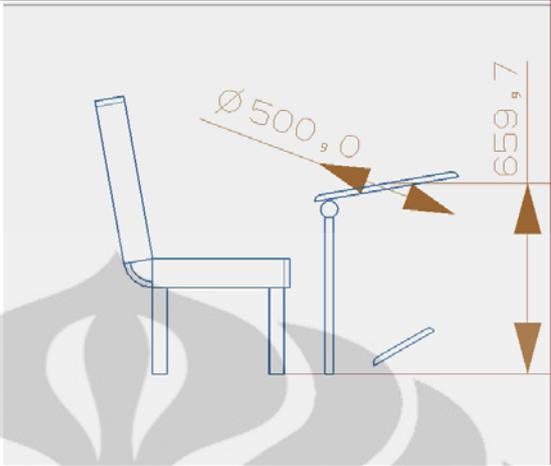
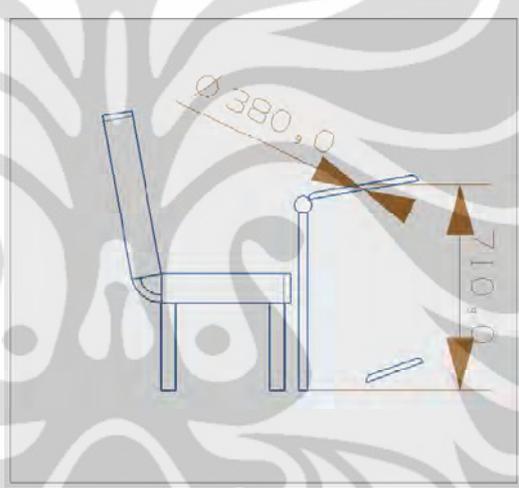
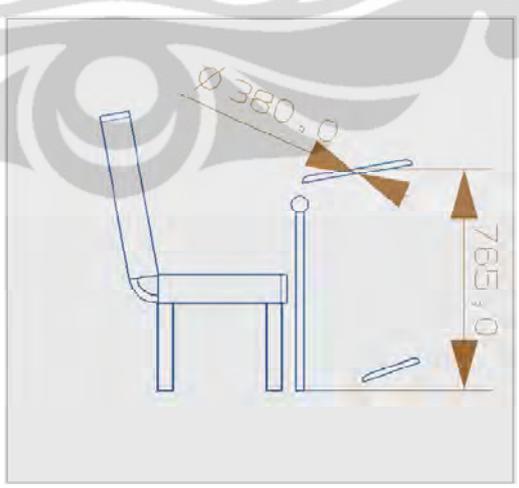
Selain berdasarkan acuan internasional, perancangan setir kemudi bus juga harus mempertimbangkan antropometri pengemudi bus. **Tabel 3.9** menjabarkan data antropometri yang dibutuhkan dalam pembuatan desain setir kemudi bus.

**Tabel 3.9** Data Antropometri untuk Setir Kemudi Bus

<i>Component</i>		<i>Antropometri</i>
<i>Steering Wheel</i>	<i>Hand Wheel Diameter</i>	<i>Shoulder Breadth</i>
	<i>Rim Diameter</i>	-
	<i>Height</i>	<i>Popliteal Height, Sitting Shoulder Height, Shoulder Elbow Length</i>

Dengan mempertimbangan acuan internasional dan data antropometri pengemudi yang telah dikumpulkan maka **Tabel 3.10** dibawah ini merupakan desain setir kemudi bus aktual dan konfigurasi usulan.

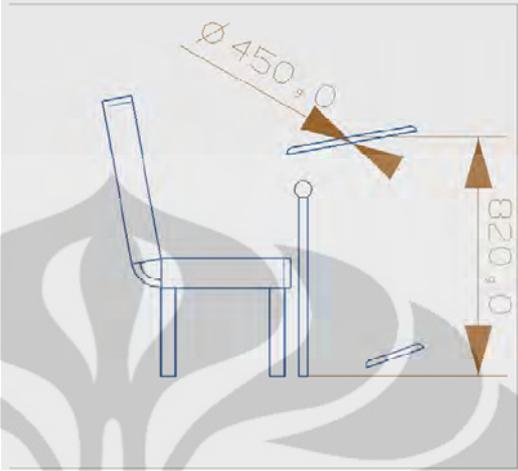
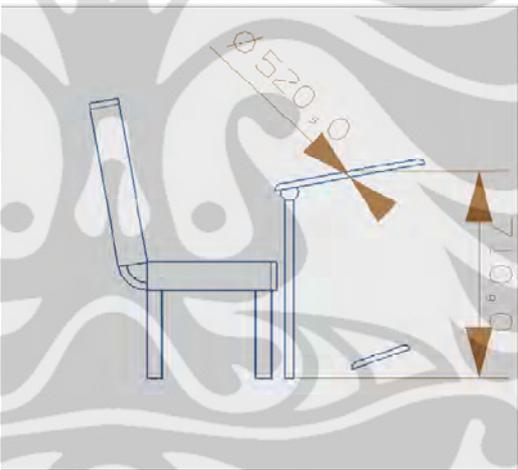
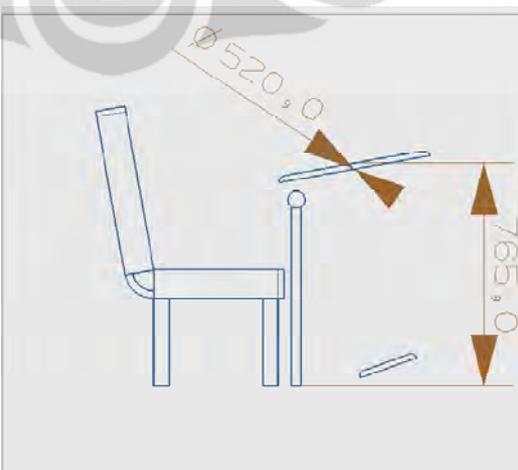
**Tabel 3.10** Desain Setir Kemudi Bus Aktual dan Konfigurasi Usulan

Aktual	
Konfigurasi 1	
Konfigurasi 2	

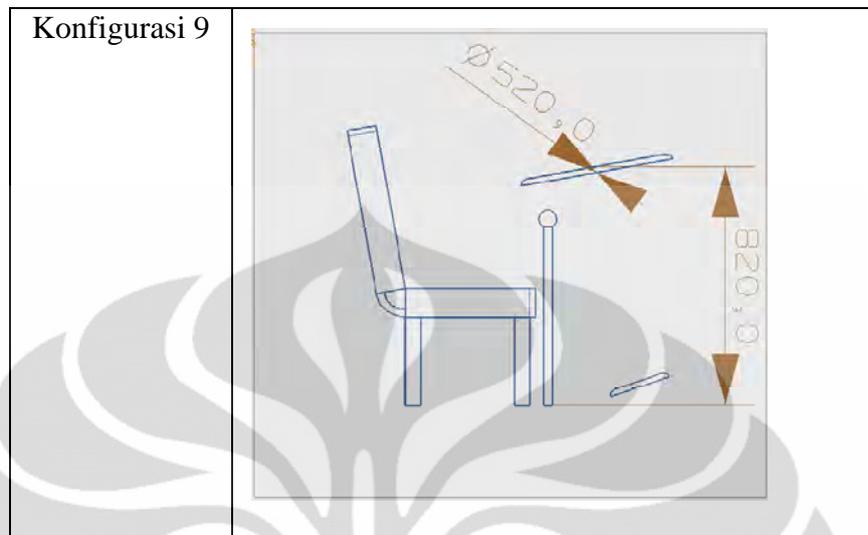
**Tabel 3.10** Desain Setir Kemudi Bus Aktual dan Konfigurasi Usulan  
(Sambungan)

Konfigurasi 3	
Konfigurasi 4	
Konfigurasi 5	

**Tabel 3.10** Desain Setir Kemudi Bus Aktual dan Konfigurasi Usulan  
(Sambungan)

Konfigurasi 6	
Konfigurasi 7	
Konfigurasi 8	

**Tabel 3.10** Desain Setir Kemudi Bus Aktual dan Konfigurasi Usulan  
(Sambungan)



**Tabel 3.11** Rangkuman Konfigurasi Usulan Kabin Pengemudi Bus

No	Konfigurasi	Posisi	%	Seat							Pedal			Steering Wheel			
				Seat Surface			Seatback				Height	Angle	Width	Length	Hand Wheel Diameter	Rim diameter	Height
				Depth	Width H	Width P	Height	Width S	Width L								
1	1a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	71 cm	
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	71 cm	
	1b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	71 cm	
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	71 cm	
2	2a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	76.5 cm	
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	76.5 cm	
	2b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	76.5 cm	
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	76.5 cm	
3	3a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	82 cm	
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	82 cm	
	3b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	82 cm	
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	38 cm	2 cm	82 cm	
4	4a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	71 cm	
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	71 cm	

**Tabel 3.11** Rangkuman Konfigurasi Usulan Kabin Pengemudi Bus (Sambungan)

4b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	71 cm	
	Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	71 cm	
5	5a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	76.5 cm
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	76.5 cm
	5b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	76.5 cm
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	76.5 cm
6	6a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	82 cm
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	82 cm
	6b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	82 cm
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	45 cm	2 cm	82 cm
7	7a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	71 cm
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	71 cm
	7b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	71 cm
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	71 cm
8	8a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	76.5 cm
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	76.5 cm
	8b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	76.5 cm
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	76.5 cm

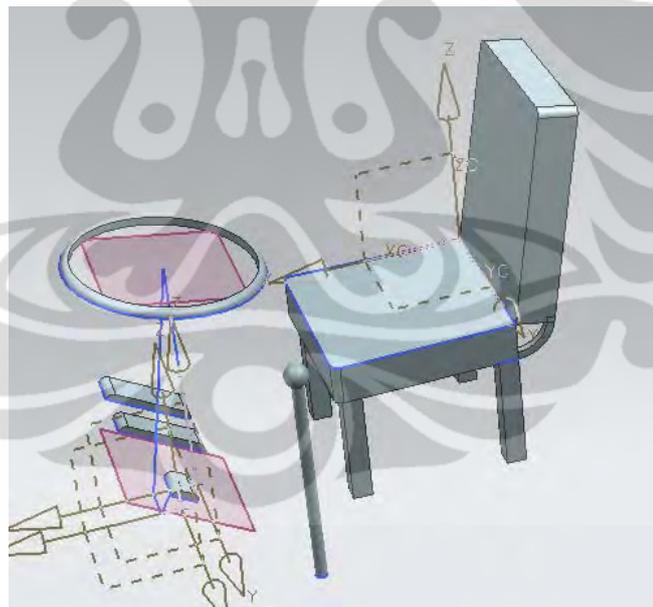
**Tabel 3.11** Rangkuman Konfigurasi Usulan Kabin Pengemudi Bus (Sambungan)

9	9a	Gas	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	82 cm
		Gas	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	82 cm
	9b	Gigi	5	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	82 cm
		Gigi	95	44 cm	48 cm	52 cm	57 cm	46.8 cm	48 cm	40 cm	20°	9 cm	7 cm	52 cm	2 cm	82 cm

### 3.2.1.2 Pembuatan *Virtual Environment*

Tahap pertama yang dilakukan dalam proses pembuatan model simulasi untuk menganalisa postur pengemudi bus adalah membuat *virtual environment*. Proses pembuatan *virtual environment* dilakukan dengan bantuan *software* Jack. Untuk dapat menyusun *virtual environment* yang merepresentasikan kondisi aktual, pembuatan model *virtual environment* terlebih dahulu dibuat di UGS NX 6.0. Pembuatan *virtual environment* untuk simulasi pengemudi bus berdasarkan dimensi komponen-komponen kabin pengemudi bus pada kondisi aktual.

Setelah membuat *virtual environment* dalam *software* UGS NX 6.0, desain kabin pengemudi bus tersebut harus disimpan dengan format tertentu (.igs) agar desain tersebut dapat diimport ke dalam *software* Jack. Setelah itu *virtual environment* dapat digabungkan dengan *virtual human modeling* dalam *software* Jack. **Gambar 3.10** merupakan hasil pembuatan model kabin pengemudi bus aktual dengan menggunakan *software* UGS NX 6.0.

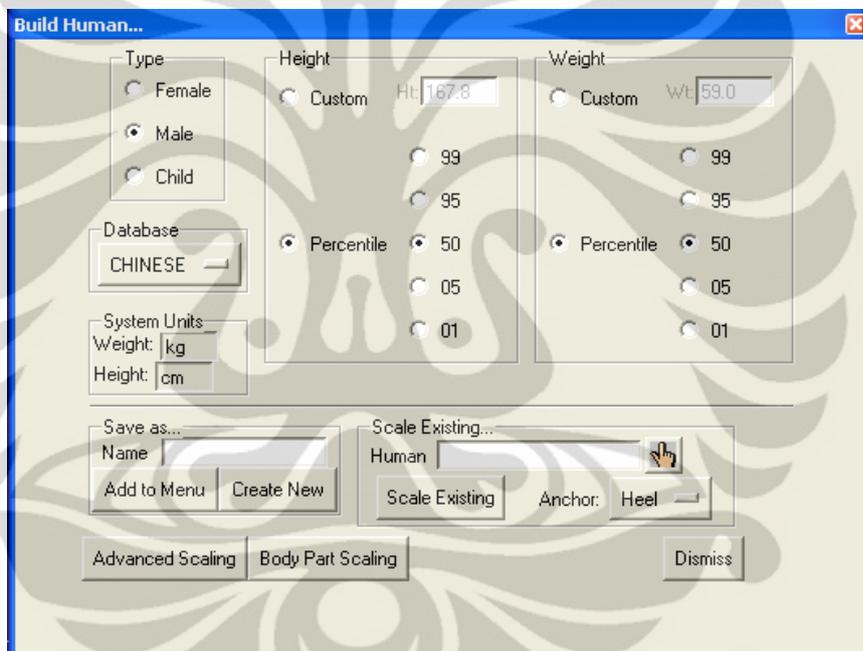


**Gambar 3.10** Model Kabin Pengemudi Bus Aktual

### 3.2.1.3 Pembuatan *Virtual Human Modeling*

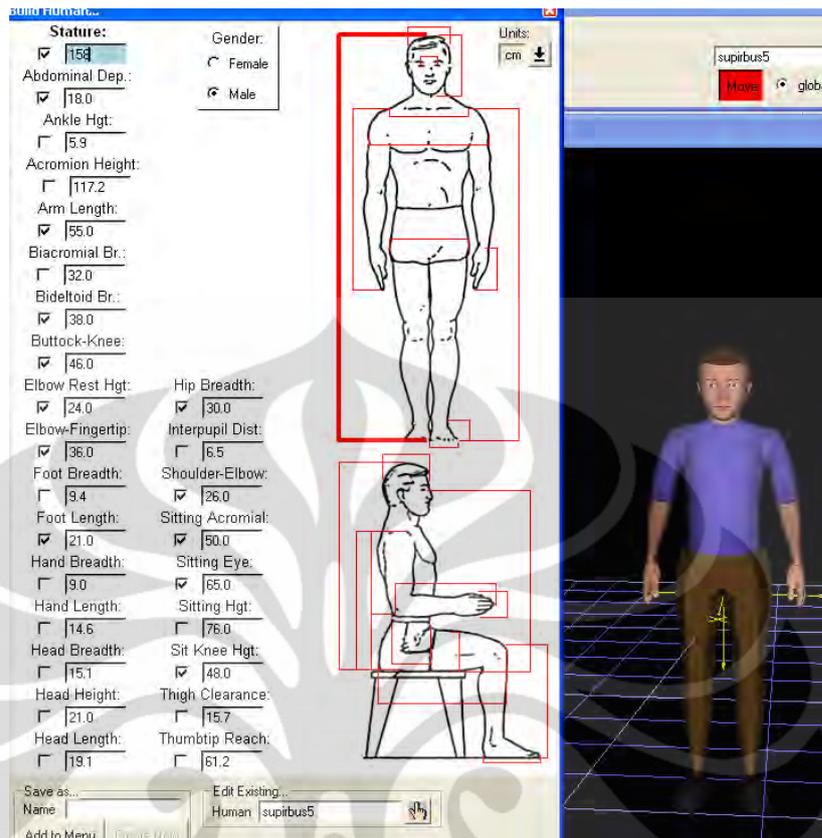
Pembuatan *virtual human modeling* berdasarkan data antropometri pengemudi bus yang telah dikumpulkan. Hal ini agar *virtual human* yang akan disimulasikan dalam *software* Jack akan merepresentasikan keadaan pengemudi bus pada kondisi aktual sehingga analisa mengenai pengaruh rancangan desain

pengemudi terhadap performa pengemudi serta resiko timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* pada pengemudi bus 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 3.11** *Dialog Box Build Human*

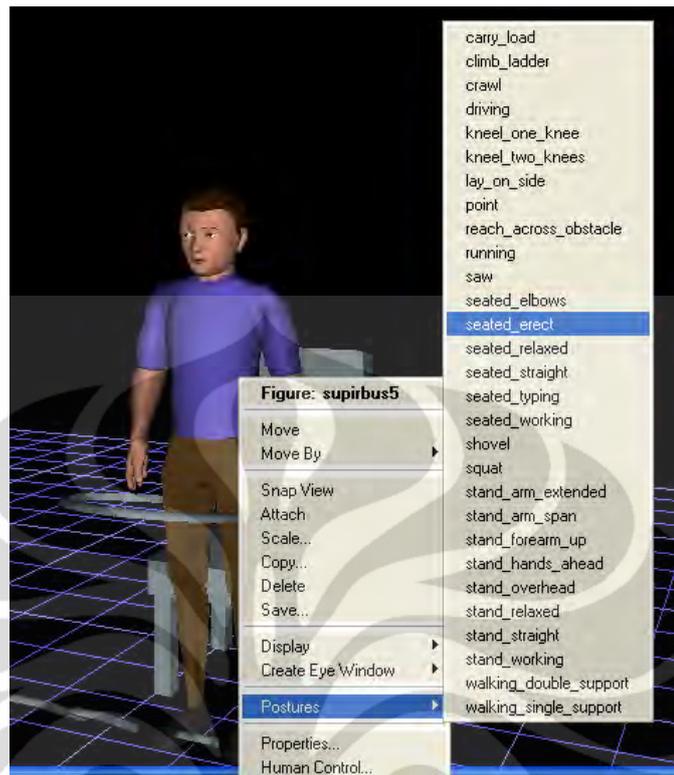
Untuk menginput data antropometri yang lebih lengkap, penginputan data antropometri dilakukan dalam *Advanced Human Scaling*, dimana terdapat 25 bagian tubuh yang dapat diatur sesuai dengan data yang dimiliki. Data antropometri yang diinput antara lain: tinggi badan, lebar abdominal, panjang lengan, 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 3.12** *Virtual Human* dengan Persentil 5

#### 3.2.1.4 Penempatan *Virtual Human* ke dalam *Virtual Environment*

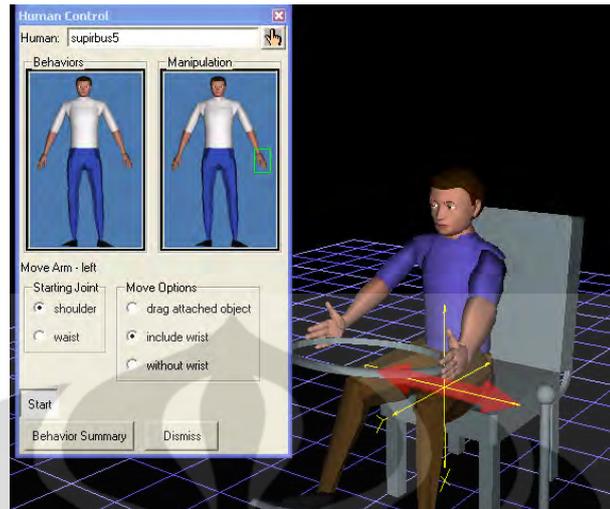
Proses penempatan *virtual human* ke dalam *virtual environment* dilakukan dengan memodifikasi postur *virtual human* menyerupai postur pengemudi bus yaitu duduk pada posisi *erect*. Posisi duduk *erect* merupakan postur duduk dimana tangan dan kaki berada dalam posisi membentuk sudut  $90^\circ$  dan tulang belakang berada dalam posisi tegak. Pemilihan postur dapat dilakukan dengan memilih jenis postur yang tersedia pada *posture library* pada *software* Jack. **Gambar 3.13** menunjukkan jenis postur yang tersedia dalam *software* Jack.



**Gambar 3.13** Postur pada *Posture Library*

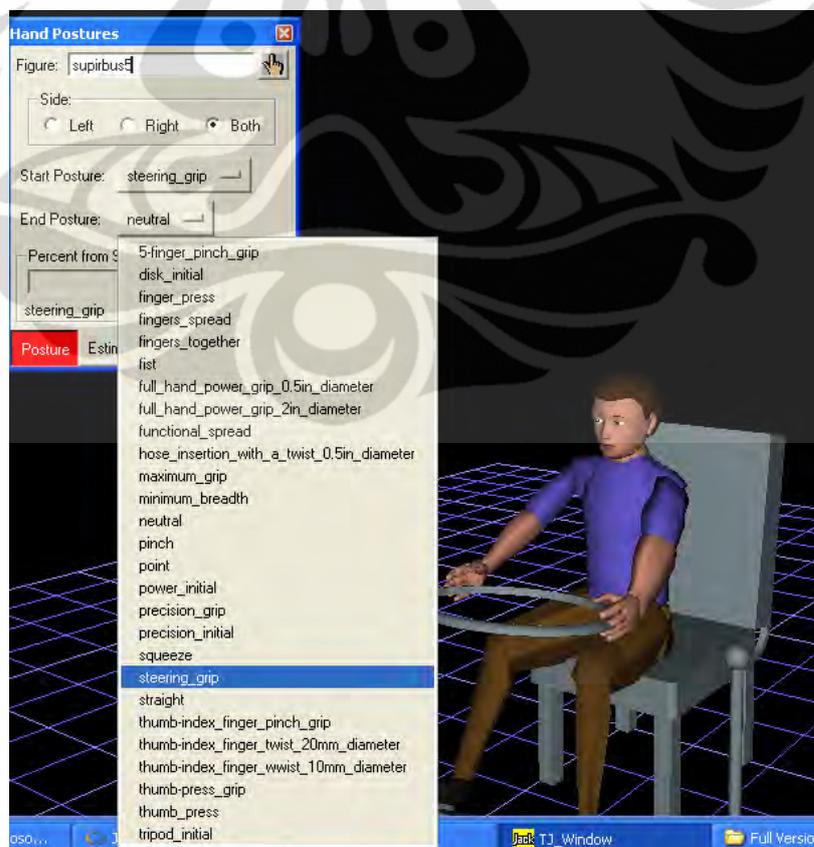
Kemudian dari postur *seated erect*, langkah selanjutnya adalah melakukan modifikasi persendian tiap bagian tubuh dengan menggunakan *human control*. Modifikasi atau manipulasi dengan *human control* akan mengubah kelompok (*joint*) pada tubuh *virtual human modeling*. *Human control* dapat digunakan untuk memanipulasi bagian tangan, kaki, kepala, mata, dan bahu. Untuk penelitian ini, *human control* digunakan untuk memanipulasi bagian tangan dan kaki.

Sebagai salah satu contoh konfigurasi yang dibuat untuk mensimulasikan postur tubuh pengemudi pada saat melakukan kontrol pada setir kemudi dan menginjak pedal gas. Posisi telapak kaki berada diatas pedal dengan posisi paha mengangkang. Hal ini dikarenakan perubahan posisi telapak kaki dapat mengubah posisi bagian kaki yang lain salah satunya adalah paha. Posisi tangan berada disamping setir kemudi dengan posisi tangan belum mengepal. Perubahan posisi telapak tangan juga dapat mempengaruhi posisi bagian tangan yang lain misalnya siku, lengan bawah, lengan atas, ataupun bahu. **Gambar 3.14** menunjukkan contoh pembuatan postur dengan menggunakan *human control*.



**Gambar 3.14** Pembuatan Postur Tubuh dengan *Human Control*

Selain postur standar tubuh, postur tangan juga bisa diatur sedemikian rupa hingga menyerupai posisi genggamannya yang diinginkan. *Hand Posture* dapat memodifikasi genggamannya seperti genggamannya tangan pengemudi pada saat mengoperasikan setir kemudi. **Gambar 3.15** menunjukkan contoh pembuatan postur tangan dengan menggunakan *hand posture*.

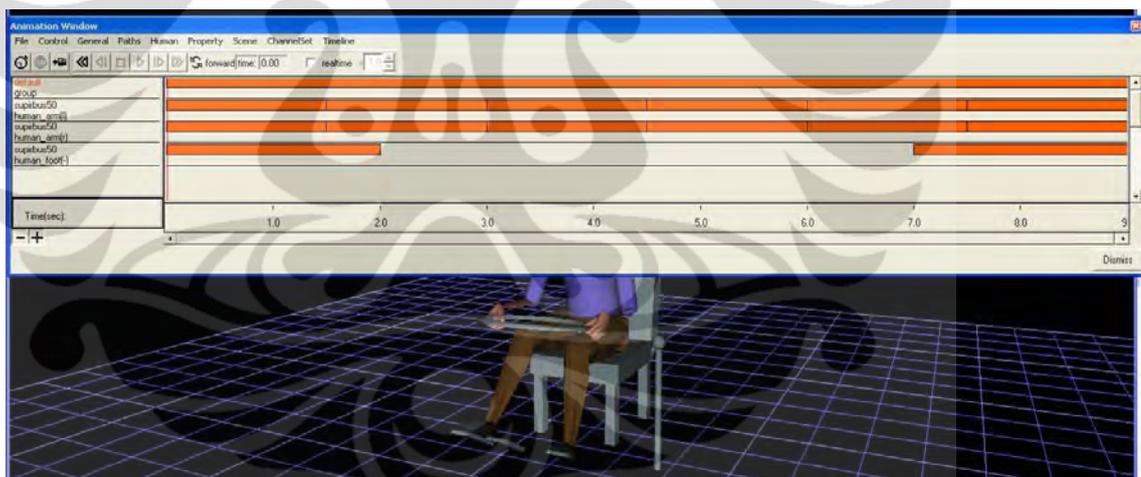


**Gambar 3.15** Pembuatan Postur Tangan dengan *Hand Postures*

### 3.2.1.5 Pemberian Tugas Kerja pada *Virtual Human Modeling*

Sebelum dianalisis, gerakan pengemudi bus disimulasikan melalui gerakan yang disusun dalam tiap jarak waktu tertentu sesuai dengan detail tugas yang dilakukan pengemudi. Rangkuman gerakan yang tersusun pada akhirnya menjadi sebuah animasi gerakan yang mendekati keadaan sebenarnya maupun keadaan yang diinginkan.

Pembuatan animasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Animation System*. Dalam membuat gerakan beberapa faktor yang harus dimasukkan adalah waktu mulai serta durasi waktu untuk setiap postur. Setiap posisi manusia masuk dalam urutan timeline dalam satuan waktu tertentu. Terdapat 2 hasil gerakan animasi pada penelitian ini, yaitu pada saat postur pengemudi menginjak pedal gas dan mengemudikan setir dan pada saat pengemudi melakukan perpindahan gigi. Hasil kedua gerakan animasi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3.16** Tampilan Jendela Animasi

### 3.2.1.6 Verifikasi dan Validasi Model

Suatu model telah lolos verifikasi jika model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen. Verifikasi model mengindikasikan bahwa model tersebut dapat dipercaya konsepsinya, namun dengan tidak mempedulikan validitas dari konsepsi tersebut. Uji verifikasi dilakukan dengan uji analisis unit.

Uji analisis unit adalah memastikan ketepatan angka dan satuan yang digunakan dalam tahap penginputan data. Dalam proses input data antropometri,

uji analisis unit dilakukan dengan memastikan satuan yang digunakan. Dalam uji ini, dihasilkan hasil verifikasi yang tepat, karena ukuran satuan yang digunakan pada model sama dengan yang digunakan dalam pengukuran pada kondisi aktual, dimana satuan tinggi badan adalah centimeter dan satuan berat badan adalah kilogram. Sedangkan dalam memasukkan data durasi waktu kerja, satuan durasi yang digunakan adalah detik, sesuai dengan pengukuran yang dilakukan pada kondisi aktual.

**Gambar 3.17** Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri Model Manusia Digital

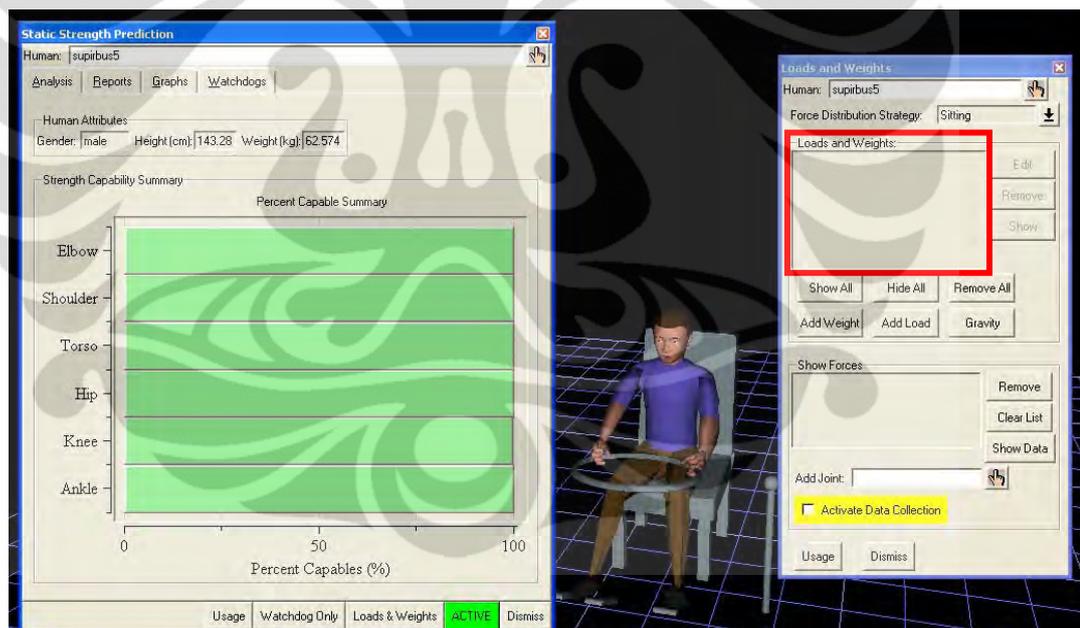
**Gambar 3.18** Uji Analisis Unit Variabel Durasi Waktu pada *Animation System*

Setelah verifikasi, dilakukan validasi yang dilakukan dengan melakukan uji kondisi ekstrim. Uji kondisi ekstrim dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwa model berjalan sesuai dengan hubungan logis antar variabel yang ada dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan dan irasional dalam

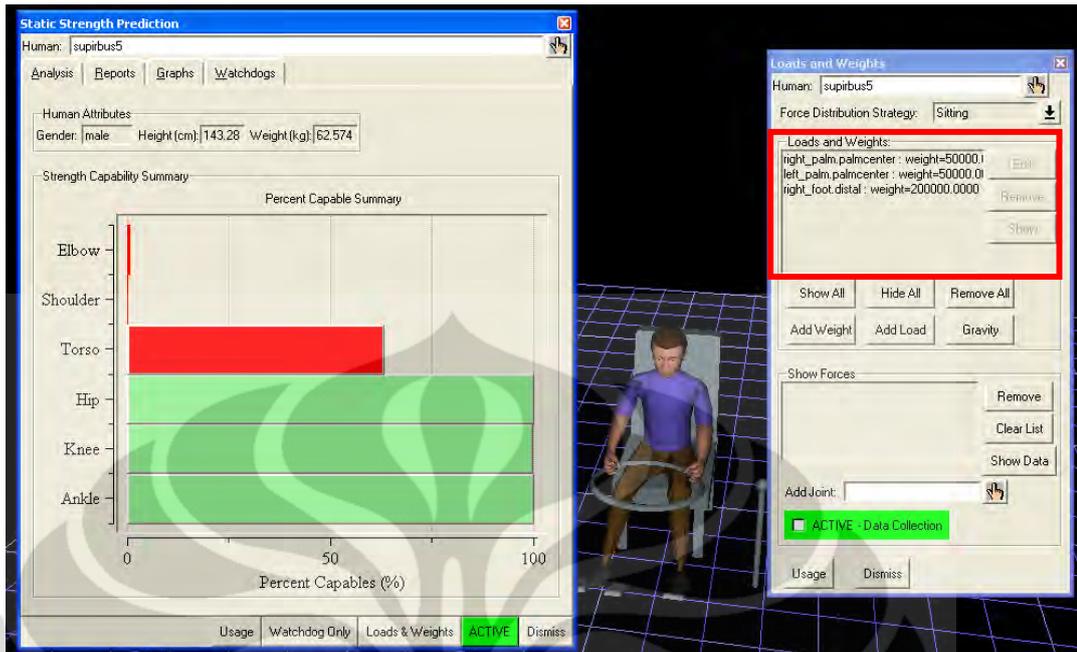
model. Dalam pengujian ini, dilakukan beberapa perbandingan hasil penilaian ergonomis pada kondisi ekstrim dengan kondisi normal pada model manusia.

Berikut ini hasil penilaian nilai analisis SSP, LBA, RULA, dan OWAS pada kedua kondisi yang dijadikan perbandingan. Untuk perbandingan nilai SSP, LBA dan RULA, perubahan yang diberikan pada model manusia adalah beban pada kedua tangan model pengemudi. Sedangkan untuk perbandingan nilai OWAS, perubahan yang diberikan pada model adalah tingkat *flexion* pada bagian torso model.

Pada analisis SSP sebelum model mendapatkan beban pada kedua tangan dan kaki, kapabilitas menunjukkan 100% untuk semua bagian tubuh. Namun, setelah kedua tangan dan kaki diberikan beban ekstrim, kapabilitas bagian tubuh menurun secara drastis. Bagian tubuh siku dan punggung menunjukkan kapabilitas 0%.

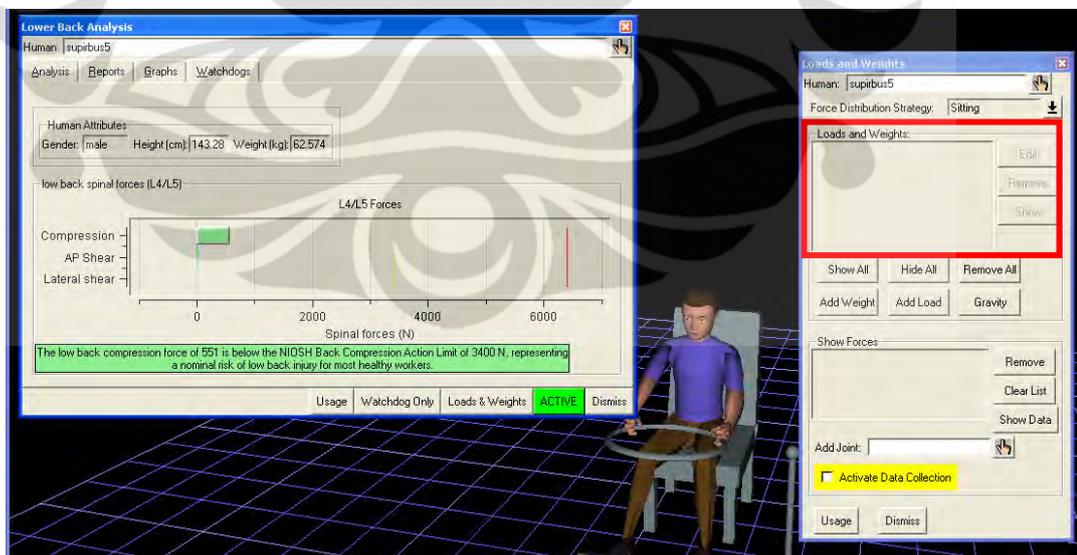


**Gambar 3.19** Analisis SSP Sebelum Diberikan Beban Ekstrim

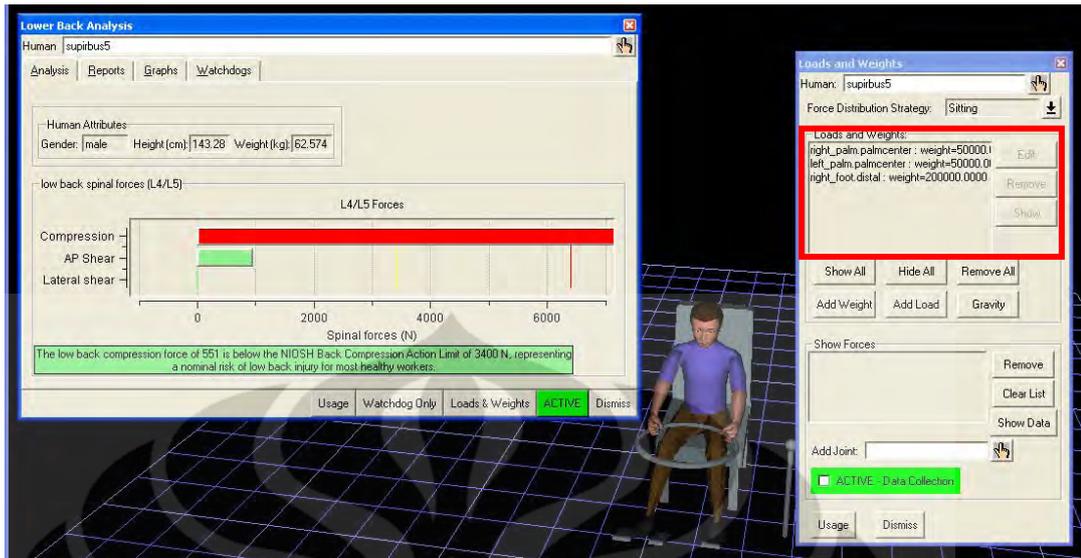


**Gambar 3.20** Analisis SSP Setelah Diberikan Beban Ekstrim

Pada analisis LBA sebelum model diberikan beban ekstrim pada kedua tangan dan kaki nilai LBA yang ditunjukkan adalah 551 N. Namun setelah model diberikan beban ekstrim pada kedua tangan dan kaki, nilai LBA yang ditunjukkan naik menjadi lebih dari 6000 N.

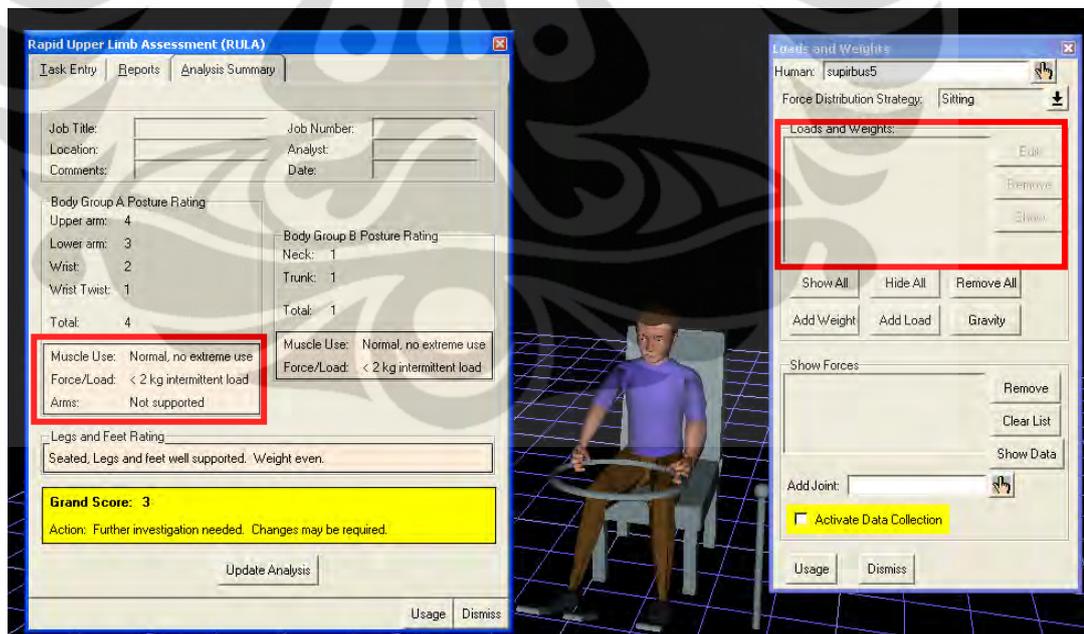


**Gambar 3.21** Analisis LBA Sebelum Diberikan Beban Ekstrim

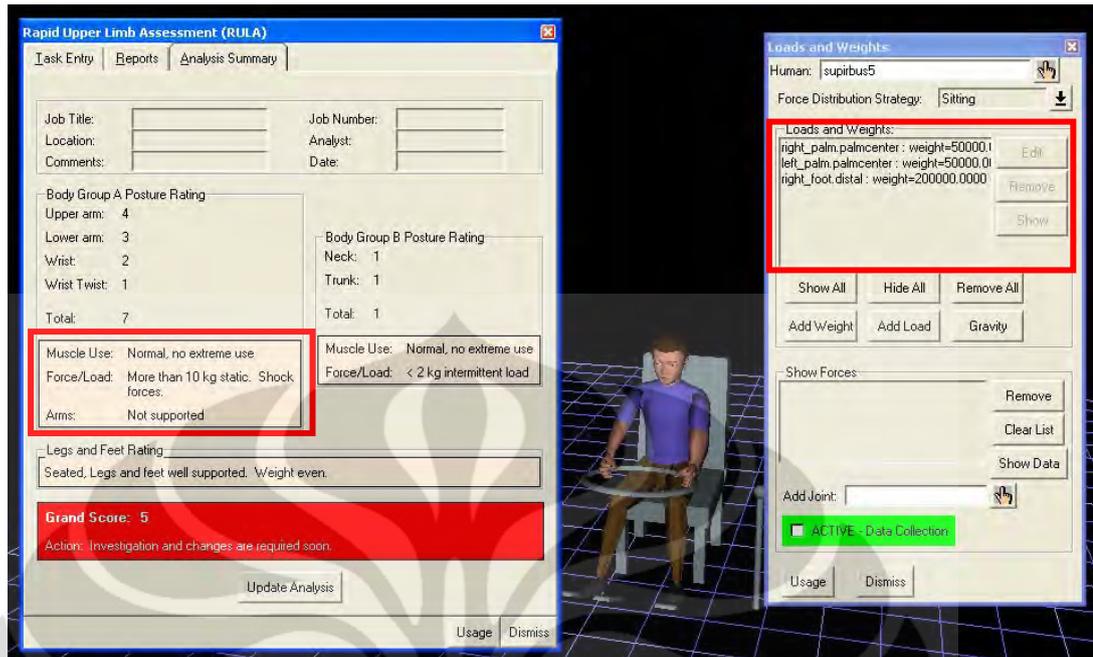


**Gambar 3.22** Analisis LBA Setelah Diberikan Beban Ekstrim

Pada analisis RULA sebelum model diberikan beban ekstrim pada kedua tangan dan kaki *grand score* RULA yang ditunjukkan adalah 3. Namun setelah model diberikan beban ekstrim pada kedua tangan dan kaki, *grand score* RULA yang ditunjukkan naik menjadi 5.

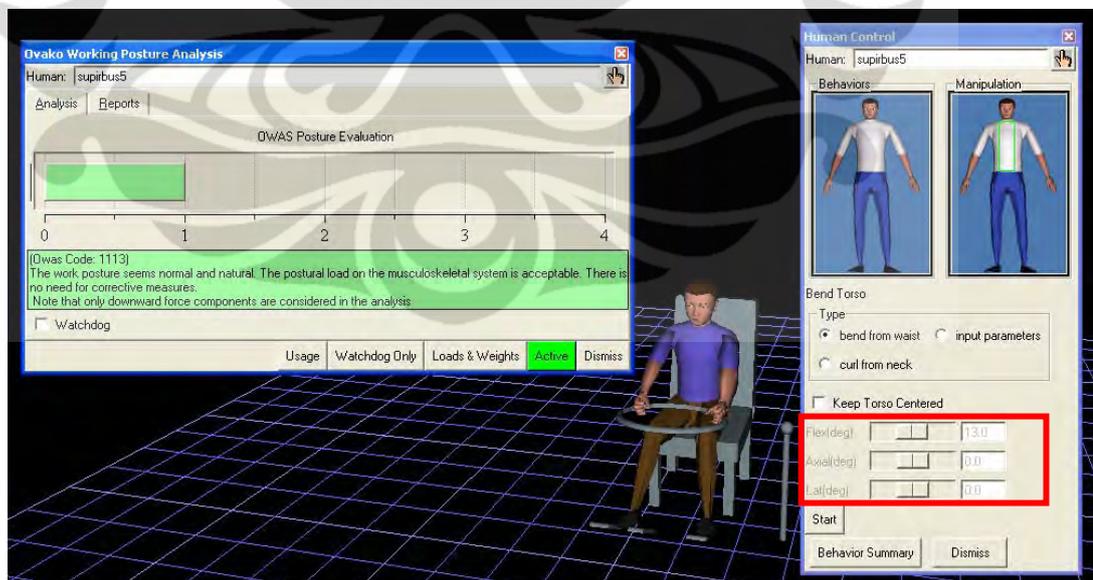


**Gambar 3.23** Analisis RULA Sebelum Diberikan Beban Ekstrim

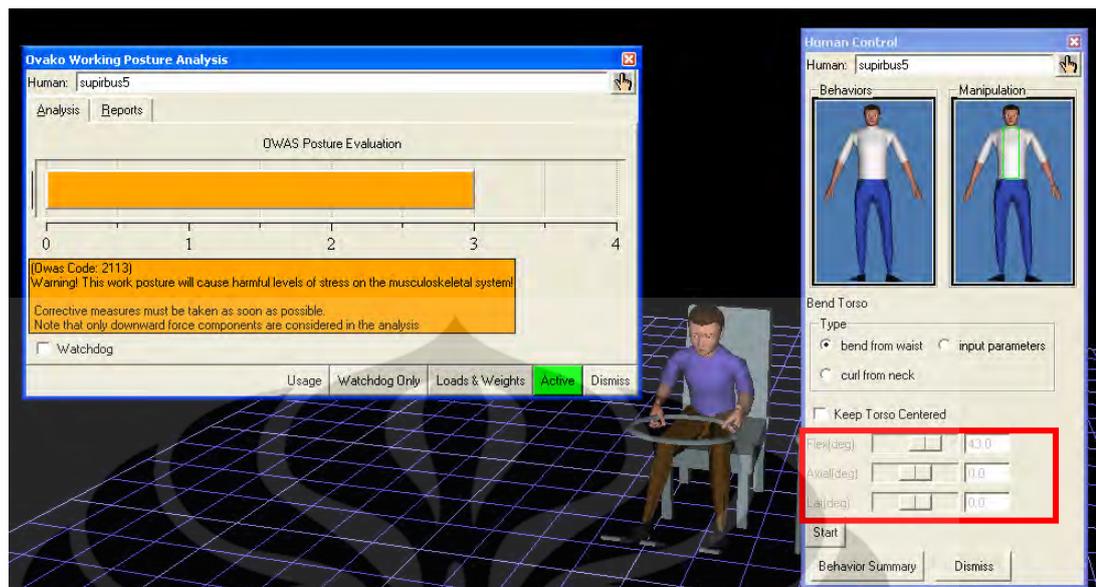


**Gambar 3.24** Analisis RULA Setelah Diberikan Beban Ekstrim

Pada analisis OWAS sebelum postur model dimodifikasi pada bagian *torso* dengan *flexion* 13, nilai OWAS yang ditunjukkan adalah 1. Namun setelah postur model dimodifikasi pada bagian *torso* dengan *flexion* ekstrim 43, nilai OWAS yang ditunjukkan naik menjadi 3.



**Gambar 3.25** Analisis OWAS Sebelum Modifikasi Flexion Ekstrim



**Gambar 3.26** Analisis OWAS Sesudah Modifikasi Flexion Ekstrim

Berdasarkan hasil uji yang dilakukan, terlihat perbedaan yang cukup signifikan terjadi apabila terjadi perubahan pada beban dan postur tubuh model. Sehingga dapat dikatakan bahwa model telah valid.

### 3.2.1.7 Analisa Kinerja Tugas dengan Jack *Task Analysis Toolkit* (TAT) dan *Occupant Packaging Toolkit* (OPT)

Tahap akhir setelah perancangan model secara keseluruhan yaitu melakukan analisis kinerja dari rangkaian kerja yang disusun dalam berbagai postur kerja dalam kesatuan gerakan simulasi dalam animasi.

Simulasi postur dilakukan untuk virtual human dengan percentil 5, 50, dan 95 serta untuk postur pengemudi menginjak pedal gas dan mengemudikan setir dan postur pengemudi melakukan perpindahan gigi.

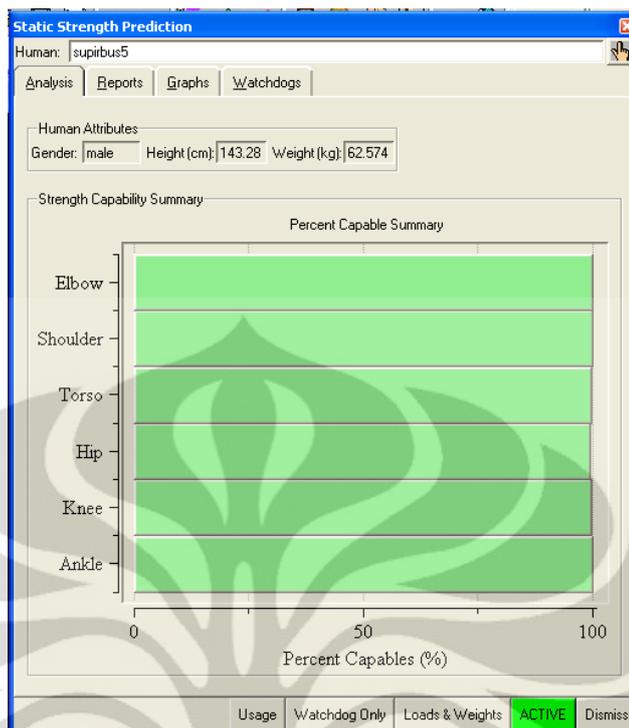
Sebelum analisis dilakukan, model *virtual human* diberikan beban sesuai dengan kondisi aktual. Pemberian beban dilakukan melalui modul *load and weight* yang terdapat dalam *software* Jack. Pemberian beban ini bertujuan agar model simulasi yang dilakukan merepresentasikan kondisi aktual yang melibatkan adanya beban dalam proses mengemudi bus. **Gambar 3.27** merupakan contoh pemberian beban pada simulasi yang dilakukan dengan postur mengendalikan setir kemudi dan menginjak pedal pada model *virtual human* dengan persentil 5.



**Gambar 3.27** Dialog Box Loads and Weight

Analisis dilakukan dengan menggunakan media tools yang tersedia dalam software Jack, yaitu *Task Analysis Toolkit (TAT)* dan *Occupant Packaging Toolkit (OPT)*. Dalam penelitian ini tools yang digunakan adalah *Static Strength Prediction, Low Back Analysis, Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment* dan *Comfort Assessment*.

Hasil analisis SSP digambarkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan tingkat presentase kapabilitas sejumlah pengemudi dari populasi yang ada yang mampu melakukan postur yang akan dianalisis. Dalam hasil SSP untuk postur pengemudi menginjak pedal gas dan mengoperasikan setir kemudi dengan *virtual human* percentil 5, didapat presentase kapabilitas lebih dari 95% untuk seluruh bagian tubuh dan alat gerak atas hingga bawah.



**Gambar 3.28** Grafik SSP Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas Persentil 5 pada Kondisi Aktual

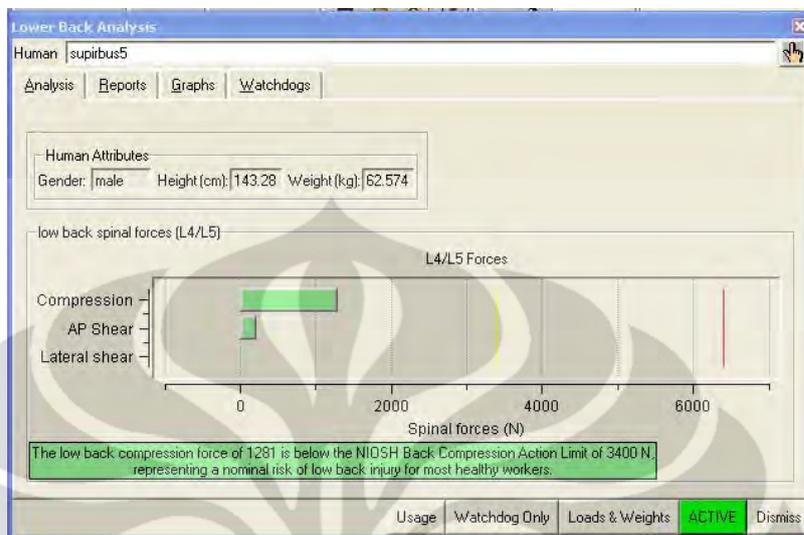
Selain grafik *percent capable summary*, SSP juga mengeluarkan hasil analisis dalam bentuk **Tabel 3.12** seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 3.12** SSP *Capability Summary Chart* Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas Persentil 5 pada Kondisi Aktual

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-6	FLEXN	67	16	100	-6	FLEXN	70	17	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-9	ABDUCT	73	18	100	-10	ABDUCT	78	19	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	95	26	100	-1	--	102	28	100
	Humeral Rot	-1	LATERAL	45	10	100	-2	LATERAL	45	10	100
Trunk	Flex/Ext	-56	EXTEN	429	135	100					
	Lateral Bending	0	--	438	99	100					
	Rotation	0	--	103	28	100					
	Hip	-0	--	235	94	99	0	--	160	44	100
	Knee	0	--	169	59	100	0	--	170	60	100
	Ankle	0	--	164	54	100	0	--	160	53	100

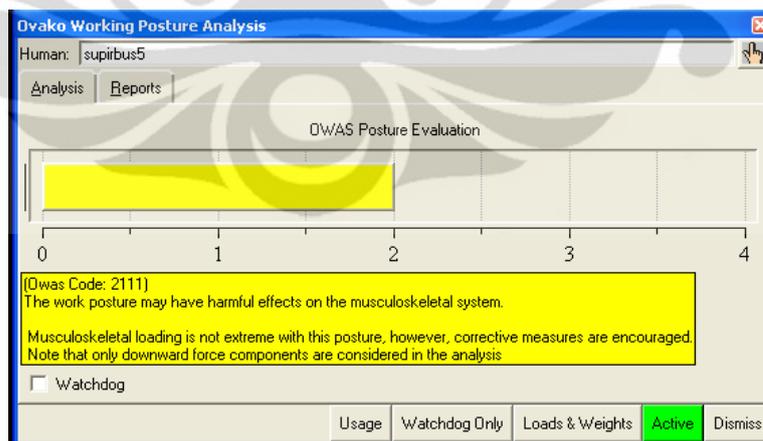
LBA dianalisis untuk mengevaluasi postur pengemudi secara *real-time* sehingga dapat ditelusuri waktu ketika tekanan pada posisi ekstrim. LBA mengeluarkan nilai tekanan kompresi yang diterima oleh pengemudi. **Gambar**

3.29 merupakan analisis LBA pada pengemudi dengan postur menginjak pedal dan mengendalikan kemudi setir pada *virtual human* dengan persentil 5.



**Gambar 3.29** Hasil Analisis LBA pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada *Virtual Human* dengan Persentil 5

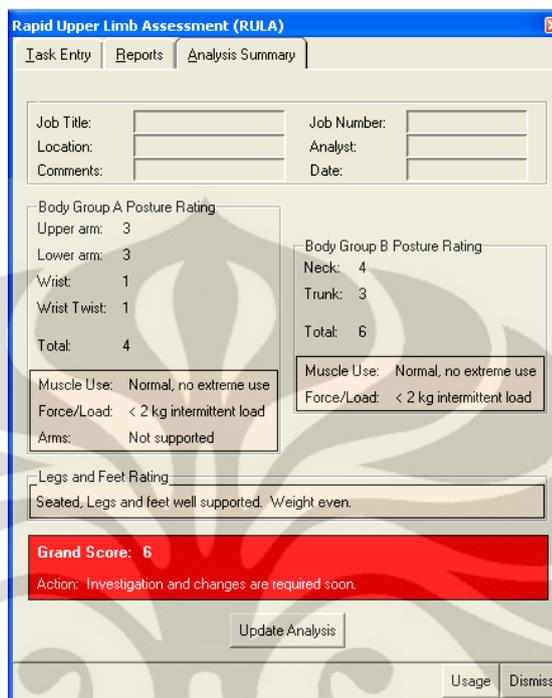
Analisis OWAS dilakukan untuk mengevaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur pengemudi berdasarkan posisi punggung, lengan, dan kaki. Angka yang digunakan untuk analisis berkisar antara 1-4. **Gambar 3.30** merupakan analisis OWAS pada pengemudi dengan postur menginjak pedal dan mengendalikan kemudi setir pada *virtual human* dengan persentil 5.



**Gambar 3.30** Hasil Analisis OWAS pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada *Virtual Human* dengan Persentil 5

Analisa RULA digunakan untuk memeriksa apakah ada pembebanan biomekanik dalam pembebanan postur pada pengemudi di kondisi aktual. Hasil *grandscore* untuk analisis RULA pada postur menginjak pedal dan

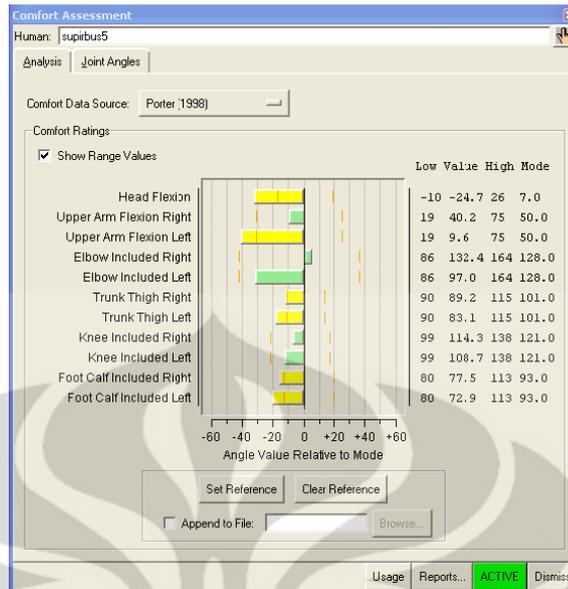
mengendalikan kemudi setir pada *virtual human* dengan persentil 5 ditunjukkan oleh angka pada **Gambar 3.31** berikut.



Rapid Upper Limb Assessment (RULA)	
Task Entry	Reports
Analysis Summary	
Job Title:	Job Number:
Location:	Analyst:
Comments:	Date:
<b>Body Group A Posture Rating</b> Upper arm: 3 Lower arm: 3 Wrist: 1 Wrist Twist: 1 Total: 4	
<b>Body Group B Posture Rating</b> Neck: 4 Trunk: 3 Total: 6	
Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load Arms: Not supported	Muscle Use: Normal, no extreme use Force/Load: < 2 kg intermittent load
<b>Legs and Feet Rating</b> Seated, Legs and feet well supported. Weight even.	
<b>Grand Score: 6</b> Action: Investigation and changes are required soon.	
Update Analysis	
Usage Dismiss	

**Gambar 3.31** Hasil Analisis RULA pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada *Virtual Human* dengan Persentil 5

*Comfort Assessment* dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan anggota tubuh berdasarkan sudut yang dibentuk oleh anggota tubuh tersebut. **Gambar 3.32** merupakan analisis *comfort assessment* pada pengemudi dengan postur menginjak pedal dan mengendalikan kemudi setir pada *virtual human* dengan persentil 5. Dari **Gambar 3.32** dapat diketahui bahwa bagian yang mengalami ketidaknyamanan yang diakibatkan sudut yang dibentuk oleh bagian tubuh yaitu kepala, lengan, batang tubuh, dan kaki. Hal ini diketahui dari warna kuning yang menandakan sudut yang dibentuk oleh bagian tubuh tersebut mengalami ketidaknyamanan.



**Gambar 3.32** Hasil Analisis *Comfort Assessment* pada Pengemudi dengan Postur Kemudi dan Gas pada *Virtual Human* dengan Persentil 5

**3.2.1.8 Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)**

Untuk mendapatkan nilai yang utuh dari analisis ergonomi postur dan kinerja *virtual human* di dalam kabin pengemudi bus digunakan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). PEI didapat dari nilai-nilai analisis ergonomis yang sebelumnya telah dilakukan yaitu LBA, OWAS, dan RULA. Formula perhitungan nilai PEI telah ditunjukkan pada bab 2 yaitu.

$$I_1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I_2 = \frac{OWAS}{4} \quad I_3 = \frac{RULA}{7} \quad mr = 1,42 \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

Langkah pertama yang harus dilakukan sebelum menghitung nilai PEI adalah memastikan persentase populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan tersebut. Nilai batas minimum adalah 90% digunakan sebagai persyaratan bahwa pekerjaan tersebut dapat dilakukan oleh manusia lain yang memiliki umur, gender dan tinggi yang berbeda.

Hasil analisis SSP untuk postur pengemudi menginjak gas dan mengemudikan setir dan postur pengemudi mengganti gigi yang dimiliki *software Jack* menunjukkan kapabilitas diatas 90%. Hal ini menandakan bahwa postur

pengemudi menginjak gas dan mengemudikan setir dan postur pengemudi mengganti gigi dapat dianalisis dengan *tool* LBA, OWAS, dan RULA.

Untuk menghitung nilai PEI, digunakanlah rangkuman hasil analisis LBA, OWAS dan RULA yang dapat dilihat pada **Tabel 3.13** berikut ini.

**Tabel 3.13** Resume Nilai LBA, OWAS, dan RULA

Desain	Simulasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
Aktual	Gas P5	1281	2	6	2.093908
	Gas P50	1654	2	6	2.203613
	Gas P95	1803	2	6	2.247437
	Gigi P5	1600	2	7	2.390588
	Gigi P50	1688	2	6	2.213613
	Gigi P95	2032	2	6	2.31479

Dengan memasukkan nilai-nilai di atas pada persamaan 2.1 di atas, maka akan didapat nilai PEI dari simulasi Gas P5. Berikut perhitungan dengan menggunakan metode PEI :

$$\begin{aligned} \text{PEI} &= 1281N / 3400N + 2/4 + 6/7*1.42 \\ &= 2.093908 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan PEI tersebut akan dibandingkan dengan nilai PEI dari simulasi lainnya untuk menentukan PEI yang mewakili konfigurasi aktual. Hasil PEI konfigurasi awal akan dibandingkan dengan nilai PEI dari konfigurasi lainnya untuk menentukan konfigurasi mana yang paling optimal.

## **BAB 4**

### **ANALISIS**

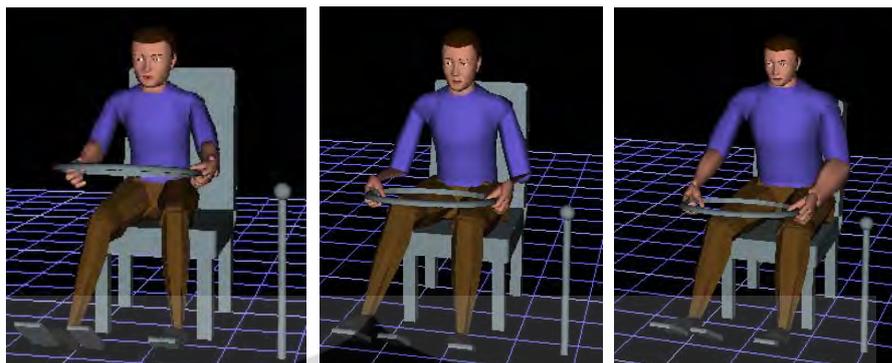
Bab ini berisikan pembahasan hasil pengolahan data yang dilakukan dengan dengan *software* Jack. Analisis dilakukan pada *output* yang dihasilkan oleh *software* Jack untuk kemudian mendapatkan usulan rancangan desain kabin pengemudi bus yang ergonomis.

#### **4.1 Analisis Kondisi Aktual**

Analisis kondisi aktual dilakukan untuk mengetahui nilai-nilai ergonomi aktual terhadap postur pengemudi pada kabin pengemudi. Berdasarkan nilai-nilai ergonomi tersebut dapat di analisis tingkat kenyamanan aktual yang diberikan oleh kabin pengemudi bus terhadap pengemudi tersebut. Selain itu, resiko gangguan *musculoskeletal disorder* yang dialami pengemudi akibat terjadinya ketidaksesuaian ergonomis antara pengemudi dengan kendaraan, mesin, ataupun mekanisme mengendarai bus tersebut dapat dideteksi dan dilakukan analisis terhadap postur pengemudi. Dari hasil-hasil analisis kondisi aktual tersebut, dapat dilihat sejauh mana kondisi usulan memberikan perbaikan terhadap tingkat kenyamanan dan pengurangan resiko terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* yang dialami oleh pengemudi bus.

##### **4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Proses Setir dan Gas**

Model simulasi kondisi aktual pada saat pengemudi mengendalikan setir kemudi dan menekan pedal gas diilustrasikan oleh *virtual human modeling* dengan persentil 5, 50, dan 95 yang berada dalam posisi duduk dengan kedua tangan berada di kemudi setir dan kaki berada di pedal bus seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Model Simulasi Aktual Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas dengan Persentil 5, 50, dan 95

Analisis untuk model aktual pada saat pengemudi mengendalikan setir kemudi dan menginjak pedal gas dimulai dengan menganalisis nilai SSP atau *Static Strength Prediction*. Analisis ini dilakukan dengan mengecek nilai kapabilitas yang ditimbulkan oleh postur mengemudi terhadap *virtual human modeling* yang digunakan. Nilai SSP pada simulasi harus lebih besar dari 90%, agar aktivitas dan postur mengemudi yang dikenakan pada *virtual human modeling* dapat dilakukan oleh sebagian besar populasi pengemudi lainnya yang memiliki umur, jenis kelamin, dan tinggi badan yang berbeda.

Hasil nilai SSP yang dikeluarkan oleh *software* Jack untuk aktivitas mengemudikan setir dan menginjak pedal gas menunjukkan bahwa mayoritas pengemudi dengan persentil 5, 50, dan 95 memiliki kekuatan (*muscle strenght*) yang cukup untuk mengemudikan bus. Hal ini ditunjukkan dengan hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh utama pengemudi, yang menandakan bahwa aktivitas mengemudi bus dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, RULA, dan *comfort assessment*.

**Tabel 4.1** *Capability Summary Chart* Model Persentil 5 Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-6	FLEXN	67	16	100	-6	FLEXN	70	17	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-9	ABDUCT	73	18	100	-10	ABDUCT	78	19	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	95	26	100	-1	--	102	28	100
	Humeral Rot	-1	LATERAL	45	10	100	-2	LATERAL	45	10	100
Trunk	Flex/Ext	-56	EXTEN	429	135	100					
	Lateral Bending	0	--	438	99	100					
	Rotation	0	--	103	28	100					
	Hip	-0	--	235	94	99	0	--	160	44	100
	Knee	0	--	169	59	100	0	--	170	60	100
	Ankle	0	--	164	54	100	0	--	160	53	100

**Tabel 4.2** *Capability Summary Chart* Model Persentil 50 Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas

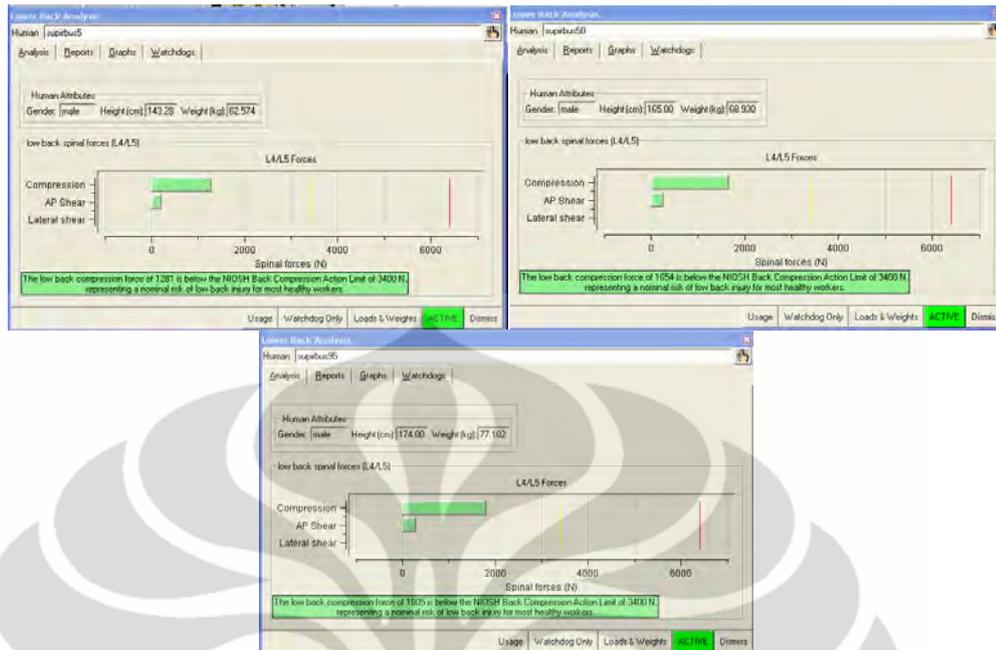
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-7	FLEXN	66	16	100	-7	FLEXN	72	18	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-12	ABDUCT	70	17	100	-12	ABDUCT	76	19	100
	Rotation Bk/Fd	-2	FORWARD	94	26	100	-1	FORWARD	102	28	100
	Humeral Rot	-2	LATERAL	43	10	100	-2	LATERAL	47	11	100
Trunk	Flex/Ext	-58	EXTEN	442	139	100					
	Lateral Bending	1	--	402	91	100					
	Rotation	0	--	101	27	100					
	Hip	-0	--	235	94	99	-0	--	240	96	99
	Knee	0	--	164	58	100	0	--	168	59	100
	Ankle	0	--	176	58	100	0	--	156	51	100

**Tabel 4.3** *Capability Summary Chart Model Persentil 95 Pada Saat Pengemudi Mengendalikan Setir Kemudi dan Menginjak Pedal Gas*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-9	FLEXN	66	16	100	-10	FLEXN	72	18	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-15	ABDUCT	70	17	100	-15	ABDUCT	78	19	100
	Rotation Bk/Fd	-3	FORWARD	95	26	100	-2	FORWARD	104	28	100
	Humeral Rot	-3	LATERAL	39	9	100	-1	LATERAL	50	11	100
Trunk	Flex/Ext	-84	EXTEN	434	137	99					
	Lateral Bending	0	--	402	91	100					
	Rotation	0	--	101	27	100					
	Hip	0	--	154	42	100	-0	--	232	93	99
	Knee	0	--	170	59	100	0	--	170	60	100
	Ankle	0	--	157	52	100	0	--	144	48	100

Setelah melakukan analisis SSP, analisis selanjutnya yang dilakukan adalah analisis nilai LBA, OWAS, RULA, dan *comfort assessment*. Terdapat perbedaan pada nilai analisis yang dihasilkan untuk persentil 5, 50, dan 95. Hal ini dikarenakan usaha yang dilakukan oleh ukuran tubuh minimal, rata-rata, dan maksimal tentu akan berbeda.

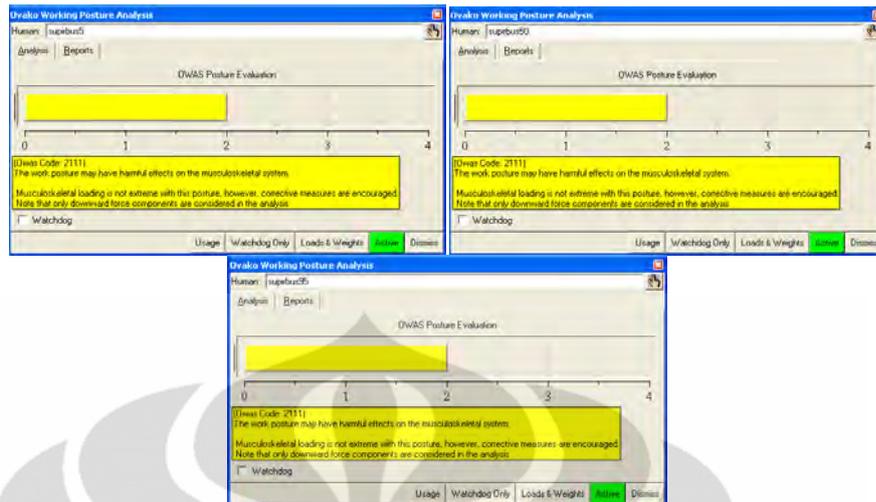
Besar tekanan kompresi yang dialami oleh *virtual human modeling* dengan persentil 5 adalah 1281 N, sedangkan tekanan kompresi pada *virtual human modeling* dengan persentil 50 adalah 1654 N, dan tekanan kompresi pada *virtual human modeling* dengan persentil 95 adalah 1805 N. Nilai LBA tersebut berdasarkan standar NIOSH merupakan nilai yang masih dapat diterima karena berada dibawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Besar nilai LBA dipengaruhi oleh beban yang ditanggung oleh *virtual human modeling* tersebut yang dibebankan pada kedua tangan dan kaki. Beban yang dibebankan pada kedua tangan merupakan beban yang berasal dari aktivitas mengendalikan setir kemudi seberat 4.2 kg, sedangkan beban yang dibebankan pada kaki berasal dari aktivitas pengemudi menginjak pedal gas seberat 7.2 kg. Tinggi setir kemudi yang kurang ergonomis mengharuskan pengemudi berada pada posisi agak membungkuk untuk dapat menjangkau kemudi tersebut. Hal ini menyebabkan terjadinya momen pada lumbar 4 dan lumbar 5 spinal tulang belakang searah sumbu x.



**Gambar 4.2** Perbandingan Nilai LBA pada Persentil 5,50, dan 95

Nilai OWAS memberikan analisis kenyamanan postur mengemudi dalam simulasi. Analisis OWAS tidak menghasilkan penilaian yang berbeda antara kedua persentil. Model persentil 5, 50, dan 95 menunjukkan nilai 2 yang berarti postur mengemudi yang dilakukan tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan pada masa mendatang cukup diperlukan. Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS dengan kode 2-1-1-1 yang menunjukkan empat penilaian detail masing-masing elemen OWAS, diantaranya :

1. Bagian batang tubuh pengemudi dalam kategori 2 karena posisi tulang belakang membungkuk ke depan.
2. Bagian tangan pengemudi dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan pengemudi tidak berada di atas bahu bahkan terletak di bawah tinggi siku untuk menghasilkan posisi menggapai ke bawah.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki pengemudi dalam kategori 1 karena pengemudi dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh *virtual human modeling* pengemudi tergolong ke dalam kategori 1 karena beban tersebut masih berada dibawah 10 kg.



**Gambar 4.3** Perbandingan Nilai OWAS pada Persentil 5, 50, dan 95

Nilai RULA merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Nilai RULA dibedakan menjadi penilaian untuk kelompok tubuh A dan B. Kelompok A adalah nilai untuk postur lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Kelompok B adalah nilai untuk leher, punggung, dan kaki.

**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai RULA pada Persentil 5, 50, dan 95

SCORE	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
<b>Persentil 5</b>	3	3	1	1	4	3
<b>Group Score</b>	4				6	
<b>Total</b>	6					
<b>Persentil 50</b>	3	2	2	1	4	3
<b>Group Score</b>	4				6	
<b>Total</b>	6					
<b>Persentil 95</b>	4	3	1	1	4	3
<b>Group Score</b>	4				6	
<b>Total</b>	6					

Nilai RULA total yang dihasilkan pada *virtual human modeling* untuk persentil 5, 50 dan 95 sama, yaitu 6. Dengan nilai RULA adalah 6, berarti postur mengemudi yang disimulasikan sangat beresiko bagi tubuh sehingga inverstigasi dan perusbahan harus segera dilakukan. Nilai 6 merupakan nilai akhir dari formulasi nilai elemen-elemen RULA, diantaranya :

1. Posisi Lengan Atas

Posisi lengan atas *virtual human modeling* pengemudi saat mengendalikan setir kemudi adalah membentuk sudut  $46^{\circ}$ - $90^{\circ}$ , dengan lengan tidak berputar, juga tidak ada yang menahan atau menyokong, sehingga nilai yang ditetapkan untuk lengan atas adalah 3. Namun untuk persentil 95, karena ukuran lengan yang lebih panjang, maka nilai untuk lengan atas lebih besar, yaitu 4. Hal ini disebabkan oleh posisi sudut lengan atas yang lebih besar saat mengendalikan setir kemudi.

#### 2. Posisi Lengan Bawah

Posisi lengan bawah *virtual human modeling* pengemudi hampir lurus sehingga sudut termasuk  $< 60^{\circ}$  sehingga nilai adalah 2. Namun posisi lengan bawah ini melewati garis tengah dan keluar dari sisi tubuh sehingga nilai bertambah 1. Nilai akhir yang ditetapkan adalah 3. Namun untuk persentil 50, karena ukuran lengan yang berada di tengah-tengah, maka nilai untuk lengan bawah lebih kecil, yaitu 2. Hal ini disebabkan posisi sudut lengan bawah yang lebih kecil saat mengendalikan setir kemudi.

#### 3. Posisi Pergelangan Tangan

Posisi pergelangan tangan pengemudi berada pada posisi normal, dimana pergelangan tangan tidak membentuk sudut atau  $0^{\circ}$  sehingga menghasilkan nilai bertambah 1, dengan posisi yang tidak menyimpang dari garis tengah, sehingga nilai akhir adalah 1. Namun untuk persentil 50, karena ukuran lengan yang berada di tengah-tengah, maka nilai untuk pergelangan tangan lebih besar yaitu 2. Hal ini disebabkan posisi sudut pergelangan tangan yang lebih besar saat mengendalikan setir kemudi.

#### 4. Posisi Perputaran Pergelangan Tangan

Postur pergelangan tangan mengalami perputaran di tengah rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan sehingga nilainya adalah 1.

#### 5. Posisi Leher

Posisi leher termasuk mengangkat kepala, dan leher tidak berputar maupun membengkok sehingga nilai postur leher adalah 4.

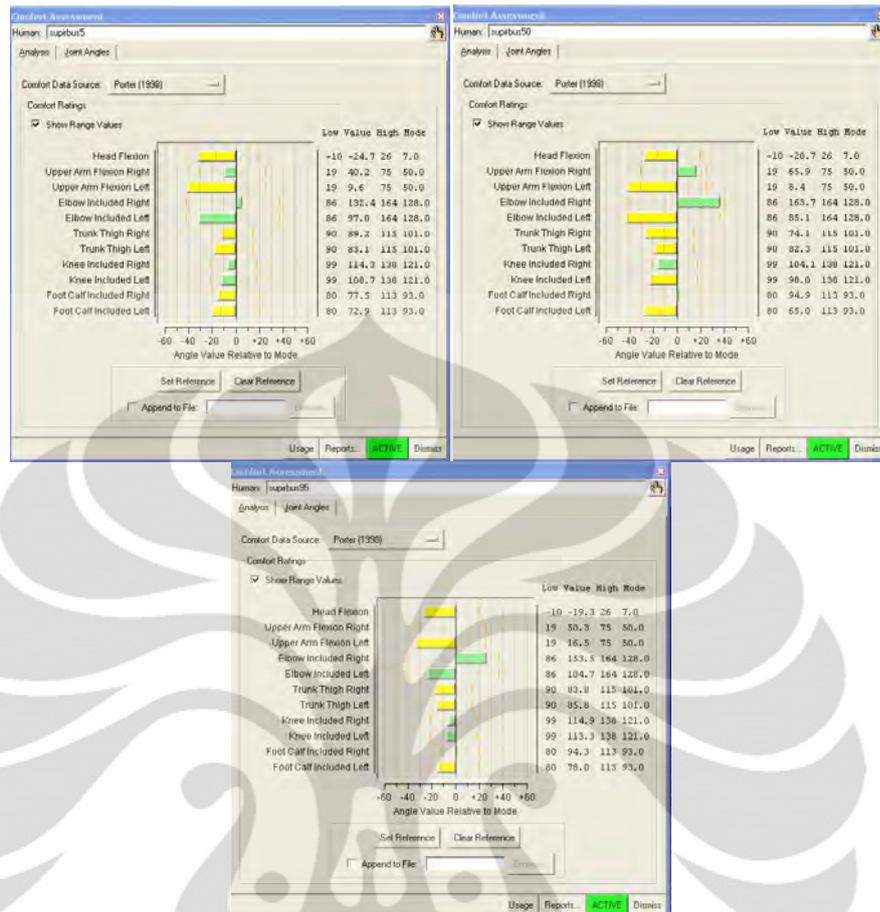
#### 6. Posisi Batang Tubuh

Nilai untuk posisi batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa *virtual human modeling* pengemudi berada dalam posisi duduk dengan membungkuk  $20^{\circ}$

sampai  $60^\circ$  dengan persebaran berat tubuh ditopang oleh pinggul dan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar.

Penambahan nilai dipengaruhi oleh faktor penggunaan otot dan beban yang diangkat. Nilai RULA untuk grup A dan grup B ditambah dengan nilai +1, jika *virtual human modeling* berada pada kondisi sebagian besar otot statis atau gerakan berulang hingga empat kali atau lebih per menit. Sedangkan untuk kondisi dimana beban lebih dari 10 kg membuat terjadinya penambahan nilai sebanyak 3 sehingga nilai akhir untuk grup A dan B adalah 4 dan 6. Dengan matriks RULA, didapatkan nilai akhir gabungan untuk dua grup adalah 6.

*Comfort Assessment* merupakan *tools* yang dapat menetapkan *human model* yang disimulasikan dalam *software* Jack berada pada postur yang nyaman. *Comfort assessment* meramalkan *human model* duduk secara nyaman berdasarkan sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan. Tidak ada perbedaan antara persentil 5, 50, dan 95 untuk bagian tubuh yang merasakan tidak nyaman. Yang membedakan antara persentil 5, 50, dan 95 adalah besar sudut yang dibentuk oleh tulang sendi, dimana sudut yang dibentuk tulang sendi pada persentil 5 lebih besar dibandingkan dengan sudut yang dibentuk tulang sendi pada persentil 95. Hal ini dikarenakan ukuran tubuh persentil 5 yang lebih kecil dibandingkan persentil 95, sehingga untuk melakukan aktivitas mengemudi persentil 5 diperlukan sudut yang lebih besar untuk menjangkau setir kemudi ataupun pedal.



**Gambar 4.4** Perbandingan *Comfort Assessment* pada Persentil 5, 50, dan 95

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari kabin pengemudi bus aktual serta resiko terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* yang ditimbulkan, maka nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI.

**Tabel 4.5** Rekapitulasi Nilai Kondisi Aktual Pengemudi Mengemudikan Setir dan Menginjak Pedal Gas

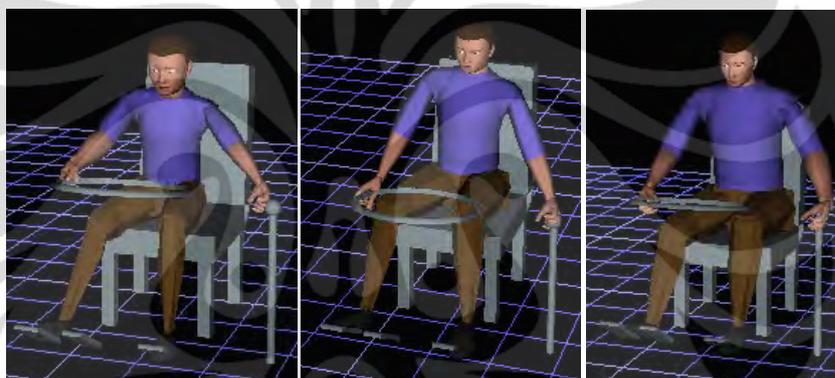
Desain	Posisi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Aktual	Gas	5	1281	2	6	2.09391
Aktual	Gas	50	1654	2	6	2.20361
Aktual	Gas	95	1803	2	6	2.24803

Perhitungan PEI dengan menggunakan persamaan 2.1, didapat nilai PEI untuk pengemudi mengemudikan setir kemudi dan menginjak pedal gas pada kondisi aktual yang dilakukan oleh model persentil 5 adalah 2.09391, sedangkan untuk model persentil 50, nilai PEI adalah 2.20361, dan untuk model persentil 95, nilai PEI adalah 2.24803. Hal ini menandakan persentil 95 dalam aktivitas

mengemudikan setir dan menginjak pedal gas memiliki postur yang lebih tidak nyaman dibandingkan persentil 5 dan persentil 50. Hal ini dikarenakan persentil 95 memiliki tubuh yang lebih panjang sehingga usaha yang dikeluarkan untuk mengemudikan setir lebih besar.

#### 4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Proses Penggantian Gigi

Simulasi pengemudi mengganti gigi yang disesuaikan dengan kondisi aktual dilakukan oleh *virtual human modeling* dengan persentil 5, 50, dan 95. Pada saat pengemudi melakukan aktivitas penggantian gigi bus, tangan pengemudi berada di setir kemudi dan tuas gigi, sedangkan kaki berada di pedal gas dan kopling seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Model Simulasi Aktual Pada Pergantian Gigi dengan Persentil 5, 50, dan 95

Analisis untuk model aktual pada saat pengemudi melakukan aktivitas pergantian gigi dimulai dengan menganalisis nilai SSP atau *Static Strength Prediction*. Analisis ini dilakukan dengan mengecek nilai kapabilitas yang ditimbulkan oleh postur mengemudi terhadap *virtual human modeling* yang digunakan. Nilai SSP pada simulasi harus lebih besar dari 90%, agar aktivitas dan postur mengemudi yang dikenakan pada *virtual human modeling* dapat dilakukan oleh sebagian besar populasi pengemudi lainnya yang memiliki umur, jenis kelamin, dan tinggi badan yang berbeda.

Hasil nilai SSP yang dikeluarkan oleh *software* Jack untuk aktivitas mengemudikan setir dan menginjak pedal gas menunjukkan bahwa mayoritas pengemudi dengan persentil 5, 50, dan 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk mengemudikan bus. Hal ini ditunjukkan dengan hasil

persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh utama pengemudi, yang menandakan bahwa aktivitas mengemudi bus dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, RULA, dan *comfort assessment*.

**Tabel 4.6** *Capability Summary Chart Model Persentil 5 Saat Pergantian Gigi*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-11	FLEXN	65	16	100	-5	FLEXN	67	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-20	ABDUCT	77	19	100	-11	ABDUCT	81	20	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	93	25	100	1	BACKWARD	78	23	100
	Humeral Rot	5	MEDIAL	44	11	100	-1	LATERAL	47	11	100
Trunk	Flex/Ext	-70	EXTEN	428	135	100					
	Lateral Bending	-20	RIGHT	420	91	100					
	Rotation	3	CCW	103	28	100					
	Hip	0	--	146	40	100	0	--	161	44	100
	Knee	0	--	170	59	100	0	--	170	60	100
	Ankle	0	--	116	38	100	0	--	154	51	100

**Tabel 4.7** *Capability Summary Chart Model Persentil 50 Saat Pergantian Gigi*

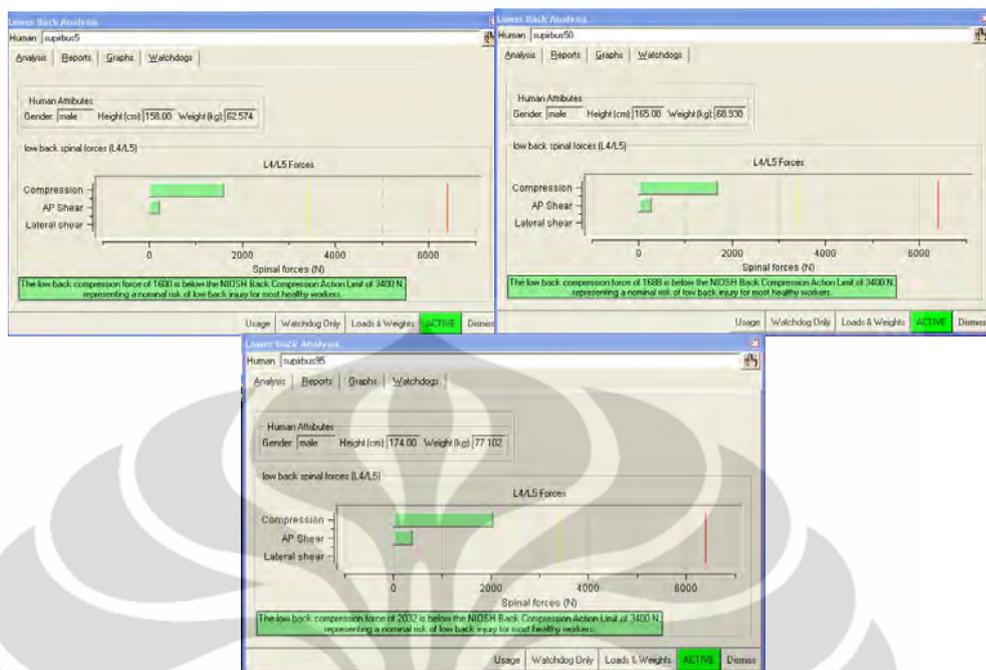
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-15	FLEXN	56	14	100	-5	FLEXN	60	15	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-30	ABDUCT	79	19	99	-15	ABDUCT	82	20	100
	Rotation Bk/Fd	-6	FORWARD	95	26	100	-1	--	103	28	100
	Humeral Rot	0	--	52	13	100	-0	--	47	11	100
Trunk	Flex/Ext	-60	EXTEN	420	132	100					
	Lateral Bending	-12	RIGHT	274	59	100					
	Rotation	3	CCW	92	25	100					
	Hip	-0	--	227	91	99	0	--	158	43	100
	Knee	0	--	163	57	100	0	--	162	57	100
	Ankle	0	--	176	58	100	0	--	125	41	100

**Tabel 4.8** *Capability Summary Chart Model Persentil 95 Saat Pergantian Gigi*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-19	FLEXN	62	15	100	-8	FLEXN	70	17	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-33	ABDUCT	75	18	99	-16	ABDUCT	76	19	100
	Rotation Bk/Fd	-6	FORWARD	95	26	100	-3	FORWARD	102	28	100
	Humeral Rot	-3	LATERAL	46	10	100	-3	LATERAL	41	9	100
Trunk	Flex/Ext	-102	EXTEN	431	136	99					
	Lateral Bending	-3	RIGHT	378	82	100					
	Rotation	-0	--	100	27	100					
Hip		-0	--	231	93	99	-0	--	233	94	99
Knee		0	--	169	59	100	0	--	168	59	100
Ankle		0	--	157	52	100	0	--	123	41	100

Setelah melakukan analisis SSP, analisis selanjutnya yang dilakukan adalah analisis nilai LBA, OWAS, RULA, dan *comfort assessment*. Terdapat perbedaan pada nilai analisis yang dihasilkan untuk persentil 5, 50, dan 95. Hal ini dikarenakan usaha yang dilakukan oleh ukuran tubuh minimal, rata-rata, dan maksimal tentu akan berbeda.

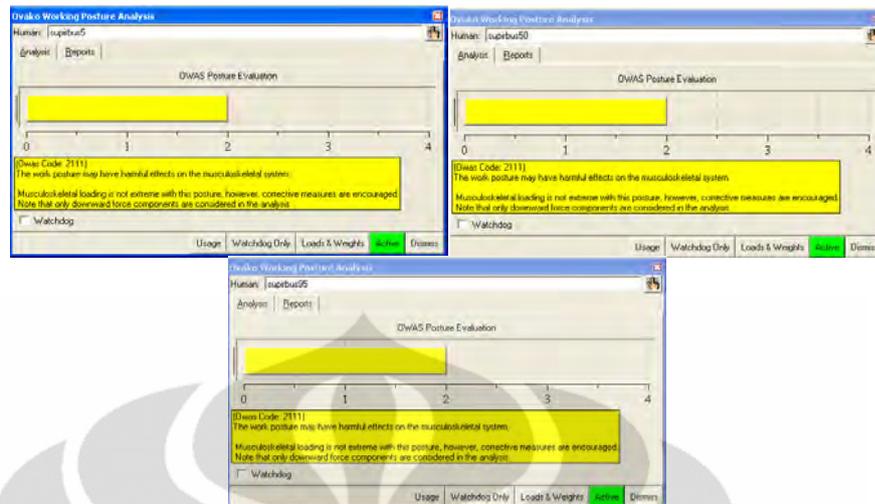
Besar tekanan kompresi yang dialami olen *virtual human modeling* dengan persentil 5 adalah 1600 N, sedangkan tekanan kompresi pada *virtual human modeling* dengan persentil 50 adalah 1688 N, dan tekanan kompresi pada *virtual human modeling* dengan persentil 95 adalah 2032 N. Nilai LBA tersebut berdasarkan standar NIOSH merupakan nilai yang masih dapat diterima karena berada dibawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Besar nilai LBA dipengaruhi oleh beban yang ditanggung oleh *virtual human modeling* tersebut yang dibebankan pada kedua tangan dan kaki. Beban yang dibebankan pada kedua tangan merupakan beban yang berasal dari aktivitas mengendalikan setir kemudi seberat 4.2 kg dan tuas gigi seberat 3.2 kg, sedangkan beban yang dibebankan pada kaki berasal dari aktivitas pengemudi menginjak pedal gas dan kopling seberat 7.2 kg. Tinggi setir kemudi yang kurang ergonomis mengharuskan pengemudi berada pada posisi agak membungkuk untuk dapat menjangkau kemudi tersebut. Hal ini menyebabkan terjadinya momen pada lumbar 4 dan lumbar 5 spinal tulang belakang searah sumbu x.



**Gambar 4.6** Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan 95

Nilai OWAS memberikan analisis kenyamanan postur mengemudi dalam simulasi. Analisis OWAS tidak menghasilkan penilaian yang berbeda antara kedua persentil. Model persentil 5, 50, dan 95 menunjukkan nilai 2 yang berarti postur mengemudi yang dilakukan tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan pada masa mendatang cukup diperlukan. Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS dengan kode 2-1-1-1 yang menunjukkan empat penilaian detail masing-masing elemen OWAS, diantaranya :

1. Bagian batang tubuh pengemudi dalam kategori 2 karena posisi tulang belakang membungkuk ke depan.
2. Bagian tangan pengemudi dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan pengemudi tidak berada di atas bahu bahkan terletak di bawah tinggi siku untuk menghasilkan posisi menggapai ke bawah.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki pengemudi dalam kategori 1 karena pengemudi dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh *virtual human modeling* pengemudi tergolong ke dalam kategori 1 karena beban tersebut masih berada dibawah 10 kg.



**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan 95

Nilai RULA merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Nilai RULA dibedakan menjadi penilaian untuk kelompok tubuh A dan B. Kelompok A adalah nilai untuk postur lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Kelompok B adalah nilai untuk leher, punggung, dan kaki.

**Tabel 4.9** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, 50, dan 95

SCORE	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
<b>Persentil 5</b>	4	3	3	1	5	4
<b>Group Score</b>	5				8	
<b>Total</b>	7					
<b>Persentil 50</b>	3	3	3	1	5	1
<b>Group Score</b>	4				7	
<b>Total</b>	6					
<b>Persentil 95</b>	3	3	1	1	4	3
<b>Group Score</b>	4				6	
<b>Total</b>	6					

Terdapat perbedaan nilai RULA total yang dihasilkan pada *virtual human modeling* untuk persentil 5 dimana nilai RULA total adalah 7, sedangkan untuk persentil 50 dan 95, dimana nilai RULA total adalah 6. Dengan nilai RULA adalah 6, berarti postur mengemudi yang disimulasikan sangat beresiko bagi tubuh sehingga inverstigasi dan perubahan harus segera dilakukan. Sedangkan dengan nilai RULA adalah 7, berarti postur mengemudi yang disimulasikan sangat beresiko bagi tubuh sehingga inverstigasi dan perubahan diperlukan

dengan seketika. Nilai 6 dan 7 merupakan nilai akhir dari formulasi nilai elemen-elemen RULA, diantaranya :

1. Posisi Lengan Atas

Posisi lengan atas *virtual human modeling* pengemudi saat mengendalikan setir kemudi adalah membentuk sudut  $46^{\circ}$ - $90^{\circ}$ , dengan lengan tidak berputar, juga tidak ada yang menahan atau menyokong, sehingga nilai yang ditetapkan untuk lengan atas adalah 3. Namun untuk persentil 5, karena ukuran lengan yang lebih pendek, maka nilai untuk lengan atas lebih besar, yaitu 4. Hal ini disebabkan oleh posisi sudut lengan atas yang lebih besar saat mengendalikan setir kemudi.

2. Posisi Lengan Bawah

Posisi lengan bawah *virtual human modeling* pengemudi hampir lurus sehingga sudut termasuk  $< 60^{\circ}$  sehingga nilai adalah 2. Namun posisi lengan bawah ini melewati garis tengah dan keluar dari sisi tubuh sehingga nilai bertambah 1. Nilai akhir yang ditetapkan adalah 3.

3. Posisi Pergelangan Tangan

Posisi pergelangan tangan pengemudi berada pada posisi normal, dimana pergelangan tangan membentuk sudut  $0^{\circ}$  sampai  $15^{\circ}$  sehingga menghasilkan nilai bertambah 2, dengan posisi yang menyimpang dari garis tengah, sehingga nilai akhir adalah 3. Namun untuk persentil 95, karena ukuran lengan yang lebih panjang, pergelangan tangan saat menggenggam setir tidak membentuk sudut atau membentuk sudut  $0^{\circ}$ , membuat nilai bertambah 1, dengan posisi yang tidak menyimpang dari garis tengah sehingga nilai akhir adalah 1.

4. Posisi Perputaran Pergelangan Tangan

Postur pergelangan tangan mengalami perputaran di tengah rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan sehingga nilainya adalah 1.

5. Posisi Leher

Posisi leher termasuk mengangkat kepala, dan leher tidak berputar maupun membengkok sehingga nilai postur leher adalah 4. Sedangkan untuk persentil 5 dan 50, Posisi leher termasuk mengangkat kepala, dan leher tidak berputar tapi membengkok sehingga nilai postur leher adalah 5.

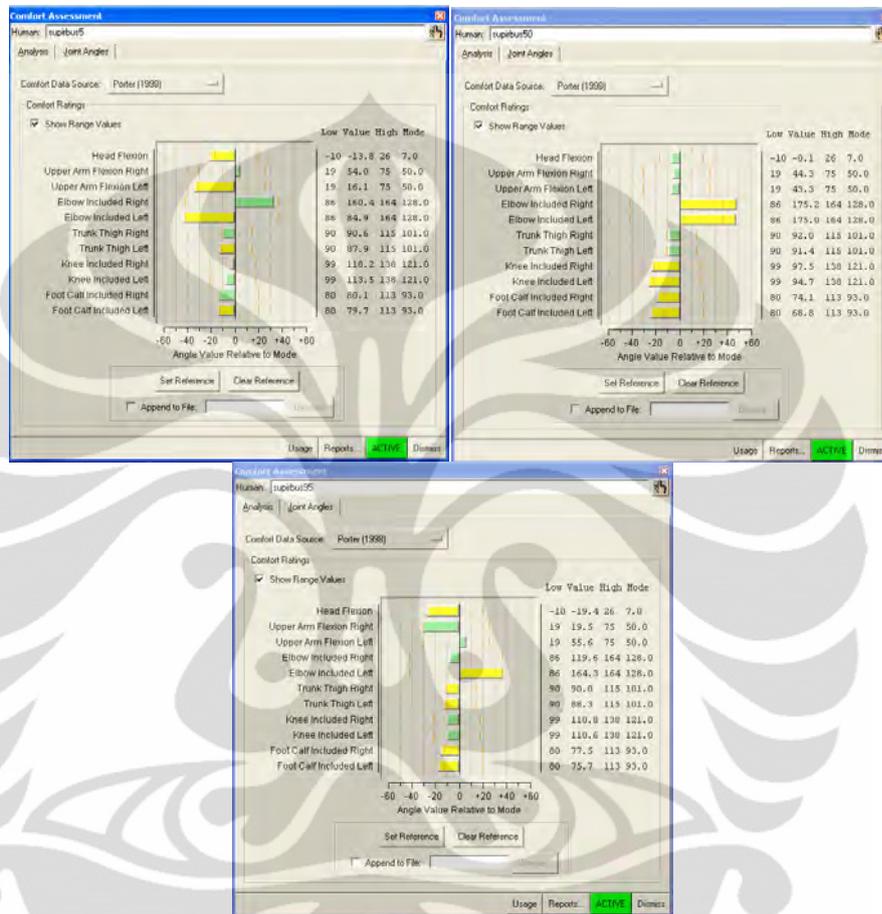
## 6. Posisi Batang Tubuh

Nilai untuk posisi batang tubuh untuk persentil 5 adalah 4 yang berarti bahwa *virtual human modeling* pengemudi berada dalam posisi duduk dengan membungkuk lebih dari  $60^\circ$  dengan persebaran berat tubuh ditopang oleh pinggul dan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar. Sedangkan untuk persentil 50, nilai untuk posisi batang tubuh adalah 1, yang berarti *virtual human modeling* pengemudi berada dalam posisi duduk dengan membungkuk  $0^\circ$ - $10^\circ$  dengan persebaran berat tubuh ditopang oleh pinggul dan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar. Untuk persentil 95, nilai untuk posisi batang tubuh adalah 3, yang berarti *virtual human modeling* pengemudi berada dalam posisi duduk dengan membungkuk  $20^\circ$ - $60^\circ$  dengan persebaran berat tubuh ditopang oleh pinggul dan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar.

Penambahan nilai dipengaruhi oleh faktor penggunaan otot dan beban yang diangkat. Nilai RULA untuk grup A dan grup B ditambah dengan nilai +1, jika *virtual human modeling* berada pada kondisi sebagian besar otot statis atau gerakan berulang hingga empat kali atau lebih per menit. Sedangkan untuk kondisi dimana beban lebih dari 10 kg membuat terjadinya penambahan nilai sebanyak 3 sehingga nilai akhir untuk grup A dan B untuk persentil 5 adalah 5 dan 6 sedangkan untuk persentil 95 adalah 4 dan 6. Dengan matriks RULA, didapatkan nilai akhir gabungan untuk dua grup untuk persentil 5 adalah 7 sedangkan untuk persentil 50 dan 95 adalah 6. Hal ini dikarenakan ukuran tubuh persentil 5 yang lebih pendek dibandingkan persentil yang lain sehingga dibutuhkan usaha otot yang lebih besar untuk persentil 5.

*Comfort Assessment* merupakan *tools* yang dapat menetapkan *human model* yang disimulasikan dalam *software* Jack berada pada postur yang nyaman. *Comfort assessment* meramalkan *human model* duduk secara nyaman berdasarkan sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan. Tidak ada perbedaan antara persentil 5, 50, dan 95 untuk bagian tubuh yang merasakan tidak nyaman. Yang membedakan antara persentil 5, 50, dan 95 adalah besar sudut yang dibentuk oleh tulang sendi, dimana sudut yang dibentuk tulang sendi pada persentil 5 lebih besar dibandingkan dengan sudut yang dibentuk tulang

sendi pada persentil 95. Hal ini dikarenakan ukuran tubuh persentil 5 yang lebih kecil dibandingkan persentil 95, sehingga untuk melakukan aktivitas mengemudi persentil 5 diperlukan sudut yang lebih besar untuk menjangkau setir kemudi ataupun pedal.



**Gambar 4.8** Perbandingan *Comfort Assessment* Persentil 5, 50, dan 95

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari kabin pengemudi bus aktual serta resiko terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* yang ditimbulkan, maka nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI.

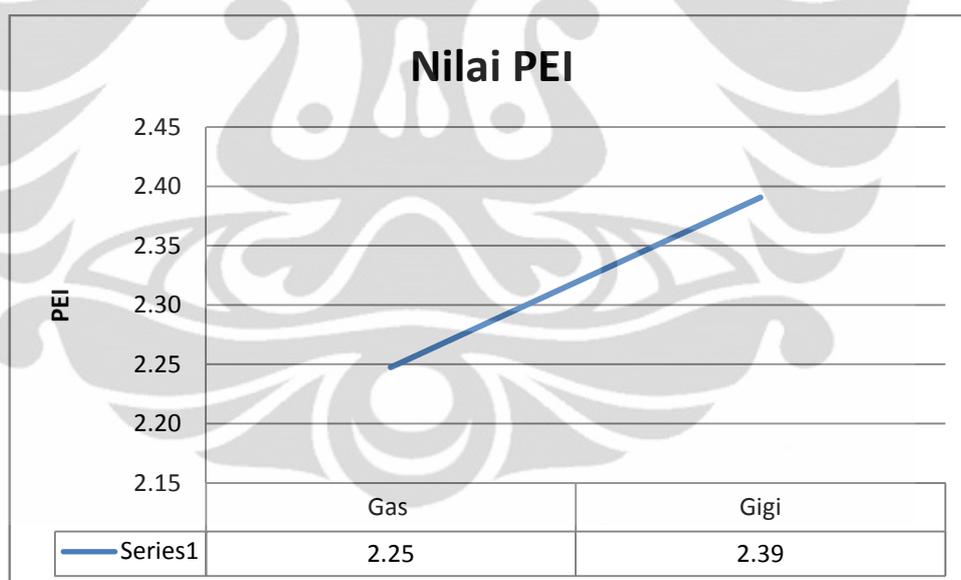
**Tabel 4.10** Rekapitulasi Nilai Kondisi Aktual Saat Pergantian Gigi

Desain	Posisi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Aktual	Gigi	5	1600	2	7	2.39059
Aktual	Gigi	50	1688	2	6	2.21361
Aktual	Gigi	95	2032	2	6	2.31479

Perhitungan PEI dengan menggunakan persamaan 2.1, didapat nilai PEI untuk pengemudi mengemudi setir kemudi dan menginjak pedal gas pada

kondisi aktual yang dilakukan oleh model persentil 5 adalah 2.39059, sedangkan nilai PEI untuk model persentil 50 adalah 2.21361, dan untuk nilai PEI untuk model persentil 95 adalah 2.31479. Hal ini menandakan persentil 5 dalam aktivitas mengemudikan setir dan menginjak pedal gas memiliki postur yang lebih tidak nyaman dibandingkan persentil 95 dan persentil 50. Hal ini dikarenakan persentil 5 memiliki tubuh yang lebih pendek sehingga usaha yang dikeluarkan untuk mengemudikan setir dan tuas gigi lebih besar.

Dengan melakukan pengecekan terhadap nilai ergonomi, secara keseluruhan dapat dianalisis bahwa pengemudi bus ketika melakukan pergantian gigi berada pada postur yang tidak ergonomis. Hal ini berdasarkan nilai LBA yang paling tinggi jika dibandingkan dengan postur pengemudi ketika mengemudikan setir dan menginjak pedal gas. Hal tersebut diperkuat dengan nilai PEI yang paling tinggi dibandingkan dengan PEI pada saat pengemudi mengendalikan setir kemudi dan menginjak pedal gas seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4.9** Perbandingan Nilai PEI pada Kondisi Aktual

#### 4.2 Analisis Konfigurasi Usulan

Konfigurasi usulan dirancang sebagai perbaikan berdasarkan analisis ergonomi pada kondisi aktual. Berdasarkan hasil analisis ergonomi yang dilakukan pada kabin pengemudi bus aktual, dapat diketahui bahwa tingkat ergonomi pada kabin pengemudi bus belum optimal. Konfigurasi usulan

dirancang untuk mendapatkan analisis ergonomi yang lebih baik sehingga diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan pada saat mengemudi.

Kabin pengemudi bus memiliki komponen-komponen yang sering berinteraksi dengan pengemudi pada saat melakukan aktivitas mengemudi, diantaranya tempat duduk, setir kemudi, dan pedal. Ketiga komponen tersebut dirancang sesuai dengan acuan Internasional yang ada dan juga disesuaikan dengan data antropometri pengemudi bus. Pada setiap rancangan usulan, yang membedakan antar usulan adalah tinggi setir dan diameter setir. Pemilihan variabel tersebut dikarenakan setelah melakukan perubahan pada komponen kabin, ternyata variabel tinggi setir dan diameter setir yang paling memberikan dampak yang besar terhadap kenyamanan pengemudi.

Berdasarkan hasil simulasi model usulan, akan didapat analisis konfigurasi berupa nilai SSP, LBA, OWAS, RULA, dan *comfort assessment* yang kemudian akan diformulasikan lebih lanjut menjadi nilai PEI. Hasil analisis PEI untuk masing-masing konfigurasi usulan dibandingkan dan kemudian usulan dengan nilai PEI paling optimal yang akan dipilih sebagai rekomendasi pengganti rancangan kabin pengemudi bus aktual.

#### **4.2.1 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas**

Analisa dilakukan pada 9 konfigurasi usulan yang memiliki perbedaan pada tinggi setir dan diameter setir. Ketinggian serta diameter setir didapatkan berdasarkan ukuran antropometri pengemudi bus, dimana tinggi setir merupakan tinggi tangan dengan posisi duduk ( $\text{tinggi popliteal} + (\text{tinggi pundak pada posisi duduk} - \text{jarak antara pundak dan siku})$ ) dan diameter setir disesuaikan dengan antropometri lebar pundak pengemudi.

*Virtual human modeling* yang disimulasikan pada konfigurasi usulan merupakan persentil 5 dan 95. Hal ini dilakukan untuk menganalisa konfigurasi usulan pada persentil ekstrim pada populasi pengemudi bus.

#### 4.2.1.1 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas oleh Model Pengemudi Persentil 5

Analisis konfigurasi usulan pada model pengemudi persentil 5 untuk mengetahui hasil perubahan variabel berpengaruh pada ukuran minimum data populasi pengemudi. Berdasarkan hasil konfigurasi usulan yang disimulasikan dengan 3 variabel ketinggian setir dan diameter pada model persentil 5, didapatkan hasil LBA yang berbeda, namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan antar konfigurasi. Nilai LBA masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Nilai tekanan kompresi yang paling ringan adalah pada konfigurasi usulan dengan setir kemudi berukuran 52 cm dengan ketinggian 71 cm.

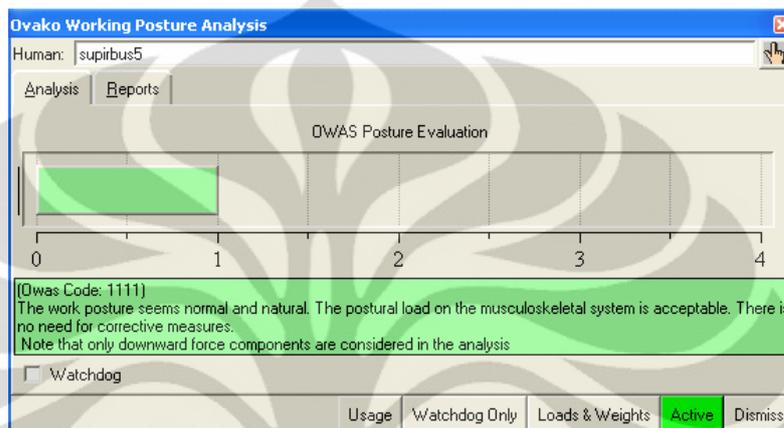
**Tabel 4.11** Perbandingan Nilai LBA pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5

Desain	Steering Wheel			LBA
	Hand Wheel Diameter	Rim diameter	Height	
<b>Konfigurasi 1</b>	38 cm	2 cm	71 cm	828 N
<b>Konfigurasi 2</b>	38 cm	2 cm	76.5 cm	918 N
<b>Konfigurasi 3</b>	38 cm	2 cm	82 cm	899 N
<b>Konfigurasi 4</b>	45 cm	2 cm	71 cm	781 N
<b>Konfigurasi 5</b>	45 cm	2 cm	76.5 cm	821 N
<b>Konfigurasi 6</b>	45 cm	2 cm	82 cm	753 N
<b>Konfigurasi 7</b>	52 cm	2 cm	71 cm	728 N
<b>Konfigurasi 8</b>	52 cm	2 cm	76.5 cm	754 N
<b>Konfigurasi 9</b>	52 cm	2 cm	82 cm	768 N

Hasil nilai OWAS yang memberikan analisis kenyamanan postur yang dihasilkan oleh semua konfigurasi usulan kabin pengemudi bus pada model persentil menunjukkan nilai 1 yang berarti bahwa semua konfigurasi usulan memberikan postur normal pada pengemudi. Detail nilai elemen OWAS untuk semua konfigurasi usulan juga menunjukkan nilai 1-1-1-1 yang dianalisis sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh pengemudi atau punggung pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu melakukan postur lurus dan netral.
2. Bagian tangan model pengemudi pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu kedua tangan berada di bawah bahu.

3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pengemudi pada semua konfigurasi usulan termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh model pengemudi pada semua konfigurasi usulan tergolong ke dalam kategori 1 yaitu beban yang dikenakan pada model pengemudi masih berada di bawah 10 kg.



**Gambar 4.10** Nilai OWAS pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5

Nilai RULA yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas memberikan total skor yang sama pada setiap konfigurasi usulan. Namun apabila dilihat detail skor untuk kelompok tubuh A dan B, terlihat perbedaan antar konfigurasi usulan.

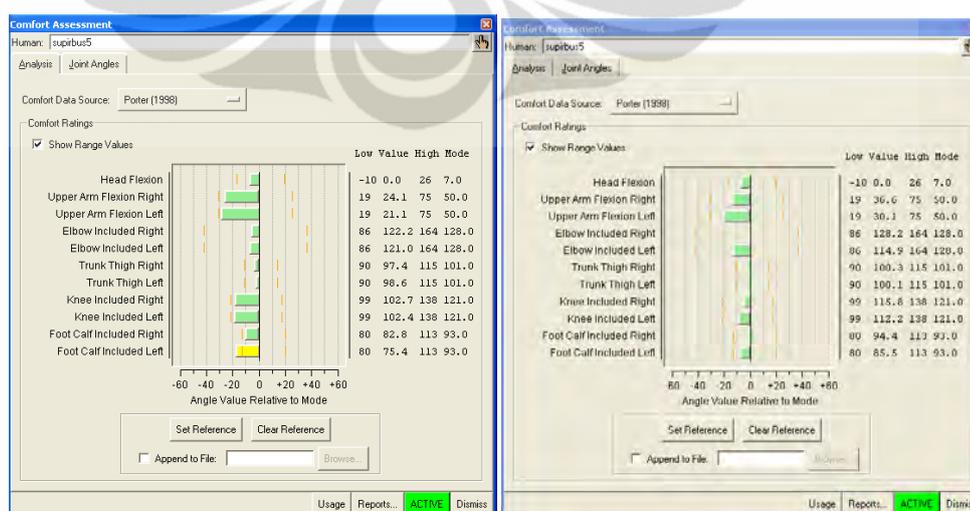
**Tabel 4.12** Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5

SCORE		Konfigurasi Usulan								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Group A	Upper Arm	3	3	3	2	3	3	3	3	3
	Lower Arm	3	3	2	3	3	2	3	3	2
	Wrist	1	1	2	2	1	2	2	1	2
	Wrist Twist	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>Total</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Group B	Neck	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Trunk	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>Total</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL SCORE</b>		3	3	3	3	3	3	3	3	3

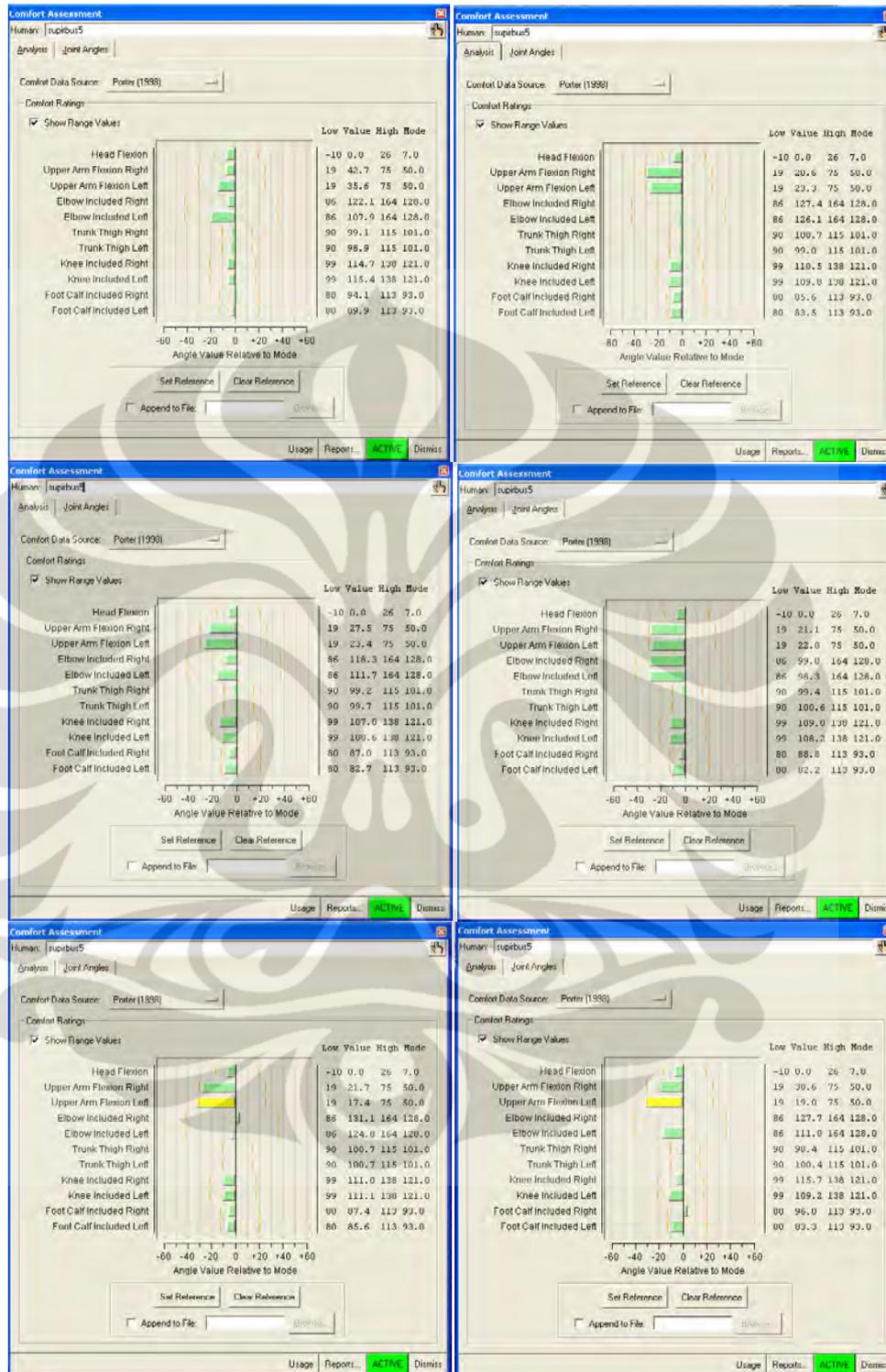
Jika diperhatikan detail nilai RULA, perbedaan terjadi pada bagian tangan, dimana perubahan nilai RULA terjadi pada lengan atas, lengan bawah, dan

pergelangan tangan. Perubahan ini terjadi dikarenakan perbedaan antar konfigurasi usulan terdapat pada tinggi dan diameter setir. Hampir seluruh bagian pada kelompok tubuh memiliki nilai yang cukup aman, namun perbedaan signifikan terjadi pada nilai bagian leher dan batang tubuh. Nilai untuk leher adalah 1 yang berarti leher termasuk menekuk namun tidak ekstrim, hanya berkisar  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dan leher tidak berputar maupun membengkok. Nilai untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti batang tubuh berada dalam posisi bersender, karena torso menyender dengan kemiringan masih berada dalam interval  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dengan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar. Nilai akhir RULA menunjukkan angka 3 yang disebabkan oleh penambahan beban yang tetap tergolong berat, dimana penambahan faktor beban cukup berpengaruh dalam analisis RULA.

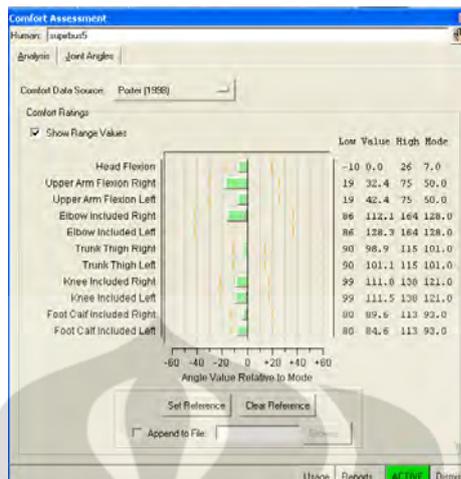
Analisis *comfort assessment* dilakukan untuk meramalkan *human model* duduk secara nyaman berdasarkan sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan. Tidak ada perbedaan signifikan pada analisis *comfort assessment* antar konfigurasi usulan. Semua konfigurasi usulan membuat sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan berada dalam zona aman, kecuali pada konfigurasi usulan 1 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi bagian telapak kaki bagian kiri, pada konfigurasi usulan 7 dan 8, terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi bagian lengan atas kiri.



**Gambar 4.11** Perbandingan *Comfort Assessment* pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5



**Gambar 4.11** Perbandingan *Comfort Assessment* pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5 (Sambungan)



**Gambar 4.11** Perbandingan *Comfort Assessment* pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5 (Sambungan)

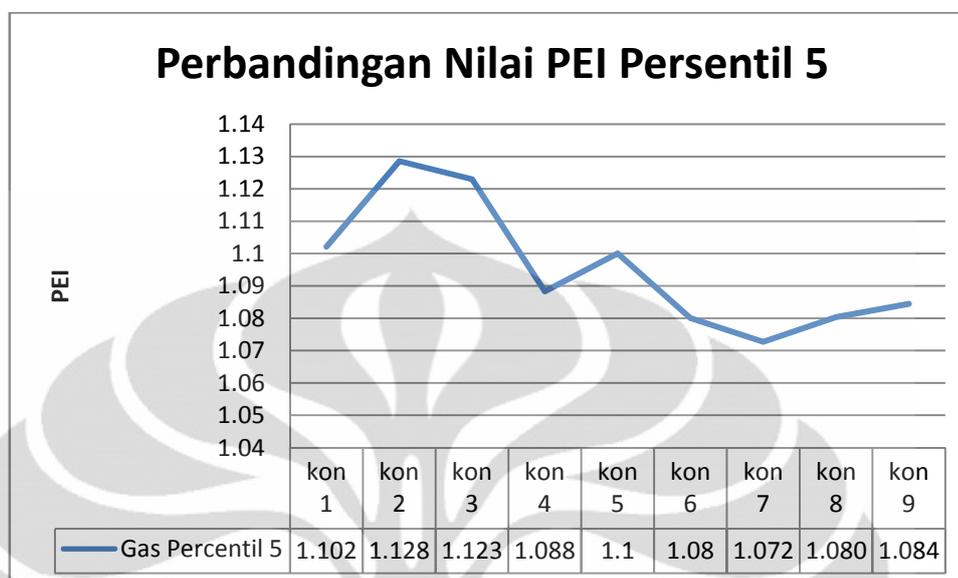
Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari kabin pengemudi bus untuk tiap konfigurasi usulan pada model pengemudi dengan persentil 5 serta resiko terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* yang ditimbulkan, maka nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI.

**Tabel 4.13** Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5

Desain	LBA	OWAS	RULA	PEI
<b>Konfigurasi 1</b>	828	1	3	1.10210084
<b>Konfigurasi 2</b>	918	1	3	1.128571429
<b>Konfigurasi 3</b>	899	1	3	1.122983193
<b>Konfigurasi 4</b>	781	1	3	1.088277311
<b>Konfigurasi 5</b>	821	1	3	1.100042017
<b>Konfigurasi 6</b>	753	1	3	1.080042017
<b>Konfigurasi 7</b>	728	1	3	1.072689076
<b>Konfigurasi 8</b>	754	1	3	1.080336134
<b>Konfigurasi 9</b>	768	1	3	1.084453782

Berdasarkan hasil perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi usulan pada proses gas dan setir untuk model pengemudi persentil 5 memiliki nilai PEI berbeda-beda. Nilai yang menunjukkan konfigurasi paling optimum untuk proses gas dan setir untuk model pengemudi persentil 5 adalah 1.072689076, yang merupakan konfigurasi usulan dengan ketinggian setir 71 cm dan diameter setir 52

cm. **Gambar 4.12** merupakan diagram perbandingan nilai PEI untuk setiap konfigurasi usulan.



**Gambar 4.12** Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 5

#### 4.2.1.2 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas oleh Model Pengemudi Persentil 95

Analisis konfigurasi usulan pada model pengemudi persentil 95 untuk mengetahui hasil perubahan variabel berpengaruh pada ukuran maksimal data populasi pengemudi. Berdasarkan hasil konfigurasi usulan yang disimulasikan dengan 3 variabel ketinggian setir dan diameter pada model persentil 95, didapatkan hasil LBA yang berbeda, namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan antar konfigurasi. Nilai LBA masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Nilai tekanan kompresi yang paling ringan adalah pada konfigurasi usulan dengan setir kemudi berukuran 45 cm dengan ketinggian 82 cm.

**Tabel 4.14** Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95

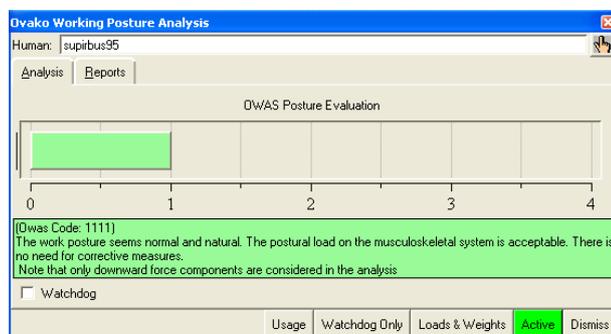
Desain	Steering Wheel			LBA
	Hand Wheel Diameter	Rim diameter	Height	
<b>Konfigurasi 1</b>	38 cm	2 cm	71 cm	1377 N

**Tabel 4.14** Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95 (Sambungan)

<b>Konfigurasi 2</b>	38 cm	2 cm	76.5 cm	1234 N
<b>Konfigurasi 3</b>	38 cm	2 cm	82 cm	1107 N
<b>Konfigurasi 4</b>	45 cm	2 cm	71 cm	1255 N
<b>Konfigurasi 5</b>	45 cm	2 cm	76.5 cm	1135 N
<b>Konfigurasi 6</b>	45 cm	2 cm	82 cm	1067 N
<b>Konfigurasi 7</b>	52 cm	2 cm	71 cm	1183 N
<b>Konfigurasi 8</b>	52 cm	2 cm	76.5 cm	1086 N
<b>Konfigurasi 9</b>	52 cm	2 cm	82 cm	1015 N

Hasil nilai OWAS yang memberikan analisis kenyamanan postur yang dihasilkan oleh semua konfigurasi usulan kabin pengemudi bus pada model persentil 95 menunjukkan nilai 1 yang berarti bahwa semua konfigurasi usulan memberikan postur normal pada pengemudi. Detail nilai elemen OWAS untuk semua konfigurasi usulan juga menunjukkan nilai 1-1-1-1 yang dianalisis sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh pengemudi atau punggung pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu melakukan postur lurus dan netral.
2. Bagian tangan model pengemudi pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu kedua tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pengemudi pada semua konfigurasi usulan termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh model pengemudi pada semua konfigurasi usulan tergolong ke dalam kategori 1 yaitu beban yang dikenakan pada model pengemudi masih berada di bawah 10 kg.



**Gambar 4.13** Nilai OWAS pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95

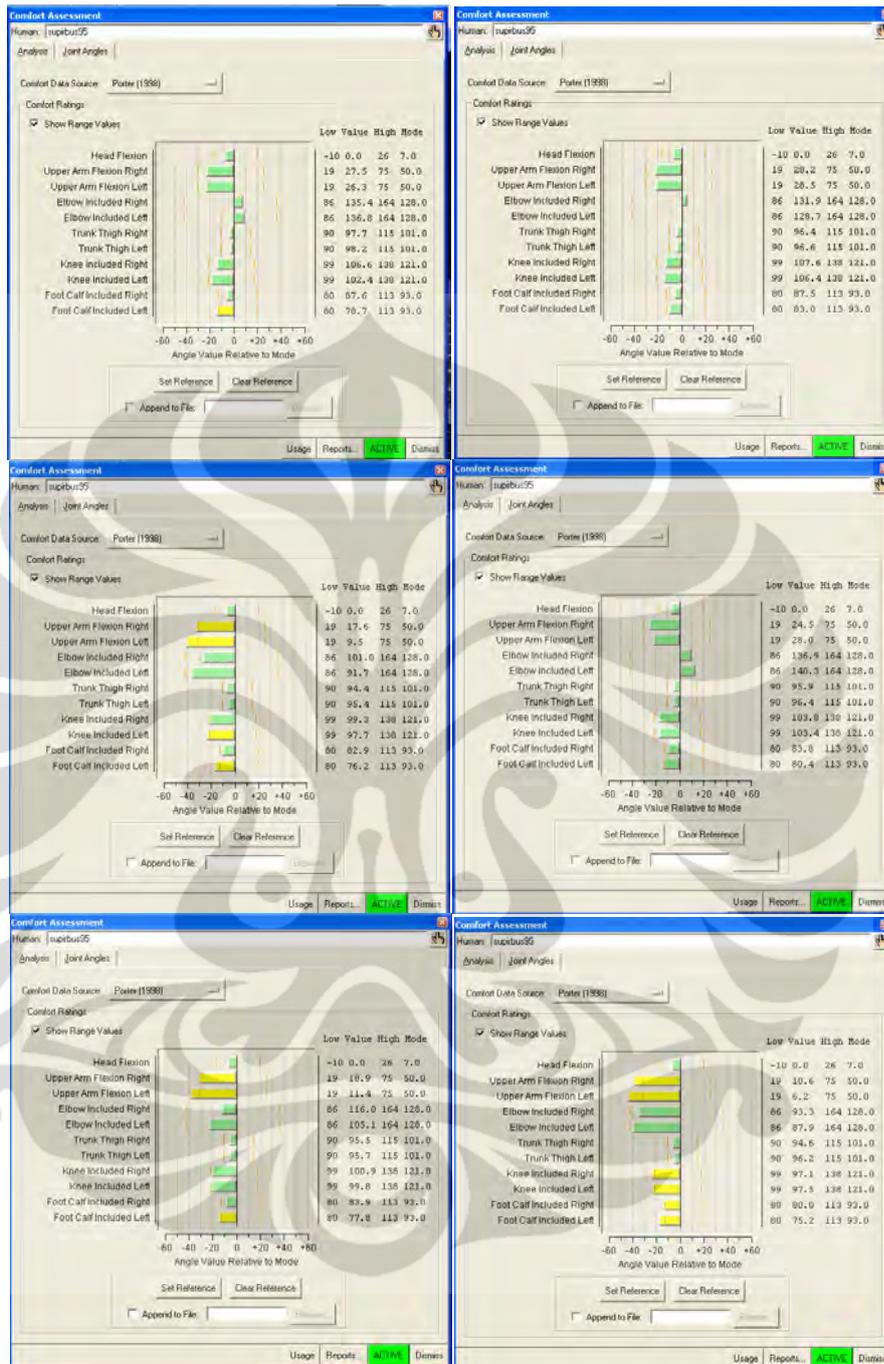
Nilai RULA yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas memberikan total skor yang sama pada setiap konfigurasi usulan. Namun apabila dilihat detail skor untuk kelompok tubuh A dan B, terlihat perbedaan antar konfigurasi usulan.

**Tabel 4.15** Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas dan Setir Persentil 95

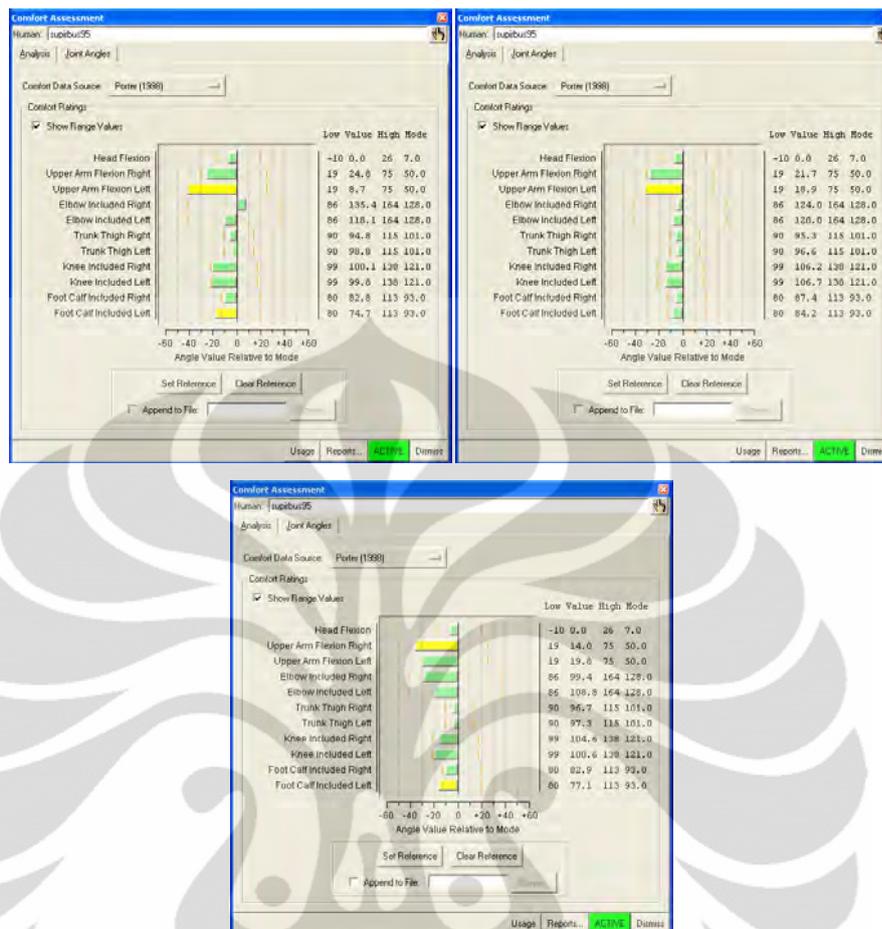
SCORE		Konfigurasi Usulan								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Group A	Upper Arm	3	3	2	3	3	1	3	3	2
	Lower Arm	3	3	2	3	3	2	3	3	2
	Wrist	2	2	1	2	2	2	2	2	1
	Wrist Twist	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total	4	4	3	4	4	2	4	4	3
Group B	Neck	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Trunk	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL SCORE		3	3	3	3	3	2	3	3	3

Jika diperhatikan detail nilai RULA, perbedaan terjadi pada bagian tangan, dimana perubahan nilai RULA terjadi pada lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Perubahan ini terjadi dikarenakan perbedaan antar konfigurasi usulan terdapat pada tinggi dan diameter setir. Hampir seluruh bagian pada kelompok tubuh memiliki nilai yang cukup aman, namun perbedaan signifikan terjadi pada nilai bagian leher dan batang tubuh. Nilai untuk leher adalah 1 yang berarti leher termasuk menekuk namun tidak ekstrim, hanya berkisar  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dan leher tidak berputar maupun membengkok. Nilai untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti batang tubuh berada dalam posisi bersender, karena torso menyender dengan kemiringan masih berada dalam interval  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dengan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar. Nilai akhir RULA menunjukkan angka 3 yang disebabkan oleh penambahan beban yang tetap tergolong berat, dimana penambahan faktor beban cukup berpengaruh dalam analisis RULA.

Analisis *comfort assessment* dilakukan untuk meramalkan *human model* duduk secara nyaman berdasarkan sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan.



Gambar 4.14 *Comfort Assessment* pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95



**Gambar 4.14** *Comfort Assessment* pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95 (Sambungan)

Berdasarkan analisis *comfort assessment*, tidak ada perbedaan signifikan antar konfigurasi usulan. Semua konfigurasi usulan membuat sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan berada dalam zona aman, kecuali pada konfigurasi usulan 1 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi bagian telapak kaki bagian kiri, pada konfigurasi usulan 3 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas, lutut kiri, dan telapak kaki kiri, pada konfigurasi usulan 5 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas dan telapak kaki, pada konfigurasi usulan 6 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas, lutut dan telapak kaki, pada konfigurasi usulan 7 terbentuk sudut kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas kiri dan telapak kaki kiri, pada konfigurasi usulan 8 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi bagian lengan atas kiri, dan pada

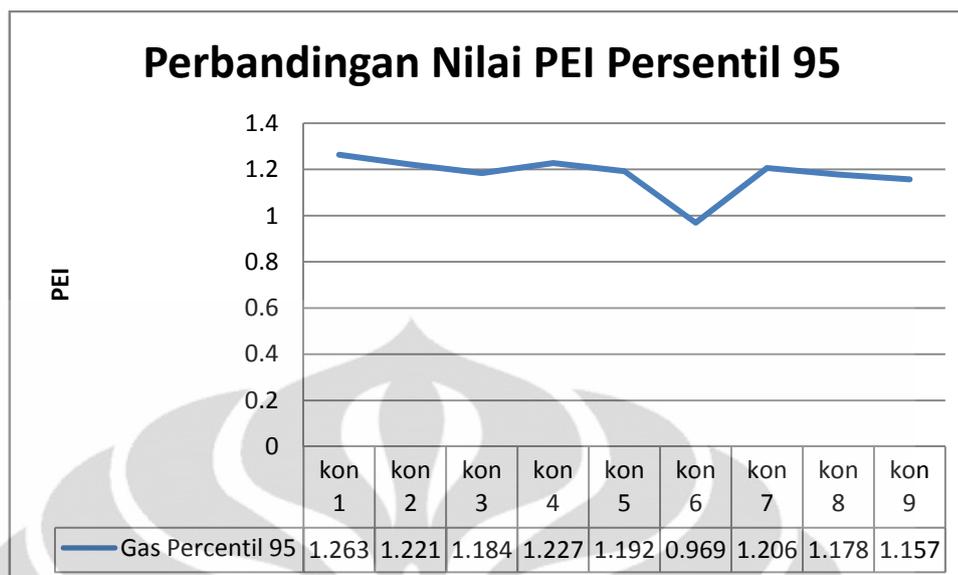
konfigurasi usulan 9 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas kanan dan telapak kaki kiri.

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari kabin pengemudi bus untuk tiap konfigurasi usulan pada model pengemudi persentil 95 serta resiko terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* yang ditimbulkan, maka nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI.

**Tabel 4.16** Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95

Desain	LBA	OWAS	RULA	PEI
<b>Konfigurasi 1</b>	1377	1	3	1.263571
<b>Konfigurasi 2</b>	1234	1	3	1.221513
<b>Konfigurasi 3</b>	1107	1	3	1.18416
<b>Konfigurasi 4</b>	1255	1	3	1.227689
<b>Konfigurasi 5</b>	1135	1	3	1.192395
<b>Konfigurasi 6</b>	1067	1	2	0.969538
<b>Konfigurasi 7</b>	1183	1	3	1.206513
<b>Konfigurasi 8</b>	1086	1	3	1.177983
<b>Konfigurasi 9</b>	1015	1	3	1.157101

Berdasarkan hasil perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi usulan pada proses gas dan setir untuk model pengemudi persentil 95 memiliki nilai PEI berbeda-beda. Nilai yang menunjukkan konfigurasi paling optimum untuk proses gas dan setir untuk model pengemudi persentil 95 adalah 0.969538, yang merupakan konfigurasi usulan dengan ketinggian setir 82 cm dan diameter setir 45 cm. **Gambar 4.15** merupakan diagram perbandingan nilai PEI untuk setiap konfigurasi usulan.



**Gambar 4.15** Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Kemudi dan Gas Persentil 95

#### 4.2.2 Analisis Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi

Analisa konfigurasi usulan proses pergantian gigi dilakukan pada 9 konfigurasi usulan yang memiliki perbedaan pada tinggi setir dan diameter setir. Ketinggian serta diameter setir didapatkan berdasarkan ukuran antropometri pengemudi bus, dimana tinggi setir merupakan tinggi tangan dengan posisi duduk ( $\text{tinggi popliteal} + (\text{tinggi pundak pada posisi duduk} - \text{jarak antara pundak dan siku})$ ) dan diameter setir disesuaikan dengan antropometri lebar pundak pengemudi.

*Virtual human modeling* yang disimulasikan pada konfigurasi usulan merupakan persentil 5 dan 95. Hal ini dilakukan untuk menganalisa konfigurasi usulan pada persentil minimum dan maksimal pada populasi pengemudi bus.

##### 4.2.2.1 Analisis konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi oleh Model Pengemudi Persentil 5

Analisis konfigurasi usulan pada model pengemudi persentil 5 untuk mengetahui hasil perubahan variabel berpengaruh pada ukuran minimal data populasi pengemudi. Berdasarkan hasil konfigurasi usulan yang disimulasikan dengan 3 variabel ketinggian setir dan diameter pada model persentil 5, didapatkan hasil LBA yang berbeda, namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan antar konfigurasi. Nilai LBA masih dapat diterima karena berada di

**Universitas Indonesia**

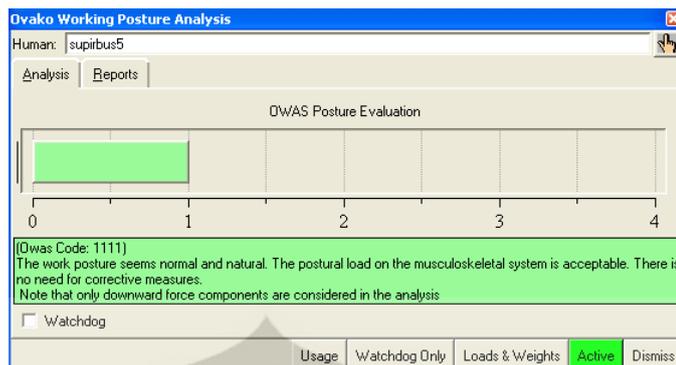
bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Nilai tekanan kompresi yang paling ringan adalah pada konfigurasi usulan dengan setir kemudi berukuran 52 cm dengan ketinggian 82 cm.

**Tabel 4.17** Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5

Desain	Steering Wheel			LBA
	Hand Wheel Diameter	Rim diameter	Height	
<b>Konfigurasi 1</b>	38 cm	2 cm	71 cm	1114 N
<b>Konfigurasi 2</b>	38 cm	2 cm	76.5 cm	1158 N
<b>Konfigurasi 3</b>	38 cm	2 cm	82 cm	1050 N
<b>Konfigurasi 4</b>	45 cm	2 cm	71 cm	1048 N
<b>Konfigurasi 5</b>	45 cm	2 cm	76.5 cm	1077 N
<b>Konfigurasi 6</b>	45 cm	2 cm	82 cm	1074 N
<b>Konfigurasi 7</b>	52 cm	2 cm	71 cm	1039 N
<b>Konfigurasi 8</b>	52 cm	2 cm	76.5 cm	992 N
<b>Konfigurasi 9</b>	52 cm	2 cm	82 cm	991 N

Hasil nilai OWAS yang memberikan analisis kenyamanan postur yang dihasilkan oleh semua konfigurasi usulan kabin pengemudi bus pada model persentil 5 menunjukkan nilai 1 yang berarti bahwa semua konfigurasi usulan memberikan postur normal pada pengemudi. Detail nilai elemen OWAS untuk semua konfigurasi usulan juga menunjukkan nilai 1-1-1-1 yang dianalisis sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh pengemudi atau punggung pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu melakukan postur lurus dan netral.
2. Bagian tangan model pengemudi pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu kedua tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pengemudi pada semua konfigurasi usulan termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh model pengemudi pada semua konfigurasi usulan tergolong ke dalam kategori 1 yaitu beban yang dikenakan pada model pengemudi masih berada di bawah 10 kg.



**Gambar 4.16** Nilai OWAS Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil

5

Nilai RULA yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas memberikan total skor yang sama pada setiap konfigurasi usulan pada model persentil 5 untuk proses pergantian gigi. Namun apabila dilihat detail skor untuk kelompok tubuh A dan B, terlihat perbedaan antar konfigurasi usulan.

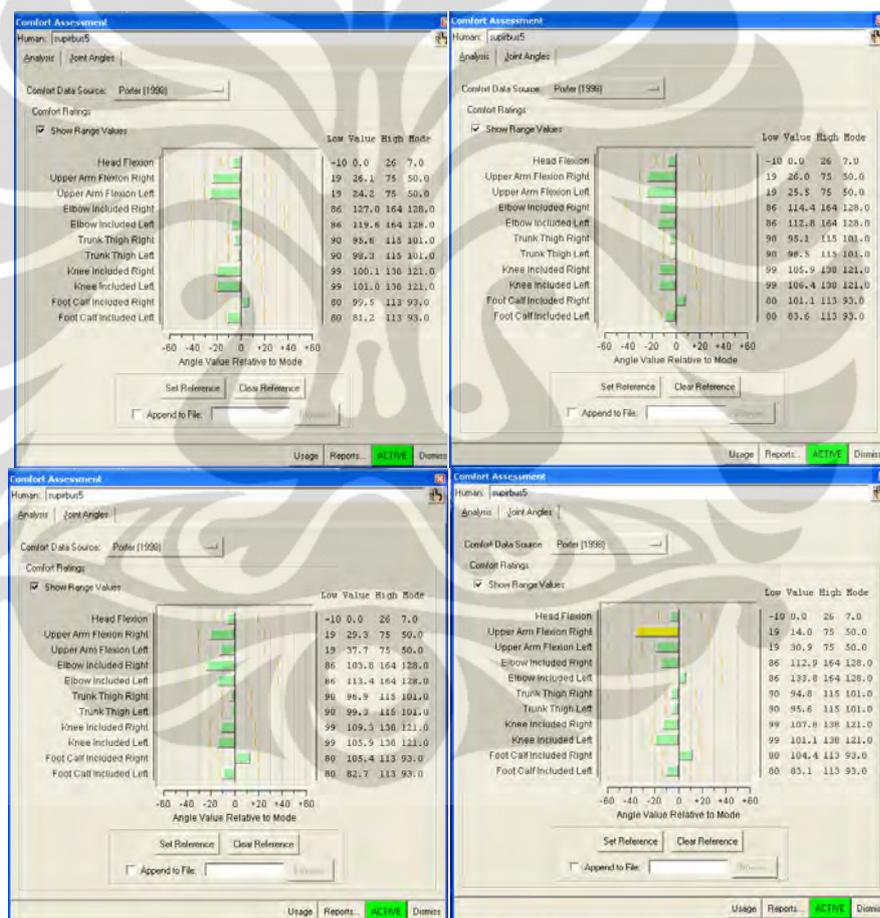
**Tabel 4.18** Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5

SCORE		Konfigurasi Usulan								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Group A	Upper Arm	3	3	3	3	3	3	2	2	3
	Lower Arm	3	2	2	3	3	2	3	3	2
	Wrist	1	1	2	1	1	2	1	2	2
	Wrist Twist	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total	4	3	4	4	4	4	3	4	4
Group B	Neck	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Trunk	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL SCORE		3	3	3	3	3	3	3	3	3

Jika diperhatikan detail nilai RULA, perbedaan terjadi pada bagian tangan, dimana perubahan nilai RULA terjadi pada lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Perubahan ini terjadi dikarenakan perbedaan antar konfigurasi usulan terdapat pada tinggi dan diameter setir. Hampir seluruh bagian pada kelompok tubuh memiliki nilai yang cukup aman, namun perbedaan signifikan terjadi pada nilai bagian leher dan batang tubuh. Nilai untuk leher adalah 1 yang berarti leher termasuk menekuk namun tidak ekstrim, hanya berkisar  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dan leher tidak berputar maupun membengkok. Nilai untuk

batang tubuh adalah 1 yang berarti batang tubuh berada dalam posisi bersender, karena torso menyender dengan kemiringan masih berada dalam interval  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dengan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar. Nilai akhir RULA menunjukkan angka 3 yang disebabkan oleh penambahan beban yang tetap tergolong berat, dimana penambahan faktor beban cukup berpengaruh dalam analisis RULA.

Analisis *comfort assessment* dilakukan untuk meramalkan *human model* duduk secara nyaman berdasarkan sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan.



**Gambar 4.17** *Comfort Assessment* Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5



**Gambar 4.17** *Comfort Assessment* Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5 (Sambutan)

Berdasarkan analisis *comfort* assessment, tidak ada perbedaan signifikan antar konfigurasi usulan. Semua konfigurasi usulan membuat sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan berada dalam zona aman, kecuali pada konfigurasi usulan 4 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi bagian lengan atas kanan, pada konfigurasi usulan 6 terbentuk sudut

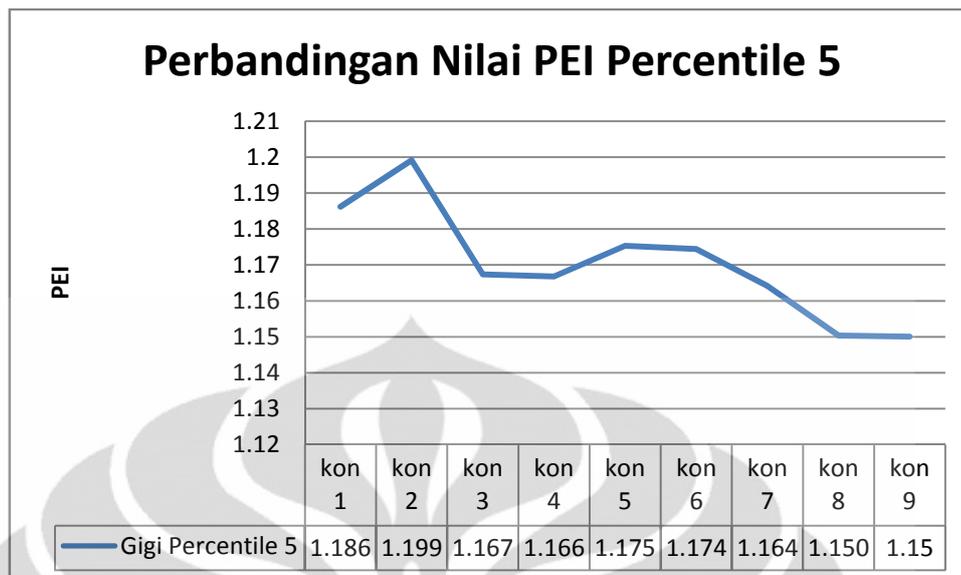
yang kurang nyaman pada tulang sendi telapak kaki kiri, pada konfigurasi usulan 7 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas.

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari kabin pengemudi bus untuk tiap konfigurasi usulan pada model pengemudi persentil 5 serta resiko terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* yang ditimbulkan, maka nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI.

**Tabel 4.19** Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5

Desain	LBA	OWAS	RULA	PEI
<b>Konfigurasi 1</b>	1114	1	3	1.186218
<b>Konfigurasi 2</b>	1158	1	3	1.19916
<b>Konfigurasi 3</b>	1050	1	3	1.167395
<b>Konfigurasi 4</b>	1048	1	3	1.166807
<b>Konfigurasi 5</b>	1077	1	3	1.175336
<b>Konfigurasi 6</b>	1074	1	3	1.174454
<b>Konfigurasi 7</b>	1039	1	3	1.16416
<b>Konfigurasi 8</b>	992	1	3	1.150336
<b>Konfigurasi 9</b>	991	1	3	1.150042

Berdasarkan hasil perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi usulan pada proses pergantian gigi untuk model pengemudi persentil 5 memiliki nilai PEI berbeda-beda. Nilai yang menunjukkan konfigurasi paling optimum untuk proses pergantian gigi untuk model pengemudi persentil 5 adalah 0.150042, yang merupakan konfigurasi usulan dengan ketinggian setir 82 cm dan diameter setir 52 cm. **Gambar 4.18** merupakan diagram perbandingan nilai PEI untuk setiap konfigurasi usulan.



**Gambar 4.18** Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 5

#### 4.2.2.2 Analisis konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi oleh Model Pengemudi Persentil 95

Analisis konfigurasi usulan pada model pengemudi persentil 95 untuk mengetahui hasil perbaikan variabel berpengaruh pada ukuran maksimal data populasi pengemudi. Berdasarkan hasil konfigurasi usulan yang disimulasikan dengan 3 variabel ketinggian setir dan diameter pada model persentil 95, didapatkan hasil LBA yang berbeda, namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan antar konfigurasi. Nilai LBA masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Nilai tekanan kompresi yang paling ringan adalah pada konfigurasi usulan dengan setir kemudi berukuran 52 cm dengan ketinggian 82 cm.

**Tabel 4.20** Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95

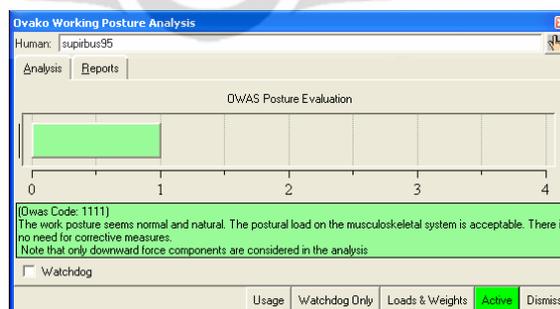
Desain	Steering Wheel			LBA
	Hand Wheel Diameter	Rim diameter	Height	
<b>Konfigurasi 1</b>	38 cm	2 cm	71 cm	1656 N
<b>Konfigurasi 2</b>	38 cm	2 cm	76.5 cm	1693 N
<b>Konfigurasi 3</b>	38 cm	2 cm	82 cm	1633 N

**Tabel 4.20** Perbandingan Nilai LBA Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95 (Sambungan)

<b>Konfigurasi 4</b>	45 cm	2 cm	71 cm	1624 N
<b>Konfigurasi 5</b>	45 cm	2 cm	76.5 cm	1517 N
<b>Konfigurasi 6</b>	45 cm	2 cm	82 cm	1486 N
<b>Konfigurasi 7</b>	52 cm	2 cm	71 cm	1520 N
<b>Konfigurasi 8</b>	52 cm	2 cm	76.5 cm	1512 N
<b>Konfigurasi 9</b>	52 cm	2 cm	82 cm	1407 N

Hasil nilai OWAS yang memberikan analisis kenyamanan postur yang dihasilkan oleh semua konfigurasi usulan kabin pengemudi bus pada model persentil 95 menunjukkan nilai 1 yang berarti bahwa semua konfigurasi usulan memberikan postur normal pada pengemudi. Detail nilai elemen OWAS untuk semua konfigurasi usulan juga menunjukkan nilai 1-1-1-1 yang dianalisis sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh pengemudi atau punggung pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu melakukan postur lurus dan netral.
2. Bagian tangan model pengemudi pada semua konfigurasi usulan dalam kategori 1 yaitu kedua tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pengemudi pada semua konfigurasi usulan termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki bertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh model pengemudi pada semua konfigurasi usulan tergolong ke dalam kategori 1 yaitu beban yang dikenakan pada model pengemudi masih berada di bawah 10 kg.



**Gambar 4.19** Nilai OWAS Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95

Nilai RULA yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas memberikan total skor yang

sama pada setiap konfigurasi usulan pada model persentil 95 untuk proses pergantian gigi. Namun apabila dilihat detail skor untuk kelompok tubuh A dan B, terlihat perbedaan antar konfigurasi usulan.

**Tabel 4.21** Perbandingan Nilai RULA pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95

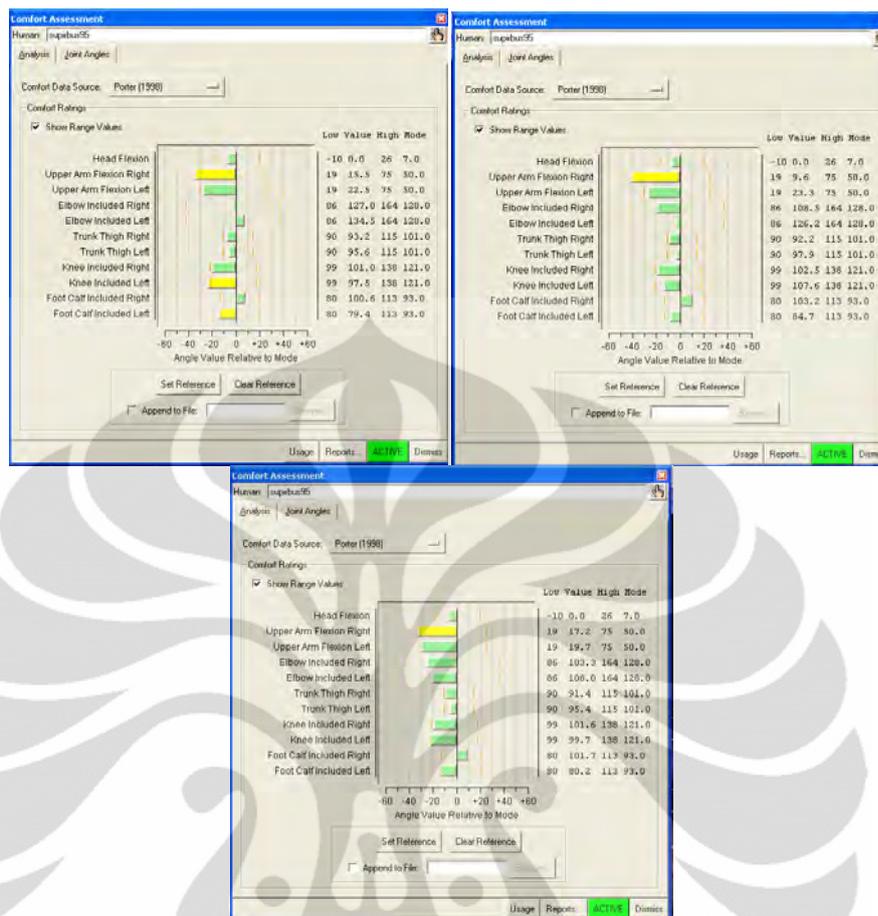
SCORE		Konfigurasi Usulan								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Group A	Upper Arm	3	3	3	3	3	3	2	3	2
	Lower Arm	3	3	2	3	3	2	3	3	2
	Wrist	3	1	1	2	1	1	2	1	2
	Wrist Twist	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total	4	4	3	4	4	3	4	4	3
Group B	Neck	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Trunk	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL SCORE</b>		3	3	3	3	3	3	3	3	3

Jika diperhatikan detail nilai RULA, perbedaan terjadi pada bagian tangan, dimana perubahan nilai RULA terjadi pada lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Perubahan ini terjadi dikarenakan perbedaan antar konfigurasi usulan terdapat pada tinggi dan diameter setir. Hampir seluruh bagian pada kelompok tubuh memiliki nilai yang cukup aman, namun perbedaan signifikan terjadi pada nilai bagian leher dan batang tubuh. Nilai untuk leher adalah 1 yang berarti leher termasuk menekuk namun tidak ekstrim, hanya berkisar  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dan leher tidak berputar maupun membengkok. Nilai untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti batang tubuh berada dalam posisi bersender, karena torso menyender dengan kemiringan masih berada dalam interval  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , dengan batang tubuh tidak membengkok ataupun berputar. Nilai akhir RULA menunjukkan angka 3 yang disebabkan oleh penambahan beban yang tetap tergolong berat, dimana penambahan faktor beban cukup berpengaruh dalam analisis RULA.

Analisis *comfort assessment* dilakukan untuk meramalkan *human model* duduk secara nyaman berdasarkan sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan.



**Gambar 4.20** *Comfort Assessment* Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95



**Gambar 4.20** *Comfort Assessment* Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95 (Sambutan)

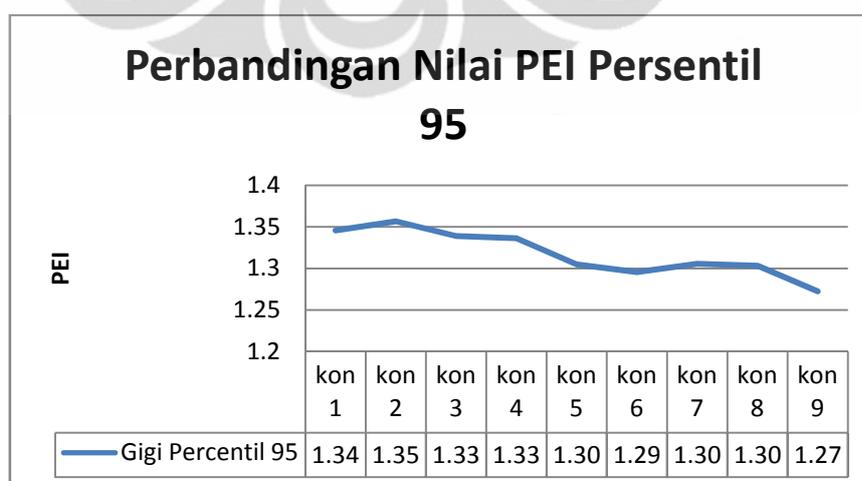
Berdasarkan analisis *comfort assessment*, tidak ada perbedaan signifikan antar konfigurasi usulan. Semua konfigurasi usulan membuat sudut yang dibentuk oleh tulang sendi dan postur tubuh secara keseluruhan berada dalam zona aman, kecuali pada konfigurasi usulan 1 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi bagian lengan atas kanan dan telapak kaki kiri, pada konfigurasi usulan 2 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lutut kanan, pada konfigurasi usulan 3 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi bagian lengan atas kanan dan telapak kaki kiri, pada konfigurasi usulan 5 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi telapak kaki kiri, pada konfigurasi usulan 6 dan 7 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas kanan, lutut kanan, dan telapak kaki kiri, pada konfigurasi usulan 8 dan 9 terbentuk sudut yang kurang nyaman pada tulang sendi lengan atas kanan.

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari kabin pengemudi bus untuk tiap konfigurasi usulan pada model pengemudi persentil 95 serta resiko terhadap gangguan *musculoskeletal disorder* yang ditimbulkan, maka nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI.

**Tabel 4.22** Rekapitulasi Nilai pada Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95

Desain	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1	1656	1	3	1.34563
Konfigurasi 2	1693	1	3	1.356513
Konfigurasi 3	1633	1	3	1.338866
Konfigurasi 4	1624	1	3	1.336218
Konfigurasi 5	1517	1	3	1.304748
Konfigurasi 6	1486	1	3	1.29563
Konfigurasi 7	1520	1	3	1.30563
Konfigurasi 8	1512	1	3	1.303277
Konfigurasi 9	1407	1	3	1.272395

Berdasarkan hasil perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi usulan pada proses pergantian gigi untuk model pengemudi persentil 95 memiliki nilai PEI berbeda-beda. Nilai yang menunjukkan konfigurasi paling optimum untuk proses pergantian gigi untuk model pengemudi persentil 95 adalah 1.272395, yang merupakan konfigurasi usulan dengan ketinggian setir 82 cm dan diameter setir 52 cm. **Gambar 4.21** merupakan diagram perbandingan nilai PEI untuk setiap konfigurasi usulan.



**Gambar 4.21** Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Proses Pergantian Gigi Persentil 95

### 4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan

Analisis perbandingan kondisi aktual dan usulan dilakukan setelah menetapkan konfigurasi usulan yang memiliki tingkat ergonomi paling optimum. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan nilai PEI pada kondisi aktual dengan kondisi usulan. Berdasarkan hasil analisis terhadap konfigurasi usulan, dapat diketahui bahwa konfigurasi usulan yang memiliki tingkat ergonomi paling optimum adalah konfigurasi usulan yang memiliki tinggi setir 82 cm dan diameter setir 52.

**Tabel 4.23** Rekapitulasi Nilai PEI Konfigurasi Usulan

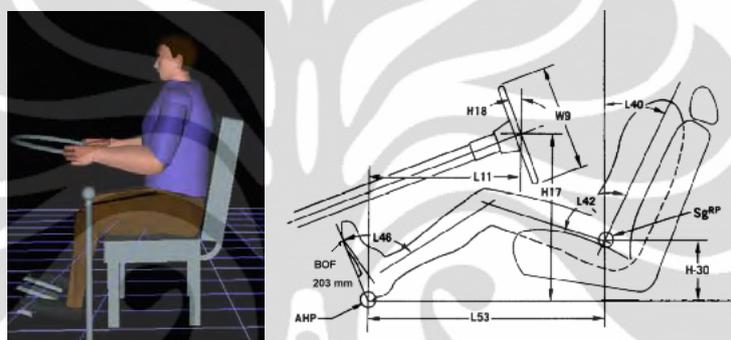
Desain	Steering Wheel			PEI
	Hand Wheel Diameter	Rim diameter	Height	
Konfigurasi 1	38 cm	2 cm	71 cm	1.34563
Konfigurasi 2	38 cm	2 cm	76.5 cm	1.356513
Konfigurasi 3	38 cm	2 cm	82 cm	1.338866
Konfigurasi 4	45 cm	2 cm	71 cm	1.336218
Konfigurasi 5	45 cm	2 cm	76.5 cm	1.304748
Konfigurasi 6	45 cm	2 cm	82 cm	1.29563
Konfigurasi 7	52 cm	2 cm	71 cm	1.30563
Konfigurasi 8	52 cm	2 cm	76.5 cm	1.303277
<b>Konfigurasi 9</b>	<b>52 cm</b>	<b>2 cm</b>	<b>82 cm</b>	<b>1.272395</b>

#### 4.3.1 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan pada Proses Kemudi dan Gas

Berdasarkan hasil analisis, terjadi perubahan pada nilai LBA, OWAS, RULA, dan *comfort assessment* setelah dilakukan perubahan pada tinggi setir dan diameter setir. Selisih tekanan kompresi yang dialami oleh persentil 5 adalah 513 N setelah dilakukan perubahan, sedangkan selisih tekanan kompresi pada persentil 95 adalah 788 N. Penurunan tingkat kompresi yang terjadi dikarenakan perubahan pada diameter setir, dimana semakin jauh posisi benda yang harus digerakkan dari sumbu putarnya, maka semakin kecil gaya yang perlu dikeluarkan untuk menggerakkan benda tersebut. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan beban yang diterima pengemudi pada saat mengemudikan setir bus. Selain itu perubahan

tinggi setir yang sejajar dengan tinggi siku, yang membuat pengemudi tidak mungkin membungkuk pada saat menjangkau setir kemudi.

Nilai OWAS dan RULA juga mengalami perbaikan terutama dibagian batang tubuh dan lengan. Nilai OWAS pada kondisi usulan menunjukkan bahwa postur pengemudi berada pada posisi ideal. Sedangkan untuk nilai RULA, dengan nilai analisis sebesar 3 yang berarti perlu dilakukan investigasi lebih jauh dan perubahan mungkin diperlukan. Hal ini dikarenakan posisi setir pada bus tidak sama dengan posisi setir pada kendaraan lain seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.22**.



**Gambar 4.22** Perbandingan Posisi Setir Pada Bus dan Kendaraan Lain

Posisi setir pada bus mengharuskan pengemudi untuk mengemudi dengan postur tegak. Hal ini disesuaikan dengan bentuk bus dan kerja pengemudi bus yang lebih memerlukan konsentrasi dibandingkan pengemudi kendaraan lain.

**Tabel 4.24** Perbandingan Nilai Analisis Pengemudi Persentil 5

Kondisi	Nilai Analisis		
	LBA	OWAS	RULA
Aktual	1281	2	6
Usulan	768	1	3

**Tabel 4.25** Perbandingan Nilai Analisis Pengemudi Persentil 95

Kondisi	Nilai Analisis		
	LBA	OWAS	RULA
Aktual	1803	2	6
Usulan	1015	1	3

Perubahan nilai analisis tersebut mengakibatkan perubahan pada nilai PEI. Nilai PEI pada proses setir dan gas mengalami penurunan yang cukup besar terutama pada pengemudi dengan persentil 95 dengan selisih 1.090336. Dengan menurunnya nilai PEI, maka dapat dikatakan bahwa tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh pengemudi terhadap kabin pengemudi ketika melakukan proses

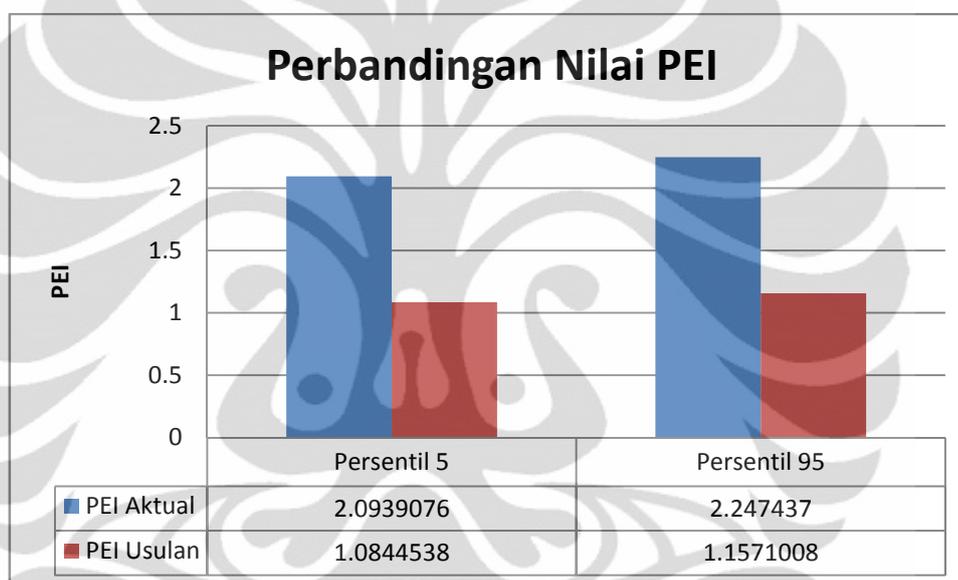
setir dan gas meningkat dan resiko terhadap timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* menurun.

**Tabel 4.26** Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Usulan pada Kedua Persentil

Pengemudi	Nilai PEI		
	PEI Aktual	PEI Usulan	Selisih
<b>Persentil 5</b>	2.0939076	1.0844538	1.009454
<b>Persentil 95</b>	2.247437	1.1571008	1.090336

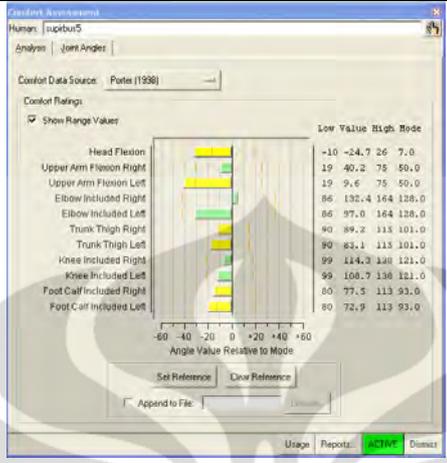
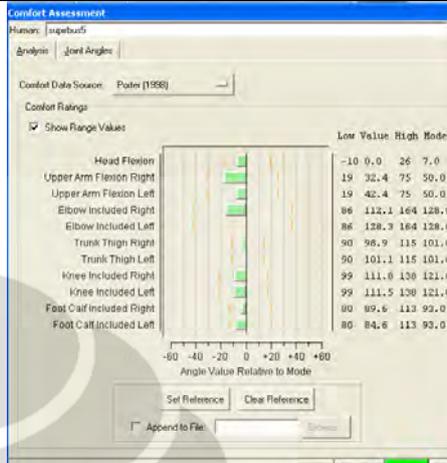
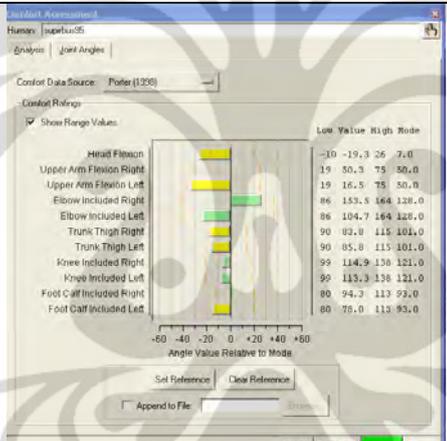
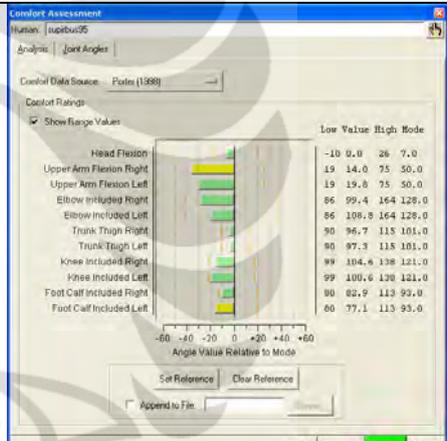
Penggambaran perbedaan nilai PEI pada kondisi aktual dan usulan dapat terlihat jelas pada **Gambar 4.23**.

**Gambar 4.23** Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Proses Kemudi dan Gas



Perubahan yang terjadi juga dapat dilihat dari hasil analisis *comfort assessment*. Hasil analisis *comfort assessment* menunjukkan bahwa bagian tubuh yang merasakan ketidaknyamanan lebih sedikit pada kondisi usulan dibandingkan dengan kondisi aktual. Sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi usulan lebih ergonomis dibandingkan dengan kondisi aktual.

**Tabel 4.27** Perbandingan *Comfort Assessment* pada Kondisi Aktual dan Usulan

	Aktual	Usulan																																																																																																																								
<b>Persentil 5</b>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Body Part</th> <th>Low</th> <th>Value</th> <th>High</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Head Flexion</td><td>-10</td><td>-24.7</td><td>26</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Right</td><td>19</td><td>40.2</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Left</td><td>19</td><td>9.6</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Right</td><td>86</td><td>132.4</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Left</td><td>86</td><td>97.0</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Right</td><td>90</td><td>89.2</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Left</td><td>90</td><td>83.1</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Right</td><td>99</td><td>114.3</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Left</td><td>99</td><td>108.7</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Right</td><td>80</td><td>77.5</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Left</td><td>80</td><td>72.9</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> </tbody> </table>	Body Part	Low	Value	High	Mode	Head Flexion	-10	-24.7	26	7.0	Upper Arm Flexion Right	19	40.2	75	50.0	Upper Arm Flexion Left	19	9.6	75	50.0	Elbow Included Right	86	132.4	164	128.0	Elbow Included Left	86	97.0	164	128.0	Trunk Thigh Right	90	89.2	113	101.0	Trunk Thigh Left	90	83.1	113	101.0	Knee Included Right	99	114.3	138	121.0	Knee Included Left	99	108.7	138	121.0	Foot Calf Included Right	80	77.5	113	93.0	Foot Calf Included Left	80	72.9	113	93.0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Body Part</th> <th>Low</th> <th>Value</th> <th>High</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Head Flexion</td><td>-10</td><td>0.0</td><td>26</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Right</td><td>19</td><td>32.4</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Left</td><td>19</td><td>42.4</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Right</td><td>86</td><td>112.1</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Left</td><td>86</td><td>128.3</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Right</td><td>90</td><td>98.9</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Left</td><td>90</td><td>101.1</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Right</td><td>99</td><td>111.0</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Left</td><td>99</td><td>111.5</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Right</td><td>80</td><td>89.6</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Left</td><td>80</td><td>84.6</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> </tbody> </table>	Body Part	Low	Value	High	Mode	Head Flexion	-10	0.0	26	7.0	Upper Arm Flexion Right	19	32.4	75	50.0	Upper Arm Flexion Left	19	42.4	75	50.0	Elbow Included Right	86	112.1	164	128.0	Elbow Included Left	86	128.3	164	128.0	Trunk Thigh Right	90	98.9	113	101.0	Trunk Thigh Left	90	101.1	113	101.0	Knee Included Right	99	111.0	138	121.0	Knee Included Left	99	111.5	138	121.0	Foot Calf Included Right	80	89.6	113	93.0	Foot Calf Included Left	80	84.6	113	93.0
Body Part	Low	Value	High	Mode																																																																																																																						
Head Flexion	-10	-24.7	26	7.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Right	19	40.2	75	50.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Left	19	9.6	75	50.0																																																																																																																						
Elbow Included Right	86	132.4	164	128.0																																																																																																																						
Elbow Included Left	86	97.0	164	128.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Right	90	89.2	113	101.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Left	90	83.1	113	101.0																																																																																																																						
Knee Included Right	99	114.3	138	121.0																																																																																																																						
Knee Included Left	99	108.7	138	121.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Right	80	77.5	113	93.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Left	80	72.9	113	93.0																																																																																																																						
Body Part	Low	Value	High	Mode																																																																																																																						
Head Flexion	-10	0.0	26	7.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Right	19	32.4	75	50.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Left	19	42.4	75	50.0																																																																																																																						
Elbow Included Right	86	112.1	164	128.0																																																																																																																						
Elbow Included Left	86	128.3	164	128.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Right	90	98.9	113	101.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Left	90	101.1	113	101.0																																																																																																																						
Knee Included Right	99	111.0	138	121.0																																																																																																																						
Knee Included Left	99	111.5	138	121.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Right	80	89.6	113	93.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Left	80	84.6	113	93.0																																																																																																																						
<b>Persentil 95</b>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Body Part</th> <th>Low</th> <th>Value</th> <th>High</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Head Flexion</td><td>-10</td><td>-19.3</td><td>26</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Right</td><td>19</td><td>30.3</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Left</td><td>19</td><td>16.5</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Right</td><td>86</td><td>153.5</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Left</td><td>86</td><td>104.7</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Right</td><td>90</td><td>83.8</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Left</td><td>90</td><td>85.8</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Right</td><td>99</td><td>114.9</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Left</td><td>99</td><td>113.3</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Right</td><td>80</td><td>94.3</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Left</td><td>80</td><td>78.0</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> </tbody> </table>	Body Part	Low	Value	High	Mode	Head Flexion	-10	-19.3	26	7.0	Upper Arm Flexion Right	19	30.3	75	50.0	Upper Arm Flexion Left	19	16.5	75	50.0	Elbow Included Right	86	153.5	164	128.0	Elbow Included Left	86	104.7	164	128.0	Trunk Thigh Right	90	83.8	113	101.0	Trunk Thigh Left	90	85.8	113	101.0	Knee Included Right	99	114.9	138	121.0	Knee Included Left	99	113.3	138	121.0	Foot Calf Included Right	80	94.3	113	93.0	Foot Calf Included Left	80	78.0	113	93.0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Body Part</th> <th>Low</th> <th>Value</th> <th>High</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Head Flexion</td><td>-10</td><td>0.0</td><td>26</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Right</td><td>19</td><td>14.0</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Left</td><td>19</td><td>19.8</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Right</td><td>86</td><td>99.4</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Left</td><td>86</td><td>109.8</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Right</td><td>90</td><td>96.7</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Left</td><td>90</td><td>97.3</td><td>113</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Right</td><td>99</td><td>104.6</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Left</td><td>99</td><td>100.6</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Right</td><td>80</td><td>82.9</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Left</td><td>80</td><td>77.1</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> </tbody> </table>	Body Part	Low	Value	High	Mode	Head Flexion	-10	0.0	26	7.0	Upper Arm Flexion Right	19	14.0	75	50.0	Upper Arm Flexion Left	19	19.8	75	50.0	Elbow Included Right	86	99.4	164	128.0	Elbow Included Left	86	109.8	164	128.0	Trunk Thigh Right	90	96.7	113	101.0	Trunk Thigh Left	90	97.3	113	101.0	Knee Included Right	99	104.6	138	121.0	Knee Included Left	99	100.6	138	121.0	Foot Calf Included Right	80	82.9	113	93.0	Foot Calf Included Left	80	77.1	113	93.0
Body Part	Low	Value	High	Mode																																																																																																																						
Head Flexion	-10	-19.3	26	7.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Right	19	30.3	75	50.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Left	19	16.5	75	50.0																																																																																																																						
Elbow Included Right	86	153.5	164	128.0																																																																																																																						
Elbow Included Left	86	104.7	164	128.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Right	90	83.8	113	101.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Left	90	85.8	113	101.0																																																																																																																						
Knee Included Right	99	114.9	138	121.0																																																																																																																						
Knee Included Left	99	113.3	138	121.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Right	80	94.3	113	93.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Left	80	78.0	113	93.0																																																																																																																						
Body Part	Low	Value	High	Mode																																																																																																																						
Head Flexion	-10	0.0	26	7.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Right	19	14.0	75	50.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Left	19	19.8	75	50.0																																																																																																																						
Elbow Included Right	86	99.4	164	128.0																																																																																																																						
Elbow Included Left	86	109.8	164	128.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Right	90	96.7	113	101.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Left	90	97.3	113	101.0																																																																																																																						
Knee Included Right	99	104.6	138	121.0																																																																																																																						
Knee Included Left	99	100.6	138	121.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Right	80	82.9	113	93.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Left	80	77.1	113	93.0																																																																																																																						

**4.3.2 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan pada Proses Pergantian Gigi**

Hasil analisis untuk proses pergantian gigi menunjukkan perbedaan antara kondisi aktual dan usulan. Seperti yang telah diketahui bahwa perubahan yang dilakukan pada kondisi aktual adalah perubahan pada diameter dan tinggi setir yang disesuaikan dengan antropometri pengemudi.

Perubahan terjadi pada tekanan kompresi yang dialami oleh pengemudi dengan persentil 5 dan 95. Tekanan kompresi yang dialami pengemudi dengan persentil 5 mengalami penurunan sebesar 609 N sedangkan pengemudi dengan persentil 95 mengalami penurunan sebesar 625 N. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penurunan tingkat kompresi disebabkan oleh perubahan pada diameter setir yang mengakibatkan menurunnya gaya yang perlu dikeluarkan

pengemudi pada saat mengemudikan setir serta tinggi setir yang disesuaikan dengan tinggi siku pengemudi.

Nilai OWAS dan RULA juga mengalami perubahan terutama di bagian batang tubuh dan lengan. Nilai OWAS pada kondisi usulan menunjukkan bahwa postur pengemudi berada pada posisi ideal. Sedangkan untuk nilai RULA, dengan nilai analisis sebesar 3 yang berarti perlu dilakukan investigasi lebih jauh dan perubahan mungkin diperlukan.

**Tabel 4.28** Perbandingan Nilai Analisis pada Proses Pergantian Gigi Persentil 5

Kondisi	Nilai Analisis		
	LBA	OWAS	RULA
Aktual	1600	2	7
Usulan	991	1	3

**Tabel 4.29** Perbandingan Nilai Analisis pada Proses Pergantian Gigi Persentil 95

Kondisi	Nilai Analisis		
	LBA	OWAS	RULA
Aktual	2032	2	6
Usulan	1407	1	3

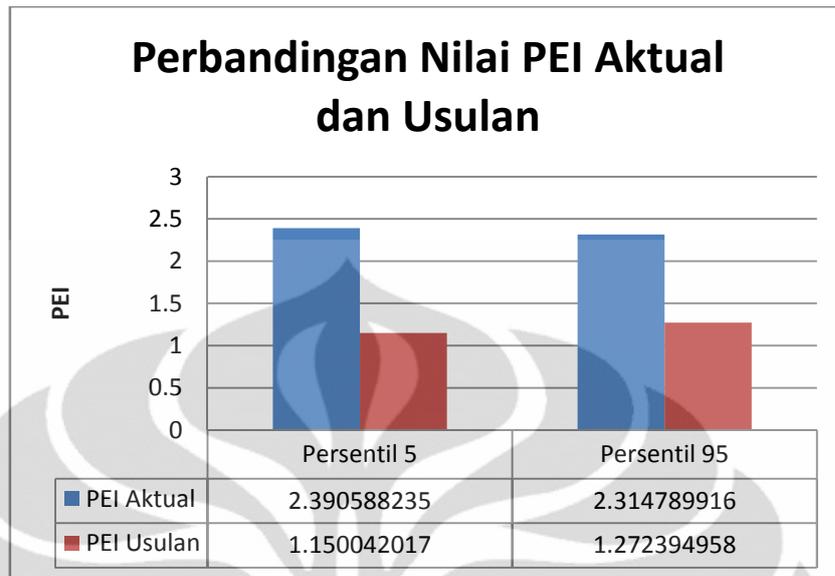
Perubahan nilai analisis mengakibatkan perubahan pada nilai PEI. Nilai PEI pada proses pergantian gigi mengalami penurunan yang cukup besar terutama pada pengemudi dengan persentil 5 dengan selisih 1.240546. Dengan menurunnya nilai PEI, maka dapat dikatakan bahwa tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh pengemudi terhadap kabin pengemudi ketika melakukan proses pergantian meningkat dan resiko terhadap timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder* menurun.

**Tabel 4.30** Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Usulan pada Proses Pergantian Gigi Kedua Persentil

Pengemudi	Nilai PEI		
	PEI Aktual	PEI Usulan	Selisih
Persentil 5	2.3905882	1.150042	1.240546
Persentil 95	2.3147899	1.272395	1.042395

Penggambaran perbedaan nilai PEI pada kondisi aktual dan usulan dapat terlihat jelas pada **Gambar 4.24**.

Gambar 4.24 Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Proses Pergantian Gigi

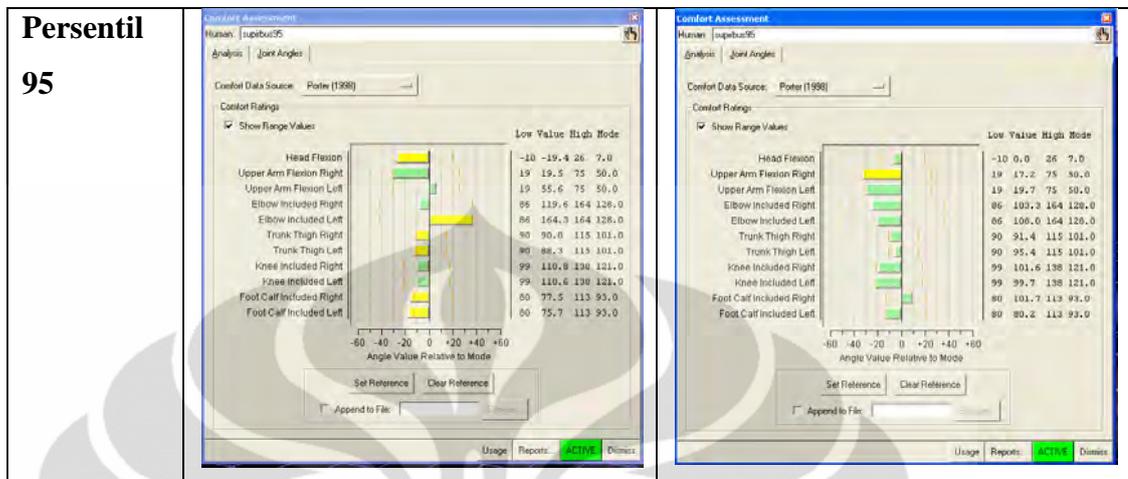


Perubahan yang terjadi juga dapat dilihat dari hasil analisis *comfort assessment*. Hasil analisis *comfort assessment* menunjukkan bahwa bagian tubuh yang merasakan ketidaknyamanan lebih sedikit pada kondisi usulan dibandingkan dengan kondisi aktual. Sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi usulan lebih ergonomis dibandingkan dengan kondisi aktual.

Tabel 4.31 Perbandingan *Comfort Assessment* pada Kondisi Aktual dan Usulan Proses Pergantian Gigi

	Aktual	Usulan																																																																																																																								
Percentil 5	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Low</th> <th>Value</th> <th>High</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Head Flexion</td><td>-10</td><td>-137.8</td><td>26</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Right</td><td>19</td><td>54.0</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Left</td><td>19</td><td>16.1</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Right</td><td>86</td><td>140.4</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Left</td><td>86</td><td>84.9</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Right</td><td>90</td><td>90.4</td><td>115</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Left</td><td>90</td><td>87.9</td><td>115</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Right</td><td>99</td><td>110.2</td><td>136</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Left</td><td>99</td><td>113.5</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Right</td><td>80</td><td>80.1</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Left</td><td>80</td><td>79.7</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> </tbody> </table>		Low	Value	High	Mode	Head Flexion	-10	-137.8	26	7.0	Upper Arm Flexion Right	19	54.0	75	50.0	Upper Arm Flexion Left	19	16.1	75	50.0	Elbow Included Right	86	140.4	164	128.0	Elbow Included Left	86	84.9	164	128.0	Trunk Thigh Right	90	90.4	115	101.0	Trunk Thigh Left	90	87.9	115	101.0	Knee Included Right	99	110.2	136	121.0	Knee Included Left	99	113.5	138	121.0	Foot Calf Included Right	80	80.1	113	93.0	Foot Calf Included Left	80	79.7	113	93.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Low</th> <th>Value</th> <th>High</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Head Flexion</td><td>-10</td><td>0.0</td><td>26</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Right</td><td>19</td><td>29.6</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Upper Arm Flexion Left</td><td>19</td><td>41.2</td><td>75</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Right</td><td>86</td><td>118.3</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Elbow Included Left</td><td>86</td><td>121.0</td><td>164</td><td>128.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Right</td><td>90</td><td>97.3</td><td>115</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Trunk Thigh Left</td><td>90</td><td>99.9</td><td>115</td><td>101.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Right</td><td>99</td><td>109.7</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Knee Included Left</td><td>99</td><td>109.7</td><td>138</td><td>121.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Right</td><td>80</td><td>105.6</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> <tr><td>Foot Calf Included Left</td><td>80</td><td>84.7</td><td>113</td><td>93.0</td></tr> </tbody> </table>		Low	Value	High	Mode	Head Flexion	-10	0.0	26	7.0	Upper Arm Flexion Right	19	29.6	75	50.0	Upper Arm Flexion Left	19	41.2	75	50.0	Elbow Included Right	86	118.3	164	128.0	Elbow Included Left	86	121.0	164	128.0	Trunk Thigh Right	90	97.3	115	101.0	Trunk Thigh Left	90	99.9	115	101.0	Knee Included Right	99	109.7	138	121.0	Knee Included Left	99	109.7	138	121.0	Foot Calf Included Right	80	105.6	113	93.0	Foot Calf Included Left	80	84.7	113	93.0
	Low	Value	High	Mode																																																																																																																						
Head Flexion	-10	-137.8	26	7.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Right	19	54.0	75	50.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Left	19	16.1	75	50.0																																																																																																																						
Elbow Included Right	86	140.4	164	128.0																																																																																																																						
Elbow Included Left	86	84.9	164	128.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Right	90	90.4	115	101.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Left	90	87.9	115	101.0																																																																																																																						
Knee Included Right	99	110.2	136	121.0																																																																																																																						
Knee Included Left	99	113.5	138	121.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Right	80	80.1	113	93.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Left	80	79.7	113	93.0																																																																																																																						
	Low	Value	High	Mode																																																																																																																						
Head Flexion	-10	0.0	26	7.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Right	19	29.6	75	50.0																																																																																																																						
Upper Arm Flexion Left	19	41.2	75	50.0																																																																																																																						
Elbow Included Right	86	118.3	164	128.0																																																																																																																						
Elbow Included Left	86	121.0	164	128.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Right	90	97.3	115	101.0																																																																																																																						
Trunk Thigh Left	90	99.9	115	101.0																																																																																																																						
Knee Included Right	99	109.7	138	121.0																																																																																																																						
Knee Included Left	99	109.7	138	121.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Right	80	105.6	113	93.0																																																																																																																						
Foot Calf Included Left	80	84.7	113	93.0																																																																																																																						

**Tabel 4.31** Perbandingan *Comfort Assessment* pada Kondisi Aktual dan Usulan  
Proses Pergantian Gigi (Sambungan)



## BAB 5

### PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan disertai dengan saran berdasarkan hasil yang telah dicapai.

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan pada kabin pengemudi bus PHL (Patas Hyno Long) AK3HR dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengemudi bus PHL (Patas Hyno Long) AK3HR cenderung mengalami gejala *musculoskeletal disorder* pada bagian betis, bahu, lutut, pinggang atau pinggul, punggung bawah, leher, paha, dan telapak kaki. Hal ini dikarenakan pada proses perancangan kabin pengemudi tidak mempertimbangkan aspek ergonomi dan antropometri pengemudi bus.
2. Proses setir dan gas pada kondisi aktual dilakukan oleh model pengemudi dengan persentil 5, 50, dan 95. Nilai PEI dari simulasi tersebut adalah 2.09391 untuk persentil 5, 2.20361 untuk persentil 50, dan 2.24744 untuk persentil 95. Untuk hasil analisis *comfort assessment* didapat bagian tubuh yang mengalami ketidaknyamanan pada saat duduk antara lain kepala, lengan atas, siku, batang tubuh, lutut, dan telapak kaki. Setelah dilakukan perbaikan rancangan kabin pengemudi pada tinggi setir dan diameter setir, nilai PEI menjadi 1.08445 untuk persentil 5 dan 1.1571 untuk persentil 95. Tinggi setir disesuaikan sejajar dengan tinggi siku sedangkan untuk ukuran diameter setir disesuaikan dengan lebar bahu pengemudi bus. Nilai PEI yang lebih kecil pada rancangan usulan menandakan rancangan kabin pengemudi usulan lebih ergonomis dibandingkan dengan rancangan kabin pengemudi aktual, sehingga resiko terhadap timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder*-pun berkurang.
3. Proses pergantian gigi pada kondisi aktual dilakukan oleh model pengemudi dengan persentil 5, 50, dan 95. Nilai PEI dari simulasi kondisi aktual adalah 2.39059 untuk persentil 5, 2.21361 untuk persentil 50, dan 2.31479 untuk persentil 95. Selain itu, hasil analisis *comfort assessment* menunjukkan bahwa bagian tubuh pengemudi yang mengalami ketidaknyamanan pada saat duduk

antara lain kepala, lengan atas, siku, batang tubuh, lutut, dan telapak kaki. Dengan adanya perbaikan pada tinggi setir dan diameter setir, terjadi penurunan nilai PEI menjadi 1.15004 untuk persentil 5 dan 1.27239 untuk persentil 95. Selain itu, bagian tubuh yang mengalami ketidaknyamanan berdasarkan hasil analisis *comfort assessment* pun berkurang menjadi hanya pada bagian lengan atas atas. Sehingga dapat dikatakan bahwa rancangan desain kabin pengemudi usulan lebih ergonomis dibandingkan dengan rancangan kabin pengemudi aktual. Dengan menurunnya nilai PEI dan bagian tubuh yang mengalami ketidaknyamanan, maka resiko terhadap timbulnya gangguan *musculoskeletal disorder*-pun berkurang.

4. Hasil rancangan desain kabin pengemudi bus usulan memiliki tinggi setir yang sejajar dengan tinggi siku pengemudi yaitu 82 cm dan diameter setir yang sama dengan ukuran lebar bahu pengemudi yaitu 52 cm.

## 5.2 Saran

Dalam pengembangan desain kabin pengemudi bus yang ergonomis diperlukan pertimbangan aspek lain seperti jarak penglihatan pengemudi. 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 pengemudi, penempatan rambu-rambu jalan, serta penempatan kaca pada bus, baik kaca spion ataupun kaca depan.

## DAFTAR REFERENSI

- Andreoni, G., Santambrogio, C., Rabuffetti, M., Pedotti, A. (2002). Methods for the analysis of posture and interface pressure of car drivers. Elsevier Science Ltd.
- Carrier, R. Ergonomic study of Driver's Workstation in Urban Buses. CUTA. 1992.
- Diffrient, Tilley, Harman. Humanscale 7/8/9. Henry Dreyfus Associates, MIT Press. 1991. Massachusetts
- Don B. Chaffin, G Lawton, and Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, University of Michigan, 2003.
- F. Caputo, G. Di Gironimo, A. Marzano, *Ergonomi Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment*, University of Naples, Italy, 2006.
- Grosbrink, A. & Mahr, A. Ch. 102 Transport Industry and Warehousing. Ergonomics of Bus Driving in Encyclopedia of Occupational Health and Safety/ edited by Janne Mager Stellman. 4<sup>th</sup> ed. Geneva: International Labour Office, 1998. Vol. 3, pt. XVII.
- Grujicic, M., Pandurangan, B., Xie, X., Grampodahye, K., Wagner, D., Ozen. (2010). Musculoskeletal computational analysis of the influence of car-seat design/adjustments on long-distance driving fatigue. Elsevier B.V.
- Lis, M., Black, M., Korn, H., Nordin, M. (2006). *Association between sitting and occupational LBP*. Springer-Verlag.
- N. Stanton, et al, "Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods", *CRC Press LLC*, 2000, hal.55
- Okunribido, O., Shimbles, J., Magnusson, M., Pope, M. (2006). City bus driving and low back pain: A study of the exposure to posture demands, manual materials handling, and whole-body vibration. Elsevier Ltd.

- Roy C. Davies, “Application of Systems Design Using Virtual Environment”,  
*University of Lund, Sweden, 2000*
- Prentice, C., & Kershaw, D. Low-Floor Bus Design Issues and Guidelines Study.  
CUTA, 1994
- R. Kalawsky, “The Science of Virtual Reality and Virtual Environments”.  
Addison-Wesley Publishing Company, Gambridge, 1993; hal.396
- Rodgers, Suzanne H., and Elizabeth M. Eggleton, Editor, Eastman Kodak  
Company, Ergonomics Design for People at Work, Volume 1, Van  
Nostrand Reinhold, 1983
- Sutalaksana. Teknik Tata Cara Kerja. Bandung: KMTI ITB. 1982
- Szeto, Y., Lam, Peggo. (2007). Work-related musculoskeletal disorder in urban  
bus drivers of Hong Kong. Springer Science+Business Media.
- Timo Määttä, “Virtual Environment in Machinery Safety Analysis”, VTT  
Technical Research Centre of Finland, Finland, 2003; hal.45
- Transport & General Workers Union. Code of Practice-Good Cab Design. T&G  
Publications. 1993.
- Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomis and Human  
Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal.3299.
- Wilson, J.R. “*Virtual environments and applied ergonomic.*” *Applied Ergonomic*  
30:1 Feb (1999): hal.3–9.