



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DAN PERANCANGAN DESAIN USULAN MEJA
DAN KURSI SEKOLAH MENENGAH PERTAMA (SMP)
YANG ERGONOMIS DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT*
STUDI KASUS : SMP NEGERI 88 JAKARTA**

SKRIPSI

**NURINTAN NAULI P.S
0806458984**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DAN PERANCANGAN DESAIN USULAN MEJA
DAN KURSI SEKOLAH MENENGAH PERTAMA (SMP)
YANG ERGONOMIS DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT*
STUDI KASUS : SMP NEGERI 88 JAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

NURINTAN NAULI P.S

0806458984

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Nurintan Nauli P.S

NPM : 0806458984

Tanda Tangan :



Tanggal : Juni 2012





HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Nurintan Nauli P.S
NPM : 0806458984
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Evaluasi dan Perancangan Desain Usulan Meja dan Kursi Sekolah Menengah Pertama yang Ergonomis dalam *Virtual Environment*. Studi Kasus : SMP Negeri 88 Jakarta.

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Erlinda Muslim, MEE ()
Penguji : Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE ()
Penguji : Arian Dhini, ST., MT ()
Penguji : Dendi P. Ishak, MSIE ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan YME karena berkat rahmat dan karunia-Nya lah pada akhirnya Laporan Tugas Akhir Penelitian ini dapat diselesaikan. Penyusunan laporan penelitian ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Dalam melakukan penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapatkan bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, atas ridho dan karunia serta kesehatan yang diberikan kepada penulis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam melakukan penelitian ini. Demikian juga atas saran dan semangat yang tiada habisnya beliau berikan kepada penulis sehingga akhirnya penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE, serta dosen pembimbing ergonomi lainnya yang seringkali juga memberikan bimbingan dan saran kepada penulis selama penelitian ini, termasuk atas waktu dan tenaga yang telah banyak diberikan serta motivasi kepada penulis.
4. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang selalu memberikan dukungan dalam segala hal baik moril maupun materil kepada penulis selama menjalankan perkuliahan terutama pada saat dilakukannya penelitian ini.
5. Seluruh keluarga besar dan keempat adik tersayang yang selalu menghibur penulis, Adrian, Bagas, Dini dan Diva.
6. Bram Bratanata, terima kasih atas dukungan, waktu, kerjasama, kesabaran, bantuan, semangat, hiburan dan doa yang sangat berarti untuk penulis.
7. Wuri Prastiti, Naskaya Suriadinata, Inelva Riani dan Emillie Ayu selaku sahabat terdekat yang selalu saling mendoakan, memberikan motivasi, menghibur serta berjuang bersama-sama untuk dapat menyelesaikan tugas akhir masing-masing.

8. Laisha, Felita, Sonya, Asseta, Echa, Florence, Patty, Iif, Upi, Fitri, Nike, Ernest, Gagas, Eja, Toa, Jody, Tyo, Iwan, yang senantiasa membantu, memberikan semangat dan berjuang bersama dalam melewati masa-masa senang dan sulit di Teknik Industri.
9. Teman-teman penelitian Ergonomics Centre : Meilin, Tegar, Link, Aisyah, Dwiki, Anton, Alex, Ivan, Disa, Neni, Rengkung, Andreas, Roberton, Theo, Sendhi, yang selama melakukan penelitian bersama-sama selalu bertukar informasi dan wawasan untuk memudahkan satu sama lain.
10. Seluruh karyawan Teknik Industri, terutama Mas Taufan, Ibu Har, Mas Latif, Mas Iwan, Pak Mursyid yang seringkali direpotkan oleh penulis selama melakukan penelitian maupun penyusunan laporan ini.
11. Teman-teman Teknik Industri angkatan 2008, terima kasih telah banyak memberikan inspirasi, dukungan dan bantuan selama 4 tahun menjalani kebersamaan di Teknik Industri.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna dikarenakan oleh keterbatasan Penulis. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, Penulis menerima kritik dan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat memberikan manfaat pada masyarakat luas khususnya dunia pendidikan dan industri. Semoga tulisan di dalam skripsi ini bisa memberikan tambahan pengetahuan maupun menjadi sumber informasi yang berguna bagi setiap pembaca.

Depok, Juni 2012

Penulis

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

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


Nama : Nurintan Nauli P.S
NPM : 0806458984
Program Studi : 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 :

**Evaluasi dan Perancangan Desain Usulan Meja dan Kursi Sekolah
Menengah Pertama yang Ergonomis dalam *Virtual Environment*. Studi
Kasus : SMP Negeri 88 Jakarta**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, 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 : Juni 2012
Yang menyatakan


(Nurintan Nauli P.S)

ABSTRAK

Nama : Nurintan Nauli P.S
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Evaluasi dan Perancangan Desain Usulan Meja dan Kursi Sekolah Menengah Pertama (SMP) yang Ergonomis dalam *Virtual Environment*. Studi Kasus : SMP Negeri 88 Jakarta

Kesalahan desain serta ukuran kursi dan meja sekolah dapat mengakibatkan terbentuknya postur tubuh yang membahayakan bagi kesehatan siswa, terutama yang berkaitan dengan cedera pada tulang belakang. Penelitian ini akan membandingkan ukuran kursi dan meja sekolah yang sudah digunakan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) dengan ukuran tubuh siswa untuk mengetahui apakah meja dan kursi ini sudah didesain dengan ukuran yang benar sehingga membentuk postur duduk yang benar. Evaluasi terhadap postur duduk ini menggunakan perhitungan nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) yang diperoleh dengan konfigurasi *Virtual Environment* dengan *software Jack 6.1*. Dalam penelitian didapatkan ukuran dimensi meja dan kursi SMP yang ergonomis sesuai dengan antropometri siswa.

Kata Kunci : Ergonomi, Desain Ergonomi, Desain Kursi dan Meja, SMP, Antropometri, *Virtual Environment*, *Posture Evaluation Index*

ABSTRACT

Name : Nurintan Nauli P.S
Study Program : Industrial Engineering
Title : Evaluation and Design of Ergonomic Junior High School Chair and Desk Using Virtual Environment. Case Study : 88 Junior High School Jakarta

Improper design and size of school furniture can lead to formation of dangerous posture for student's health, particularly those associated with injury to the spine. This research was comparing the dimensions of school furniture to student's dimensions, in junior high school, and determines whether this type of furniture is well-designed. Moreover, this research also studied about the sitting posture of junior high school students formed by the design of school furniture. Evaluation of sitting posture using the Posture Evaluation Index (PEI) which counted using configuration of Virtual Environment in software Jack 6.1. This research have found the dimension size of the ergonomic tables and chairs for junior high students in accordance with anthropometry data.

Keywords :
Ergonomic, Ergonomic Design, Anthropometry, Junior High School, School Furniture Design, Virtual Environment, Posture Evaluation Index

DAFTAR ISI

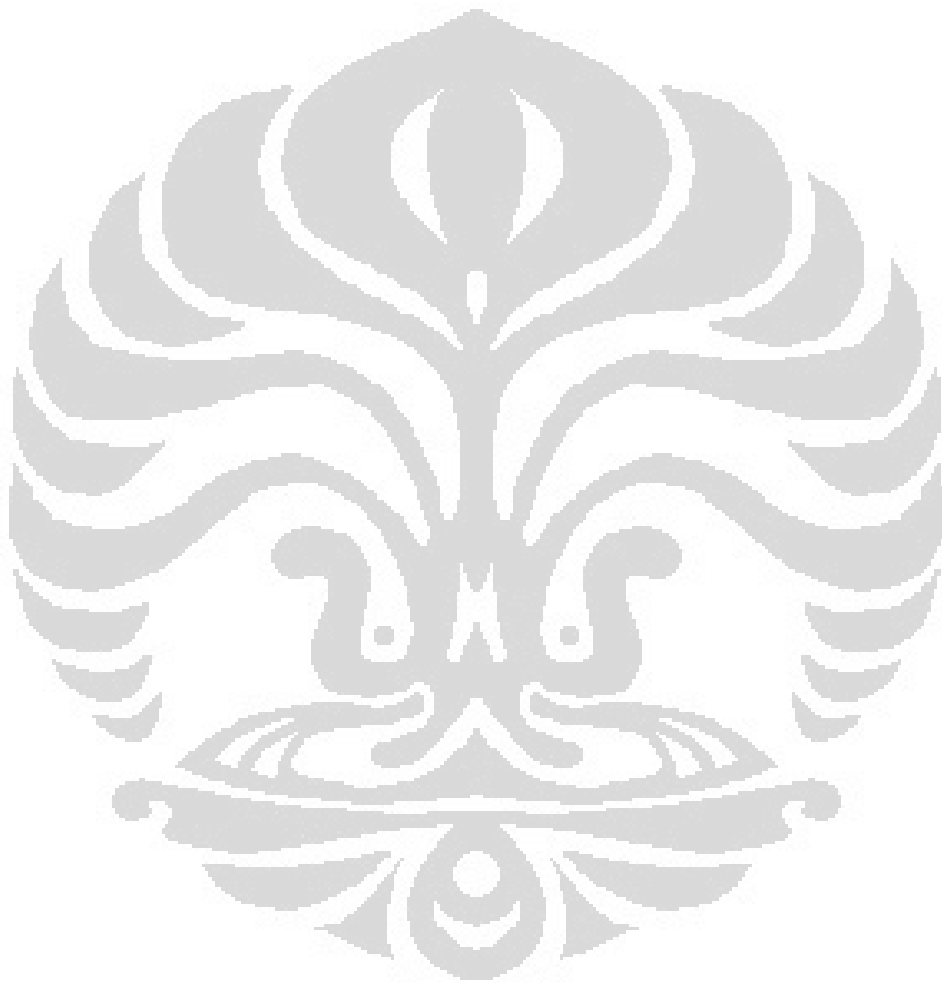
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Permasalahan	6
1.3. Diagram Keterkaitan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	7
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	8
1.6. Metodologi Penelitian	8
1.7. Sistematika Penulisan	12
2. TINJAUAN PUSTAKA	14
2.1. Ergonomi.....	14
2.2. Antropometri.....	18
2.2.1. Data Antropometri	19
2.2.2. Aplikasi Antropometri	21
2.2.3. Penggunaan Persentil Data Antropometri	24
2.3. Work-Related Musculoskeletal Disorder (WMSD).....	26
2.4. Postur Duduk	28
2.4.1. Permasalahan pada Tulang Punggung	29
2.4.2. Penglihatan, Postur Leher dan Kepala.....	31
2.5. Low Back Pain	33
2.6. Virtual Environment	34
2.6.1. <i>Software</i> UGS NX 6.0.....	35
2.6.2. <i>Software</i> Jack 6.1	36
2.7. Metode Posture Evaluation Index (PEI)	40
2.7.1. <i>Static Strength Prediction</i> (SSP).....	45
2.7.2. <i>Low Back Analysis</i> (LBA).....	48
2.7.3. <i>Ovako Working Postur Analysis</i> (OWAS).....	49
2.7.4. <i>Rapid Upper Limb Assesment</i> (RULA).....	53
2.8. Kursi.....	55
2.8.1. Aspek Antropometri pada Desain Kursi	56
2.9. Meja	60
2.9.1. Tinggi meja (Desk Height).....	60
2.9.2. Tinggi ruang dibawah meja (<i>Underneath desk height</i>)	60
2.9.3. Tinggi sandaran kaki	61

2.9.4. Lebar sandaran kaki	61
2.9.5. Kemiringan permukaan meja	61
2.10. Data Antropometri Struktural Posisi Duduk	61
3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	64
3.1. Pengumpulan Data	64
3.1.1. Deskripsi Data	64
3.1.2. Data Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal	65
3.1.3. Data Bentuk dan Dimensi Kursi dan Meja	72
3.1.4. Data Antropometri Siswa	74
3.2. Uji Normalitas Data	75
3.3. Pengolahan Data	77
3.3.1. Penentuan Persentil 5, 50 dan 95	77
3.3.2. Penentuan Dimensi dan Persentil dari Desain Usulan	78
3.4. Perancangan Model Simulasi Postur Duduk	92
3.4.1. Penentuan Konfigurasi	92
3.4.2. Alur Pembuatan Model	94
3.4.3. Analisis Data Menggunakan <i>Task Analysis Toolkit</i> (TAT)	106
3.4.4. Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI)	112
4. ANALISIS	114
4.1. Analisis Ukuran Kursi dan Meja Aktual	114
4.2. Analisis Postur Duduk dengan Desain Aktual	116
4.2.1. Analisis Persentil 5 dengan Desain Meja dan Kursi Aktual (Konfigurasi 1A)	116
4.2.2. Analisis Persentil 95 dengan Desain Meja dan Kursi Aktual (Konfigurasi 1B)	123
4.3. Analisis Postur Duduk dengan Desain Usulan	129
4.3.1. Analisis Postur Duduk Persentil 5 dengan Desain Usulan	130
4.3.2. Analisis Postur Duduk Persentil 95 dengan Desain Usulan	139
4.4. Rekapitulasi Akhir Hasil Analisis PEI	147
5. KESIMPULAN	150
5.1. Kesimpulan	150
5.2. Saran	151
DAFTAR PUSTAKA	153
LAMPIRAN.....	156

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembobotan nilai pada OWAS.....	52
Tabel 2.2 Determinansi Kenyamanan Kursi.....	55
Tabel 2.3 Keterangan Dimensi Data Antropometri Duduk Manusia.....	62
Tabel 3.1 Rekapitulasi Perhitungan Rasa Sakit Pada Anggota Tubuh Siswa.....	68
Tabel 3.2 Rekapitulasi Perhitungan Tingkat Rasa Sakit Pada Anggota Tubuh Siswa.....	70
Tabel 3.3 Rekapitulasi Perhitungan Dampak Rasa Sakit Terhadap Pekerjaan.....	70
Tabel 3.4 Rekapitulasi Perhitungan Tingkat Kenyamanan Kursi dan Meja.....	71
Tabel 3.5 Dimensi Ukuran Kursi dan Meja Aktual.....	73
Tabel 3.6 <i>Case Processing Summary</i> Data Antropometri.....	76
Tabel 3.7 Hasil Uji Normalitas Data Antropometri.....	77
Tabel 3.8 Nilai Maksimum, Minimum, <i>Mean</i> dan Persentil Data Antropometri.....	78
Tabel 3.9 Rumus Perhitungan Dimensi Kursi.....	81
Tabel 3.10 Nilai Maksimum dan Minimum Dimensi Kursi Usulan.....	81
Tabel 3.11 Rumus Perhitungan Dimensi Meja.....	88
Tabel 3.12 Nilai Maksimum dan Minimum Dimensi Meja Usulan.....	88
Tabel 3.13 Konfigurasi Menggunakan Meja dan Kursi Aktual.....	92
Tabel 3.14 Konfigurasi Menggunakan Desain Kursi dan Meja Usulan.....	93
Tabel 3.15 Data Antropometri Siswa Persentil 5.....	100
Tabel 3.16 Penjelasan Kode OWAS.....	110
Tabel 3.17 Rekapitulasi Nilai PEI Konfigurasi 1A.....	113
Tabel 4.1 Perbandingan Ukuran Kursi Aktual dengan Desain Kursi Usulan (cm).....	114
Tabel 4.2 Perbandingan Ukuran Meja Aktual dengan Desain Meja Usulan (cm).....	115
Tabel 4.3 Rekapitulasi Data Antropometri Siswa dengan Persentil 5.....	116
Tabel 4.4 <i>Capability Summary Chart</i> Postur Duduk Standar.....	118
Tabel 4.5 <i>Capability Summary Chart</i> Konfigurasi 1A.....	119
Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1A.....	123
Tabel 4.7 Rekapitulasi Data Antropometri Siswa dengan Persentil 95.....	124
Tabel 4.8 <i>Capability Summary Chart</i> Konfigurasi 1B.....	125
Tabel 4.9 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1B.....	129
Tabel 4.10 Rekapitulasi 24 Konfigurasi Usulan yang Akan Diujikan.....	130
Tabel 4.11 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 5.....	134
Tabel 4.12 Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5 ...	137
Tabel 4.13 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 95.....	142
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95.....	145

Tabel 4.15 Rekapitulasi Nilai PEI dari Seluruh Konfigurasi..... 148

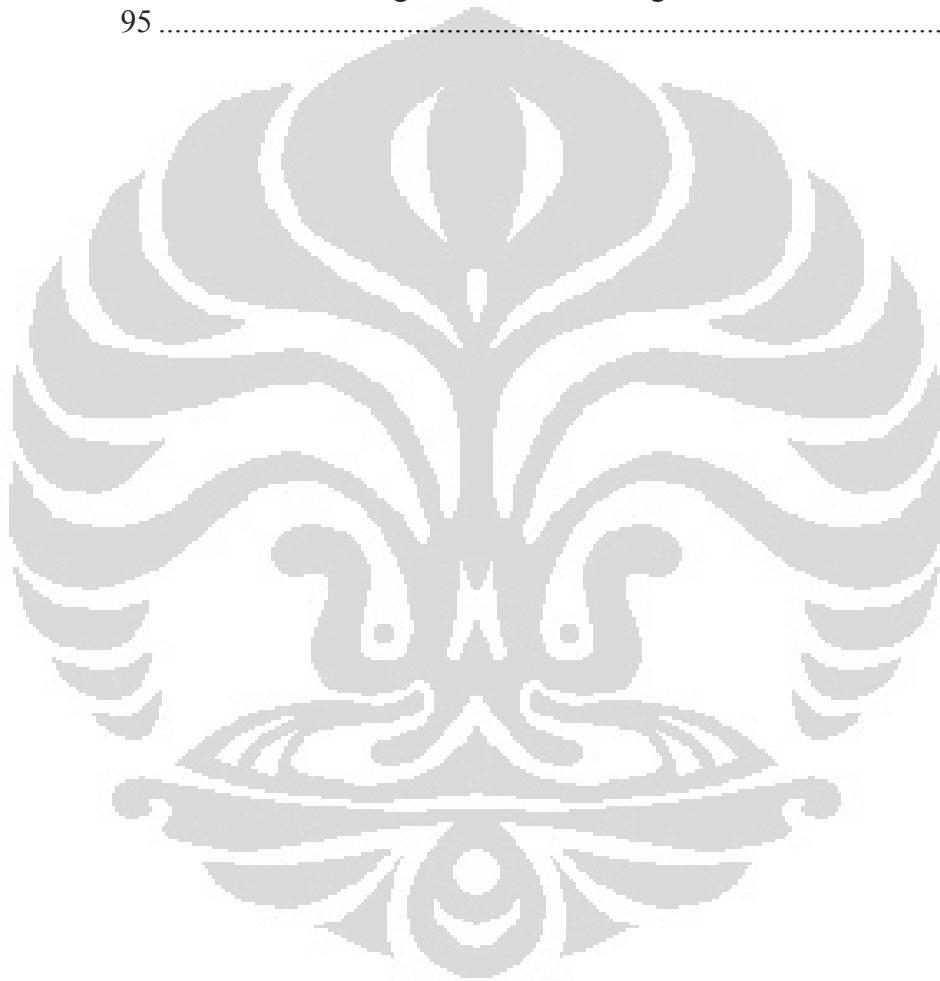


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Meja Terlalu Tinggi	4
Gambar 1.2 Kursi Terlalu Rendah	5
Gambar 1.3 Ukuran Kursi Tidak Sama.....	5
Gambar 1.4 Ukuran Meja Tidak Sama	5
Gambar 1.5 Diagram Keterkaitan Masalah (DKM).....	7
Gambar 1.6 Diagram Alur Penelitian	10
Gambar 2.1 Data Antropometri Struktural	19
Gambar 2.2 Data Antropometri Fungsional.....	20
Gambar 2.3 Antropometri Tubuh Manusia	23
Gambar 2.4 Model Konseptual WMSD	27
Gambar 2.5 Efek Posisi Duduk Terhadap Pelvis.....	30
Gambar 2.6 Bagian Lumbar Vertebrata (kiri) dan Deformasi pada Diskus Invertebralis (kanan)	31
Gambar 2.7 Pandangan Mata (kiri) Tekanan Otot Leher (kanan)	32
Gambar 2.8 Lingkungan (Environment) pada Software Jack	39
Gambar 2.9 Model Manusia Persentil 95%, 50% dan 5% pada Jack 6.1	39
Gambar 2.10 Diagram Alir Metode PEI	41
Gambar 2.11 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya pada Persendian	46
Gambar 2.12 Tampilan SSP pada <i>Software</i> Jack.....	48
Gambar 2.13 Model Kode OWAS.....	50
Gambar 2.14 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh	51
Gambar 2.15 Pengelompokan Tubuh Metode RULA	54
Gambar 2.16 Penampang Kursi	56
Gambar 2.17 Dimensi Data Antropometri Duduk Manusia	62
Gambar 3.1 Kuesioner Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal	66
Gambar 3.2 Grafik Presentase Jumlah Keluhan Anggota Tubuh Siswa.....	68
Gambar 3.3 Grafik Persentase Tingkat Rasa Sakit Anggota Tubuh Siswa	69
Gambar 3.4 Persentase Dampak Rasa Sakit Terhadap Pekerjaan	71
Gambar 3.5 Persentase Tingkat Kenyamanan Kursi dan Meja	72
Gambar 3.6 Posisi Pengambilan Data Antropometri	74
Gambar 3.7 <i>Virtual Human Model</i> Persentil 5, 50 dan 95.....	78
Gambar 3.8 Penampang Kursi	79
Gambar 3.9 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 1.....	82
Gambar 3.10 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 1	82
Gambar 3.11 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 2.....	83
Gambar 3.12 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 2.....	83
Gambar 3.13 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 3.....	84

Gambar 3.14 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 3.....	84
Gambar 3.15 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 4.....	85
Gambar 3.16 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 4.....	85
Gambar 3.17 Tampak Atas, Samping dan Depan Meja 1 (Kemiringan Meja 10°)	89
Gambar 3.18 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Meja 1	89
Gambar 3.19 Tampak Atas, Samping dan Depan Meja 2 (Kemiringan Meja 10°)	90
Gambar 3.20 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Meja 2	90
Gambar 3.21 Tampak Atas, Samping dan Depan Meja 3 (Kemiringan Meja 20°)	91
Gambar 3.22 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Meja 3	91
Gambar 3.23 Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi	95
Gambar 3.24 Model Meja Sekolah Aktual dalam Format NX Files	96
Gambar 3.25 Model Kursi Sekolah Aktual dalam Format NX Files.....	97
Gambar 3.26 Contoh <i>Virtual Environment</i> pada <i>Software Jack 6.1</i>	97
Gambar 3.27 <i>Command</i> untuk Pembuatan Manusia Virtual pada <i>Jack 6.1</i>	98
Gambar 3.28 Langkah-langkah Pembuatan Manusia Virtual secara <i>Customize</i>	98
Gambar 3.29 <i>Dialog Box</i> untuk Fitur <i>Build Human</i>	99
Gambar 3.30 Contoh Model Manusia Virtual pada <i>Software Jack 6.1</i>	100
Gambar 3.31 Fitur <i>Body Scaling</i> pada <i>Software Jack 6.1</i>	101
Gambar 3.32 Postur Duduk Siswa pada Keadaan Aktual.....	102
Gambar 3.33 Postur Duduk Siswa yang dimodelkan secara Virtual	103
Gambar 3.34 Postur Duduk Siswa Menggunakan Desain Meja dan Kursi Usulan	104
Gambar 3.35 Langkah-langkah Pembentukan Postur Duduk Siswa	105
Gambar 3.36 Tampilan Fitur <i>Human Control</i> pada <i>Software Jack 6.1</i>	105
Gambar 3.37 Tampilan Hasil Analisis SSP	108
Gambar 3.38 Tampilan Hasil Analisis LBA	109
Gambar 3.39 Tampilan Hasil Analisis OWAS	111
Gambar 3.40 Tampilan Hasil Analisis RULA	112
Gambar 4.1 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1A	117
Gambar 4.2 Grafik LBA Konfigurasi 1A	119
Gambar 4.3 Grafik OWAS Konfigurasi 1A	121
Gambar 4.4 Nilai RULA Konfigurasi 1A.....	122
Gambar 4.5 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1B	124
Gambar 4.6 Grafik LBA Konfigurasi 1B.....	125
Gambar 4.7 Grafik OWAS Konfigurasi 1B.....	127
Gambar 4.8 Nilai RULA Konfigurasi 1B	128

Gambar 4.9 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5 (Bagian 1)	132
Gambar 4.10 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5 (Bagian 2)	133
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Persentil 5 ...	138
Gambar 4.12 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95 (Bagian 1)	140
Gambar 4.13 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95 (Bagian 2)	141
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Persentil 95	146



BAB 1

PENDAHULUAN

Secara garis besar, Bab 1 memaparkan tentang latar belakang dilakukannya penelitian ini. Hal tersebut kemudian diperjelas dengan menguraikan tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari perumusan permasalahan yang ditemukan, serta dijelaskan juga mengenai ruang lingkup atau batasan penelitian yang peneliti lakukan. Selain itu juga dalam bab ini dijelaskan mengenai metodologi penelitian dan sistematika penulisan yang bertujuan untuk memperlihatkan gambaran awal tentang langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan merupakan suatu proses dimana anak akan melakukan perubahan yang irreversible, karena adanya tambahan substansi pada tubuh. Pertumbuhan, merupakan proses dimana ketercapainya suatu kedewasaan. Pertumbuhan ini erat sekali kaitannya dengan dunia sekolah, hampir setiap hari anak usia sekolah menghabiskan sebagian besar waktunya di dalam kelas. Usia sekolah merupakan usia kritis pertumbuhan yang banyak dipengaruhi oleh postur tubuh siswa selama berada di lingkungan sekolah. Pertumbuhan fisik yang terjadi pada usia SMP (13-15 tahun) akan terlihat sangat pesat karena disinilah terjadi perubahan dari usia anak-anak menjadi usia remaja. Transisi sekolah menengah adalah peristiwa hidup yang signifikan, kadang-kadang stres, pada usia awal remaja (Compas 1987), Felner & Adan 1988, (Johnson 1986), (Simmons & Blyth 1987) dan (Simmons, Burgeson, Carlton-Ford, & Blyth 1987) . Pergeseran kontekstual dari SD ke SMP atau sekolah menengah mengubah ekologi dari awal remaja melalui perubahan kedua setting sekolah (Bronfenbrenner 1979) dan (Fenzel 1989).

Lingkungan sekolah adalah tempat dimana proses belajar mengajar berlangsung. Hal ini meliputi keadaan dan kondisinya, pengaturan tempat duduk, bentuk kursi, berbagai macam perlengkapan yang tersedia serta jenis berbagai macam rangsangan yang tersedia. Posisi duduk dalam belajar merupakan salah satu faktor

yang berhubungan erat dengan terjadinya nyeri daerah leher, punggung atas dan bawah, tangan, kaki, kelelahan pada mata, dan gangguan perkembangan tubuh.

Yeats (1997) mengemukakan bahwa desain produk furniture di dalam kelas merupakan bagian yang sangat penting dalam membentuk postur duduk anak untuk jangka panjang. Fakta bahwa sebagian besar furniture sekolah tidak sesuai dengan dimensi tubuh anak-anak (Balaque et al. 1993; Nowak 1993; Storr-Paulsen et al. 1994 ; Marschall et.al.1995; Mandall 1997; Paluch 1999) dan kesalahan konstruksi tersebut sangat berbahaya bagi postur tubuh anak (Ewa Nowak, 2000). Dalam proses belajar mengajar, sebagian besar aktivitas belajar siswa dilaksanakan dengan duduk, mendengarkan dan menulis. Siswa yang duduk dalam postur yang tidak sesuai untuk jangka waktu panjang akan rentan untuk mengalami keluhan pada bagian punggung dan leher dan gejala *musculoskeletal* lainnya yang dapat menjadi semakin buruk seiring berjalannya waktu dan pertumbuhan anak tersebut menjadi dewasa (Alan Hedge and Rani Lueder, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa kenyamanan dan efektifitas gerak siswa tidak bisa dikesampingkan begitu saja, karena rancangan kursi yang baik dan menunjang kenyamanan dan efektifitas gerak siswa yang pada akhirnya merupakan salah satu mendukung keberhasilan proses belajar siswa.

Pada masa ini *musculoskeletal disorder* (kelainan pada tulang belakang) tidak hanya dialami oleh orang dewasa saja, namun juga dialami oleh siswa usia sekolah, yang sebagian besar diakibatkan karena ketidaksesuaian antara ukuran tubuh siswa dengan kursi meja sekolah yang digunakan. Gangguan-gangguan tubuh yang dialami oleh siswa secara langsung maupun tidak langsung akan mempengaruhi kenyamanan proses belajar mengajar. Posisi duduk yang benar akan menjadi faktor yang sangat penting dalam mencegah terjadinya *musculoskeletal disorder*. Berdasarkan penelitian, posisi duduk serta postur statis dalam jangka waktu yang lama merupakan penyebab utama terjadinya *back pain* (Salminen,1984; Balague et.al., 1988; Troucier et.al., 1994). Pada masa sekarang, masalah *back pain* dan *neck pain* bukan hanya terbatas pada orang dewasa saja, namun juga sudah banyak ditemukan pada anak-anak usia sekolah (Niemi et.al., 1997; Olsen et.al., 1992). *Back pain* ini diakui sebagai masalah internasional. Sementara investasi yang cukup besar telah lebih difokuskan

kepada populasi orang dewasa, relatif sedikit pihak yang mengetahui tentang kondisi pada anak-anak (Olsen et al, 1992;.. Burton et al, 1996). Penelitian terdahulu juga telah menunjukkan bahwa laporan *back pain* terjadi pada awal masa kanak-kanak (Balague et al, 1995;. Kristjansdottir, 1996;. Troussier et al, 1994) dan bahwa prevalensi non-spesifik *Low Back Pain* (LBP) yang ada pada anak-anak sekolah jumlahnya tinggi saat dilihat melalui survei (Balague et al, 1988.,1994, 2003; Whittfield dkk, 2001, 2005, Legg dan Trevelyan, 2003, Legg dkk, 2003b, c)

Ergonomi adalah suatu cabang ilmu sistematis untuk memanfaatkan informasi-informasi mengenai kemampuan dan keterbatasan manusia untuk merancang sistem kerja, sehingga manusia dapat hidup dan bekerja dalam sistem yang baik, efektif, aman dan nyaman. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk merancang fasilitas yang lebih ergonomis dilakukan dengan pendekatan antropometri. Antropometri menyediakan data mengenai perkembangan fisik anak-anak dan perubahan yang terjadi dalam proporsi tubuh dengan usia, merupakan elemen yang sangat penting dalam membentuk sebuah lingkungan anak yang ergonomis (Ewa Nowak, 2000). Dengan pendekatan antropometri ini dapat diperoleh rancangan kursi dan meja sekolah yang lebih ergonomis dan yang disesuaikan dengan ukuran tubuh siswa, sehingga di peroleh dimensi kursi yang sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan siswa pada posisi duduk.

Saat ini di Indonesia belum ada peraturan formal tentang standar dimensi kursi dan meja sekolah yang akan dijadikan acuan untuk menyesuaikan bentuk produk dengan antropometri penggunaanya. Salah satu hal yang membuat hal ini terjadi karena belum adanya data antropometri anak usia sekolah yang akan dijadikan landasan untuk membuat produk yang sesuai dan rendahnya pengetahuan masyarakat tentang resiko cedera yang dapat terjadi jika produk yang digunakan tidak sesuai dengan antropometri yang seharusnya.

Dari observasi peneliti langsung ke lapangan juga terlihat perbedaan-perbedaan desain kursi dan meja SMP yang ada. Bentuk meja dan kursi dari satu sekolah ke sekolah lainnnya terlihat berbeda karena seperti yang dijelaskan sebelumnya diatas bahwa belum ada pedoman formal yang mengatur tentang

dimensi kursi dan meja sekolah ini. Dan dari wawancara awal ke beberapa siswa juga ada keluhan tentang ketidaknyamanan kursi dan bangku sekolah yang menyebabkan beberapa bagian tubuh terasa pegal. Desain meja kursi sekolah yang baik dapat mempengaruhi sikap tubuh siswa, sehingga diharapkan dapat menunjang proses belajar mengajar siswa. Penelitian ini akan menyediakan data mengenai ukuran tubuh siswa usia SMP yang belum pernah ada dan akan difokuskan pada analisa desain produk kursi dan meja sekolah yang telah ada serta pembuatan parameter standar serta desain yang disesuaikan dengan data antropometri untuk siswa kelas 7-9 SD (13-15 tahun).

Gambar 1.1, 1.2, 1.3 dan 1.4 menjelaskan beberapa kesalahan yang terjadi pada desain meja dan kursi sekolah yang peneliti amati langsung di SMP Negeri 88 Jakarta :



Gambar 1.1 Meja Terlalu Tinggi



Gambar 1.2 Kursi Terlalu Rendah



Gambar 1.3 Ukuran Kursi Tidak Sama



Gambar 1.4 Ukuran Meja Tidak Sama

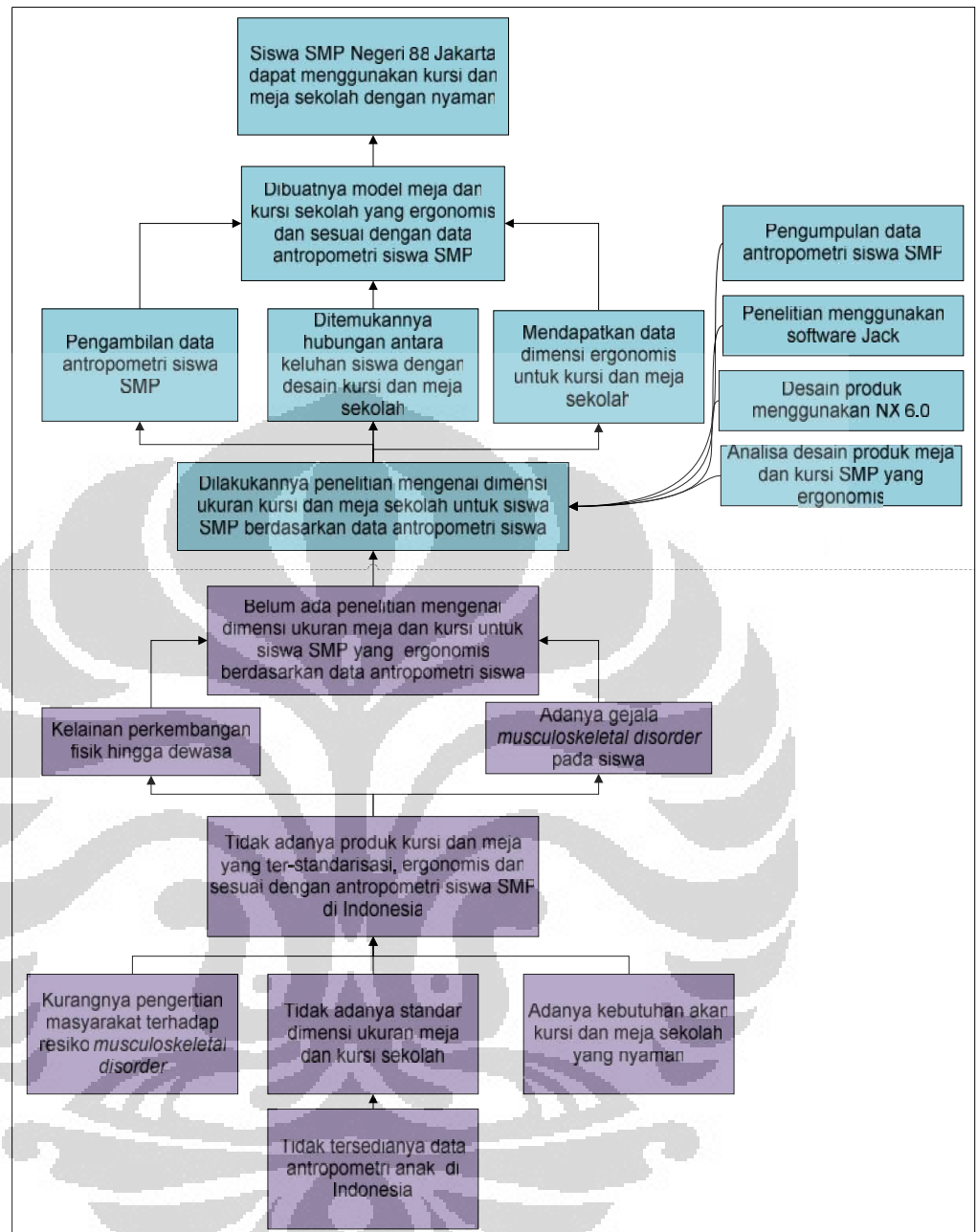
1.2. Rumusan Permasalahan

Diagram keterkaitan masalah yang telah disusun sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat masalah yaitu kurangnya produk bangku dan meja sekolah yang ergonomis untuk ukuran tubuh siswa seusia SMP. Masalah ini diangkat menjadi topik penelitian dikarenakan pentingnya masalah ini untuk segera diselesaikan dan ditemukan solusinya, sebab untuk jangka panjang, masalah ini dapat berdampak pada kualitas fisik siswa dan lebih jauh lagi dapat berdampak pada penurunan prestasi siswa. Penurunan kualitas fisik dapat disebabkan karena terjadinya *musculoskeletal disorder* yang merupakan akibat dari postur siswa saat duduk yang tidak nyaman saat melakukan kegiatan belajar mengajar.

Peneliti akan mengumpulkan data antropometri siswa SMP kelas 7-9 (usia 13-15 tahun). Kemudian peneliti akan melakukan analisis terhadap desain meja dan kursi sekolah yang sudah ada sebelumnya. Selanjutnya peneliti akan memberikan usulan perbaikan bentuk kursi dan meja sekolah yang ergonomis untuk siswa SMP yang didesain sesuai dengan data antropometri siswa, sehingga siswa dapat terhindar dari *musculoskeletal disorder* dan kelelahan yang mungkin dialami oleh siswa dan siswa juga dapat merasakan kenyamanan saat duduk dalam kegiatan belajar mengajar sehari-hari.

1.3. Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya, dapat dibuat suatu Diagram Keterkaitan Masalah (DKM) seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 1.5**. Dalam diagram ini disajikan beberapa akar permasalahan dan gambaran masalah secara keseluruhan serta hubungan antar sub-masalah yang terkait dalam penelitian ini. Selain itu, diagram ini juga menyajikan solusi dari beberapa akar permasalahan tersebut.



Gambar 1.5 Diagram Keterkaitan Masalah (DKM)

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh pedoman standarisasi ukuran kursi dan meja SMP yang ergonomis berdasarkan data antropometri siswa SMP kelas 7-9 dengan studi kasus pada SMP Negeri 88 Jakarta. Dengan adanya pedoman ini maka diharapkan ke depannya dapat dibuat produk kursi dan meja sekolah yang ergonomis yang dapat mengurangi terjadinya *musculoskeletal disorder*.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Agar mendapatkan hasil penelitian yang lebih terarah dan sesuai dengan tujuan awal penelitian, maka dilakukan beberapa batasan terhadap masalah, yaitu :

1. Proses pengambilan data penelitian dilakukan di SMP Negeri 88, meliputi siswa/i, serta kursi dan meja sekolah yang berada pada lingkungan sekolah tersebut.
2. Pengambilan data antropometri dilakukan pada siswa kelas 7-9 dengan usia kurang lebih 13-15 tahun.
3. Respon teknis untuk sebagai bahan dalam membuat model simulasi didapatkan melalui hasil pengamatan dan wawancara yang dilakukan dengan siswa/i SMP Negeri 88 Jakarta.
4. Pengambilan data antropometri siswa menggunakan *Anthroscan 3D Body Scanner* yang ada pada laboratorium Ergonomi Universitas Indonesia.
5. Pemecahan masalah rancangan desain kursi dan meja sekolah yang ergonomis dilakukan dengan menggunakan *software NX 6.0*
6. Pengolahan data dan simulasi dibuat dengan menggunakan *ergonomics tools* yang terdapat pada *Jack Analysis Toolkit* pada *software Jack 6.1*.
7. Pemecahan masalah dibatasi hanya sampai memberikan usulan pedoman rancangan kursi dan meja sekolah yang ergonomis sesuai dengan antropometri siswa SMP, tidak sampai pada tahap pembuatan produk secara nyata.
8. Pemecahan masalah dilakukan dengan tidak mempertimbangkan jenis bahan dan faktor biaya yang dikeluarkan untuk implementasi usulan ergonomi yang diberikan.

1.6. Metodologi Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan
 - a. Menentukan tema dan topik penelitian serta mencari jurnal dan materi yang berhubungan dengan topik penelitian yang bertujuan untuk menambah pengetahuan tentang topik tersebut.
 - b. Mencari sekolah sebagai tempat penelitian dan membuat proposal penelitian untuk diserahkan kepada pihak sekolah yang dituju

- c. Melakukan wawancara singkat kepada siswa untuk mengetahui gejala *musculoskeletal disorder*
- d. Merumuskan permasalahan-permasalahan yang ditemukan
- e. Menentukan landasan teori, metode dan alat yang akan digunakan untuk mendapatkan *output* dari penelitian ini

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

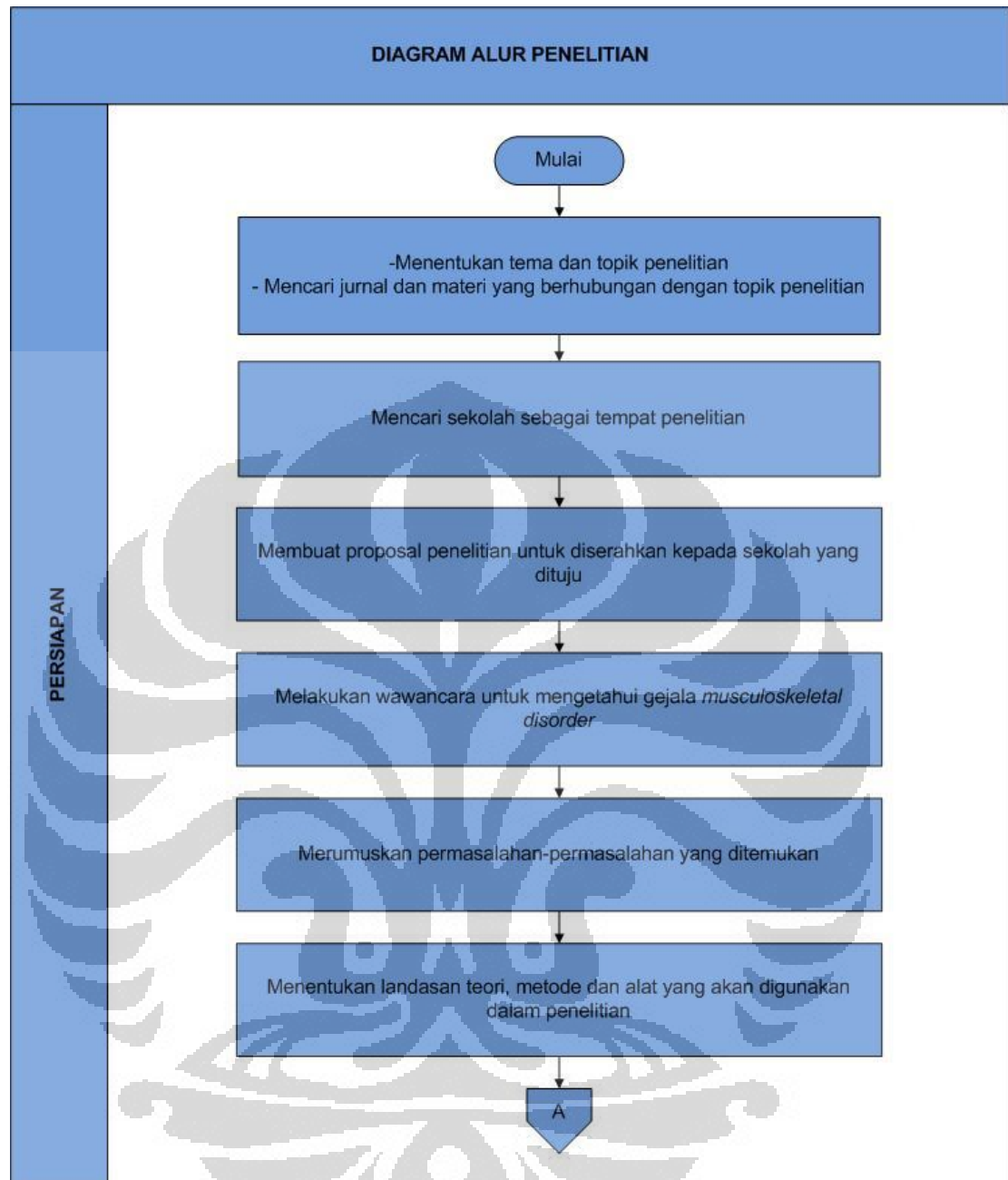
- a. Mengumpulkan data antropometri siswa SMP kelas 7-9 dengan usia kurang lebih 13-15 tahun, melakukan wawancara kepada siswa tentang keluhan *musculoskeletal* dan mengumpulkan data ukuran meja dan kursi yang digunakan saat ini
- b. Mengolah data antropometri siswa dan mengolah data keluhan *musculoskeletal*
- c. Menggambarkan kursi dan meja aktual dengan *software* NX.6.0 dan membuat *virtual environment* dengan menggunakan *software* Jack 6.1
- d. Mengevaluasi kursi dan meja aktual

3. Analisis

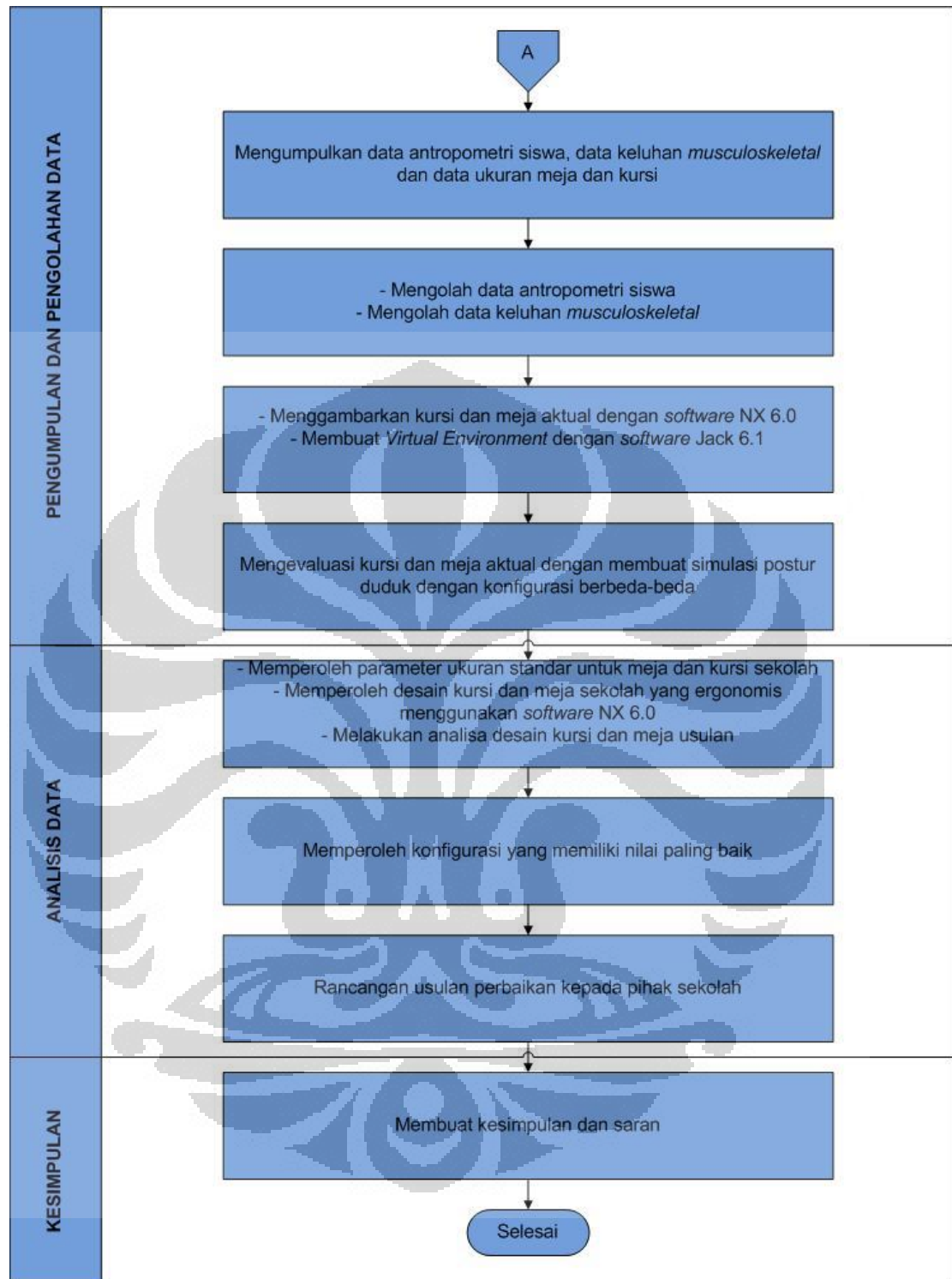
- a. Memperoleh parameter standar untuk kursi dan meja sekolah sesuai pengolahan data antropometri dan memperoleh desain kursi dan meja sekolah yang ergonomis menggunakan NX 6.0
- b. Melakukan analisa terhadap ukuran kursi dan meja dengan konfigurasi dan telah disimulasikan serta menghitung skor PEI untuk kondisi usulan, sehingga dapat diketahui apakah parameter ukuran yang dibuat sudah sesuai dengan antropometri siswa
- c. Memperoleh konfigurasi yang memiliki nilai paling baik
- d. Rancangan usulan perbaikan meja dan kursi sekolah

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat dan model simulasi yang telah dirancang maka keseluruhan penelitian ini dapat disimpulkan untuk kemudian diberikan saran dan masukan yang berguna bagi pihak terkait dalam penelitian ini



Gambar 1.6 Diagram Alur Penelitian



Gambar 1.6 Diagram Alur Penelitian (sambungan)

1.7. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan pada penelitian ini terbagi menjadi lima bab, yaitu : pendahuluan, tinjauan pustaka, pengumpulan data dan perancangan model, analisis dan kesimpulan.

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini merupakan bab pendahuluan yang berisikan tentang gambaran awal tentang penelitian yang akan dilakukan. Dalam bab ini dijelaskan tentang latar belakang masalah, Diagram Keterkaitan Masalah (DKM), perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan. Diagram Keterkaitan Masalah (DKM) merupakan kerangka berpikir sistematis mengenai topik penelitian dan pokok permasalahan dan dapat mendefinisikan tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Selanjutnya dalam bab ini juga dijelaskan tentang ruang lingkup penelitian agar penelitian terfokus pada satu objek. Terakhir dijelaskan pula mengenai metodologi penelitian dan sistematika penulisan agar kerangka dan langkah-langkah yang akan diambil pada penelitian ini dapat terlihat dan tergambarkan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tentang landasan teori yang akan digunakan oleh peneliti dalam pengembangan penelitian ini, antara lain berisikan tentang teori ergonomi, antropometri, antropometri, *musculoskeletal disorder*, teori analisis statistik, *Posture Evaluation Index (PEI)*, *Virtual Environment (VE)*, *tools* analisis ergonomi pada *software* Jack 6.1, *software* NX 6.0 untuk desain produk, serta teori-teori lain yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan

Bab 3 Pengumpulan Data dan Perancangan Model

Bab ini membahas tentang metode pengumpulan dan pengolahan data hingga langkah-langkah perancangan model yang digunakan dalam penelitian. Dalam bab ini terdapat berbagai macam data yang mendukung dalam penelitian, diantaranya data antropometri siswa, data keluhan pengguna, serta data ukuran kursi dan meja sekolah. Data-data tersebut akan diolah dengan berbagai macam *software* dan *tools* tertentu. Data statistik akan diolah menggunakan SPSS untuk mendapatkan usulan ukuran meja dan kursi yang tepat. Bentuk

usulan perbaikan bentuk kursi dan meja akan dibuat menggunakan software NX 6.0 dan selanjutnya akan di *convert* ke dalam *Virtual Environment* (VE) menggunakan *software* Jack 6.1 sehingga dapat dicoba dengan berbagai konfigurasi postur duduk siswa dengan menggunakan bentuk kursi dan meja aktual maupun usulan perbaikan.

Bab 4 Analisis

Bab ini menjelaskan tentang analisis dari data-data yang telah diolah pada bab sebelumnya yang telah dikonfigurasi dan diuji. Pada bab ini akan dilakukan evaluasi terhadap kursi dan meja aktual apakah sudah menganut kaidah dari segi ergonomi. Selanjutnya juga dilakukan evaluasi terhadap meja dan kursi usulan perbaikan apakah sudah tepat dan ergonomis untuk diaplikasikan penggunaannya untuk kegiatan belajar mengajar siswa SMP. Pada akhir bab ini juga akan dipaparkan tentang rekapitulasi hasil analisis masing-masing konfigurasi yang telah diujikan sehingga dapat diketahui konfigurasi manakah yang dapat memberikan hasil paling baik untuk diaplikasikan.

Bab 5 Kesimpulan

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini, yaitu diantaranya mengenai teori ergonomi, antropometri, risiko cedera *musculoskeletal*, *Posture Evaluation Index* (PEI), simulasi menggunakan *Virtual Environment* dan *Virtual Human Modelling* pada software Jack, teori mengenai dimensi kursi dan meja yang ergonomis, serta teori lainnya yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

2.1. Ergonomi

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani yaitu *ergon* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti hukum. Berdasarkan definisi tersebut, secara umum ergonomi dipandang sebagai disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaannya. Namun, 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 keluhan dan batas kemampuan mereka.

Disiplin ergonomi berangkat dari kenyataan bahwa manusia memiliki batas-batas kemampuan baik jangka pendek maupun jangka panjang pada saat berhadapan dengan keadaan lingkungan kerjanya tersebut sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut dalam hal ini studi ergonomi untuk menjamin kebutuhan akan keselamatan dan kerja yang efisien terpenuhi dari lingkungan kerjanya tersebut.

Berdasarkan pengertian tersebut, maka secara umum terdapat dua tujuan utama dari studi ergonomi yaitu:

- Meningkatkan realibilitas, efisiensi, dan produktivitas manusia dalam melakukan pekerjaannya dengan meningkatkan kualitas interaksi antara

manusia dan komponen lingkungan kerja lainnya sekaligus meminimumkan tingkat *human error*.

- Meningkatkan keselamatan kerja, mengurangi kelelahan dan ketegangan mental, serta meningkatkan kenyamanan kerja.

Menurut International Ergonomics Association (2000), ergonomi dapat didefinisikan sebagai disiplin ilmu yang menaruh perhatian pada interaksi antara manusia dengan elemen-elemen lainnya dalam suatu sistem dan profesi yang menggunakan teori, prinsip-prinsip, data dan metode untuk mendesain sebuah perancangan yang bertujuan untuk mengoptimasikan kesejahteraan manusia dan kinerja sistem secara keseluruhan. Lebih lanjut lagi, IEA menjelaskan ergonomi sebagai ilmu yang berkontribusi kepada desain dan evaluasi sebuah pekerjaan, tugas, produk, lingkungan dan sistem dalam rangka membuat hal-hal tersebut sepadan dengan kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan manusia. Sedangkan McCormick (1993) dalam bukunya menggunakan istilah *human factors* untuk mengistilahkan ergonomi.

McCormick dan Sanders (1987) membagi ergonomi ke dalam tiga pendekatan, yaitu:

1. Fokus Utama

Fokus utama ergonomi adalah mempertimbangkan manusia dalam perancangan benda kerja, prosedur kerja, dan lingkungan kerja. Fokus ergonomi adalah interaksi manusia dengan produk, peralatan, fasilitas, lingkungan dan prosedur dari pekerjaan dan kehidupan sehari-harinya. Ergonomi lebih ditekankan pada faktor manusianya dibandingkan ilmu teknik yang lebih menekankan pada faktor-faktor nonteknis.

2. Tujuan

Ergonomi mempunyai dua tujuan utama yaitu meningkatkan efektifitas dan efisiensi pekerjaan serta aktifitas-aktifitas lainnya serta meningkatkan nilai-nilai tertentu yang diinginkan dari pekerjaan tersebut, termasuk memperbaiki keamanan, mengurangi kelelahan dan stres, meningkatkan kenyamanan, penerimaan pengguna yang besar dan memperbaiki kualitas hidup.

3. Pendekatan Utama

Pendekatan utama mencakup aplikasi sistematis dari informasi yang relevan tentang kemampuan, keterbatasan, karakteristik, perilaku dan motivasi manusia terhadap desain produk dan prosedur yang digunakan serta lingkungan tempat menggunakannya.

Berdasarkan ketiga pendekatan tersebut diatas, definisi ergonomi dapat dirangkum dalam definisi yang dikemukakan Chapuis (1985), ergonomi adalah ilmu untuk menggali dan mengaplikasikan informasi-informasi mengenai perilaku manusia, kemampuan, keterbatasan dan karakteristik manusia lainnya untuk merancang peralatan, mesin, sistem, pekerjaan dan lingkungan untuk meningkatkan produktivitas, keselamatan, kenyamanan dan efektifitas pekerjaan manusia

Disiplin ilmu ergonomi di pengaplikasiannya dikelompokkan atas empat bidang penyelidikan, yang antara lain :

1. Penyelidikan 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, lambing dan sebagainya.

2. Penyelidikan tentang kekuatan fisik manusia

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

3. Penyelidikan tentang ukuran tempat kerja

Penyelidikan 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. Penyelidikan tentang lingkungan kerja

Penyelidikan 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 penyelidikan tersebut, maka penelitian ergonomi membutuhkan pengetahuan-pengetahuan lainnya seperti :

Universitas Indonesia

- 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

Ergonomi dipopulerkan pertama kali pada tahun 1949 sebagai judul buku bahasa Yunani yaitu *ergon* (kerja) dan *nomos* (aturan/prinsip/kaidah), sehingga secara harfiah dapat diartikan sebagai suatu ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dengan pekerjaannya. Istilah ergonomi digunakan secara luas di Eropa, sedangkan di Amerika Serikat dikenal istilah *human factor* atau *human engineering*. Kedua istilah tersebut (*ergonomic* dan *human factor*) hanya berbeda pada penekanannya. Intinya kedua kata tersebut sama-sama menekankan pada performansi dan perilaku manusia. Menurut Hawkins (1987), untuk mencapai tujuan praktisnya, keduanya dapat digunakan sebagai referensi untuk teknologi yang sama.

Ergonomi telah menjadi bagian dari perkembangan budaya manusia sejak 4000 tahun yang lalu (Dan Mac Leod, 1995). Perkembangan ilmu ergonomi dimulai saat manusia merancang benda-benda sederhana, seperti batu untuk membantu tangan dalam melakukan pekerjaannya, sampai dilakukannya perbaikan atau perubahan pada alat bantu tersebut untuk memudahkan penggunaannya. Pada awalnya perkembangan tersebut masih tidak teratur dan tidak terarah, bahkan kadang-kadang terjadi secara kebetulan.

Perkembangan ergonomi modern dimulai kurang lebih seratus tahun yang lalu, yaitu pada saat Taylor (1880-an) dan Gilberth (1890-an) secara terpisah melakukan studi tentang waktu dan gerakan. Penggunaan ergonomi secara nyata dimulai pada Perang Dunia I untuk mengoptimasikan interaksi antara produk dengan manusia.

Pada tahun 1924 sampai 1930 Hawthorne Works of Wertern Electric (Amerika) melakukan suatu percobaan tentang ergonomi yang

selanjutnya dikenal dengan “Hawthorne Effects” (Efek Hawthorne). Hasil percobaan ini memberikan konsep baru tentang motivasi ditempat kerja serta menunjukkan hubungan langsung antara manusia dengan mesin.

Kemajuan ergonomi semakin terasa setelah Perang Dunia II dengan adanya bukti nyata bahwa penggunaan peralatan yang sesuai dapat meningkatkan keinginan manusia untuk bekerja lebih efektif. Hal tersebut banyak dilakukan pada perusahaan-perusahaan senjata perang.

Inti dari ergonomi adalah suatu prinsip *fitting the task/the job to the man*, yang artinya pekerjaan harus disesuaikan dengan kemampuan dan keterbatasan yang dimiliki oleh manusia. Hal ini menegaskan bahwa dalam merancang suatu jenis pekerjaan perlu memperhitungkan keterbatasan manusia sebagai pelaku kerja. Keadaan ini akan memberikan keuntungan dalam proses pemilihan pekerja untuk suatu pekerjaan tertentu.

2.2. Antropometri

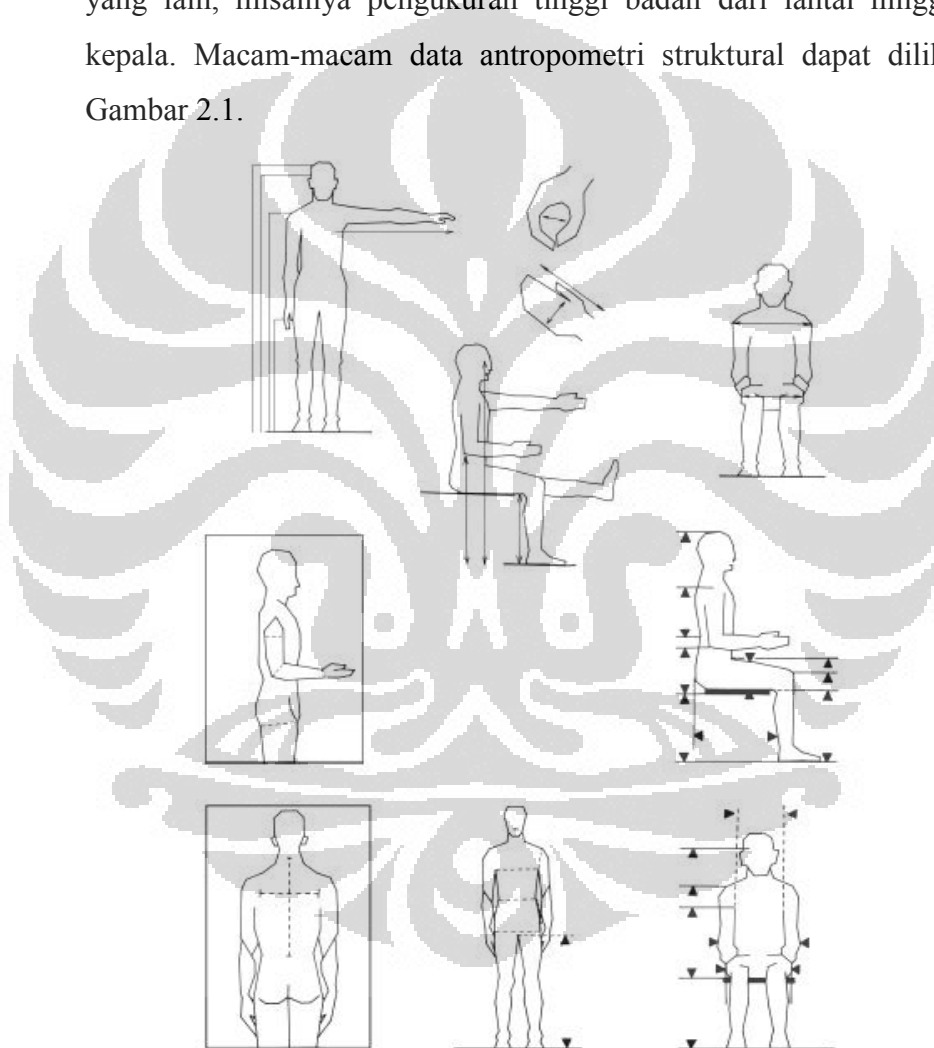
Antropometri (dari Bahasa Yunani “antropos”, yang berarti manusia dan “metron” yang berarti mengukur, secara literal berarti "pengukuran manusia"), dalam antropologi fisik merujuk pada pengukuran individu manusia untuk mengetahui variasi fisik manusia. Secara definisi, antropometri dapat dinyatakan sebagai suatu studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia. Manusia pada dasarnya akan memiliki bentuk, ukuran, berat dan lain yang berbeda satu dengan lainnya (Wignjosebroto, 2003). Kini, antropometri berperan penting dalam bidang perancangan industri, perancangan pakaian, ergonomis, dan arsitektur. Dalam bidang-bidang tersebut, data statistik tentang distribusi dimensi tubuh dari suatu populasi diperlukan untuk menghasilkan produk yang optimal. Perubahan dalam gaya kehidupan sehari-hari, nutrisi, dan komposisi etnis dari masyarakat dapat membuat perubahan dalam distribusi ukuran tubuh (misalnya dalam bentuk epidemik kegemukan), dan membuat perlunya penyesuaian berkala dari koleksi data antropometrik.

2.2.1. Data Antropometri

Data antropometri yang digunakan sebagai landasan dalam perancangan produk umumnya dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu :

- **Data Struktural**

Merupakan suatu ukuran dimensi tubuh dari subjek yang sedang berada dalam posisi statis. Pengukuran dibuat dari satu poin yang jelas ke poin yang lain, misalnya pengukuran tinggi badan dari lantai hingga ujung kepala. Macam-macam data antropometri struktural dapat dilihat pada Gambar 2.1.

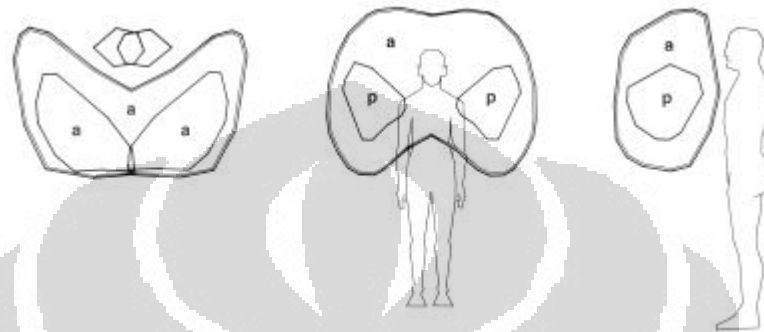


Gambar 2.1 Data Antropometri Struktural

(Sumber: R. S. Bridger, Ph. D, *Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal 64)

- **Data Fungsional**

Data fungsional merupakan data antropometri yang dikumpulkan untuk menjelaskan pergerakan dari bagian tubuh dari suatu titik yang telah ditetapkan. Data jangkauan maksimum tangan ke depan dari posisi berdiri subjek yang diukur merupakan salah satu contoh data antropometri fungsional. Pada Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan area “*reach envelope*”, *allowed zone (a)* dan *preferred zone (p)* pada suatu ruang kerja.



Gambar 2.2 Data Antropometri Fungsional

(Sumber: R. S. Bridger, Ph. D, *Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal 69)

Metode pengambilan data antropometri dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- Metode Tradisional

Metode dan alat-alat yang pertama kalinya digunakan pada saat melakukan pengukuran data antropometri dapat digolongkan cukup sederhana tetapi efektif. Walaupun metode dan alat-alat ini antara lain tongkat pengukur dan kaliber belum sempurna namun tetap bertahan sampai sekarang. Alat-alat ini kelihatannya gampang digunakan namun pada kenyataannya ketika digunakan untuk tujuan penelitian ilmiah, mereka membutuhkan ketelitian yang sangat tinggi sehingga level validitas dan reliabilitas dapat tercapai.

- Metode Modern

Metode tradisional memiliki keterbatasan hanya pada pengukuran permukaan bagian tubuh padahal dengan mengetahui dimensi serta pergerakan dari bagian dalam tubuh dapat memberikan informasi yang tidak ternilai untuk keperluan ergonomi. Dengan berkembangnya jaman maka dibuatlah model komputer 3-D dan 4-D untuk merepresentasikan

bentuk manusia dan fungsinya. Pada tahap awal hanya ada sekitar 200 model yang digunakan untuk keperluan ergonomi. Oleh karena itu, diperlukan model yang lebih banyak lagi untuk menjamin keakuratan serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang membantu para peneliti dan perancang untuk memperluas penggunaan antropometri untuk keperluan ergonomi.

2.2.2. Aplikasi Antropometri

Antropometri secara luas akan digunakan sebagai pertimbangan-pertimbangan ergonomis dalam proses perancangan (*desain*) produk maupun sistem kerja yang akan memerlukan interaksi manusia. Fungsi utama penggunaan data antropometri adalah untuk mengoptimalkan dimensi dari benda-benda kerja yang digunakan oleh manusia yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

Pengaplikasian data antropometri antara lain untuk :

- Perancangan areal kerja (*workstation*, interior mobil, dll)
- Perancangan peralatan kerja seperti mesin, *equipment*, perkakas (*tools*) dan sebagainya
- Perancangan produk-produk konsumtif seperti pakaian, kursi/meja komputer, dll
- Perancangan lingkungan kerja fisik

Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi yang tepat yang berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan mengoperasikan / menggunakan produk tersebut. Suatu perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangannya tersebut. Secara umum sekurang-kurangnya 90% - 95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakannya dengan selayaknya.

Data antropometri yang menyajikan data ukuran dari berbagai macam anggota tubuh manusia dalam persentil tertentu akan sangat besar manfaatnya pada saat suatu rancangan produk ataupun fasilitas kerja akan dibuat. Penerapan data

antropometri ini akan dapat dilakukan jika tersedia nilai mean (rata-rata) dan SD (standar deviasi) dari suatu distribusi normal.

Mengingat bahwa keadaan dan ciri fisik dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga berbeda satu sama lainnya maka terdapat tiga prinsip dalam pemakai data tersebut, yaitu: perancangan fasilitas berdasarkan individu yang ekstrim, perancangan fasilitas yang bisa disesuaikan, dan perancangan fasilitas berdasarkan ukuran rata-rata pemakainya.

a. Prinsip perancangan fasilitas berdasarkan individu ekstrim

Perancangan fasilitas berdasarkan individu ekstrim ini terbagi atas dua yaitu perancangan berdasarkan individu terbesar (data antropometri terbesar), dan kedua adalah perancangan fasilitas berdasarkan individu terkecil (data antropometri terkecil).

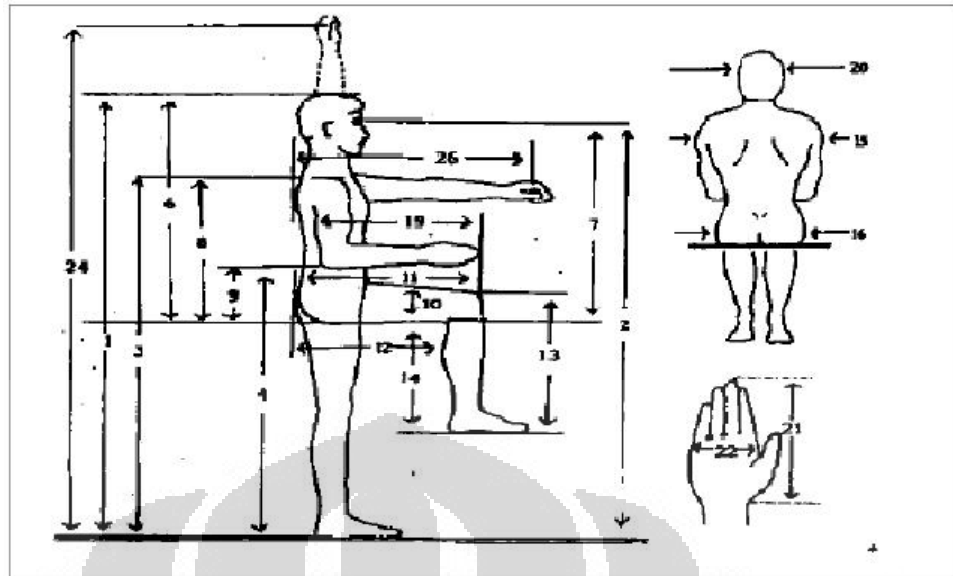
b. Perancangan fasilitas yang bisa disesuaikan.

Prinsip ini digunakan untuk merancang suatu fasilitas agar fasilitas tersebut bisa mengakomodir atau bisa dipakai dengan enak dan nyaman oleh semua orang yang mungkin memerlukannya.

c. Perancangan fasilitas berdasarkan ukuran rata-rata para pemakainya.

Prinsip ini hanya digunakan apabila kedua prinsip sebelumnya tidak mungkin dilaksanakan. Prinsip berdasarkan individu ekstrim tidak mungkin dilaksanakan ketika kerugian yang ditimbulkan akan lebih banyak dibandingkan dengan keuntungan yang mungkin diperoleh, artinya ketika hanya akan ada sebagian kecil dari dari populasi yang merasa enak dan nyaman menggunakan fasilitas tersebut. Sedangkan, biasanya prinsip perancangan berdasarkan fasilitas yang bisa disesuaikan tidak mungkin dilakukan ketika membutuhkan biaya yang terlalu mahal.

Beberapa detail data antropometri manusia yang dibutuhkan dalam perancangan suatu sistem kerja antara lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Antropometri Tubuh Manusia

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 (gambar tidak ditunjukkan).
6. Tinggi tubuh dalam posisi duduk (diukur dari alas tempat duduk/bokong 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 bokong hingga ujung lutut.
12. Panjang paha yang diukur dari bokong 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.

Universitas Indonesia

15. Lebar dari bahu (bisa diukur dalam posisi berdiri ataupun duduk)
16. Lebar pinggul/bokong
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).

2.2.3. Penggunaan Persentil Data Antropometri

Sebuah stasiun kerja atau produk yang baik harus bisa mengakomodasi populasi pengguna yang terdiri dari besar ukuran tubuh yang berbeda-beda. Agar dapat memenuhi hal ini diperlukan penggunaan data antropometri secara tepat, pada produk yang tepat dan memberikan hasil akhir berupa produk atau stasiun kerja yang dengan tepat dapat mengakomodasi manusia dari berbagai macam ukuran. Lazimnya, data antropometri manusia diklasifikasikan ke dalam tiga ukuran besar, yaitu persentil 5, persentil 50 dan persentil 95. Persentil 5 mewakili sebagian kecil dari populasi, yaitu di dalam sebuah populasi hanya 5 persen saja yang memiliki ukuran tubuh berada di bawah nilai terendah. Persentil 50 adalah nilai tengah, dimana 50 persen dari populasi berada di atas median, dan sisanya berada di bawah median. Terakhir, persentil 95 mewakili sebagian besar populasi, yaitu mengindikasikan bahwa 95 persen dari populasi memiliki ukuran tubuh dibawah batas nilai tertinggi.

Sebelum menentukan persentil manusia yang akan dijadikan standar dalam pembuatan suatu produk atau stasiun kerja, diperlukan analisa yang mendalam mengenai penggunaan data antropometri, apakah data yang digunakan sebagai dasar dari perancangan adalah data yang tepat untuk ukuran dimensi benda yang tepat pula. Jika tidak tepat akan terjadi ketidakcocokan ukuran, misalkan

Universitas Indonesia

ukuran ketinggian kursi seharusnya digunakan data *popliteal height* dari wanita dengan persentil 5 namun data yang digunakan adalah data antropometri pria dengan persentil 50. Hal ini akan berakibat wanita dengan persentil 5 tidak cocok dengan desain yang dibuat, karena tidak dapat duduk dengan menapakkan kaki secara sempurna. Setelah dilakukan analisis, barulah dapat diputuskan data antropometri apa yang akan digunakan sebagai acuan desain. Berikut adalah prosedur dalam mengaplikasikan data antropometri terhadap suatu desain (Helander, 2003):

1. Membuat karakteristik data antropometri yang dibutuhkan dari suatu populasi.
2. Menentukan persentil-persentil yang berpotensi menggunakan hasil dari perancangan yang dibuat.
3. Mengkondisikan agar pengguna dengan ukuran kecil dapat mencapai (menentukan reach dimensions) dan pengguna dengan ukuran besar dapat berada dalam kondisi tepat ukuran (menentukan clearance dimensions).
4. Menentukan data antropometri yang memiliki korespondensi dengan ukuran-ukuran yang terdapat dalam rancangan desain.
5. Membuat benda “dummy” untuk mengevaluasi hasil perancangan sebelum dibuat benda yang sebenarnya.

Salah satu faktor yang paling menentukan dalam pemilihan persentil data adalah jenis rancangan yang akan dibuat. Misalnya dalam pembuatan rancangan dimensi minimum dan dimensi maksimum. Dalam pembuatan dimensi minimum seperti ketinggian pintu, lebar alas duduk, panjang sikat gigi, dan sebagainya harus digunakan data antropometri persentil tertinggi yaitu 90%, 95 %, dan 99%. Tujuan penggunaan data antropometri persentil tinggi tersebut agar benda-benda kerja tersebut tidak hanya dapat digunakan oleh manusia dengan persentil antropometri rendah namun juga yang memiliki persentil antropometri tinggi. Sedangkan dalam pembuatan dimensi maksimum seperti ketinggian kunci pintu, kedalaman kursi , ketinggian kursi dan sebagainya harus digunakan data antropometri dari persentil rendah yaitu 1%, 5%, dan

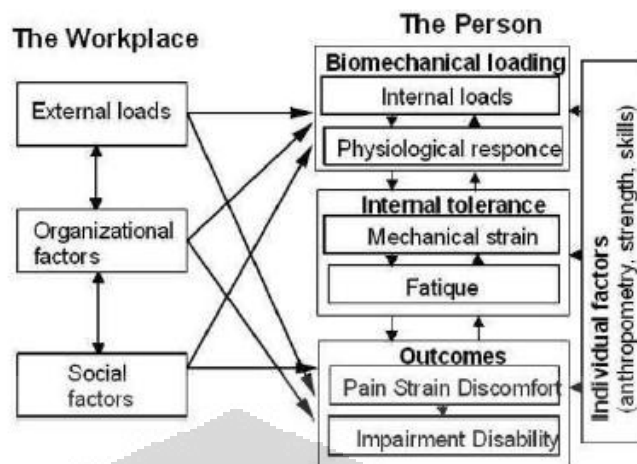
Universitas Indonesia

10%. Hal tersebut bertujuan agar manusia dengan ukuran antropometri dan dimensi tubuh yang rendah dapat pula dengan nyaman dan mudah menggunakan benda-benda kerja tersebut.

2.3. Work-Related Musculoskeletal Disorder (WMSD)

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

RMI, WMSD, CTD merupakan tipe cedera yang disebabkan oleh gerakan yang berulang-ulang, dan menimbulkan efek kumulatif yang menyebabkan RMI dapat bertambah setelah beberapa periode waktu berjalan (Putz-Anderson, 2005). Menurut Helander (2003), penyebab WMSD terdiri dari tiga bagian besar, yaitu metode kerja yang tidak sesuai, waktu istirahat yang tidak cukup serta kondisi yang sedang terjadi saat ini memang sudah berada dalam kondisi mengalami cedera atau gangguan. Penyebab utama terjadinya WMSD merupakan kombinasi dari metode kerja yang tidak sesuai sehingga menyebabkan postur kerja yang buruk dan berakibat pada penggunaan kekuatan otot secara berlebihan dan dilakukan secara repetitif tanpa adanya waktu istirahat yang cukup untuk memulihkan kondisi fisik. Model konseptual dari WMSD dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Model Konseptual WMSD

Sumber: *The Panel on musculoskeletal disorders and workplace*, 2001

Lebih jauh lagi, faktor-faktor penyebab terjadinya WMSD dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu faktor primer, sekunder dan kombinasi.

1. Faktor Primer
 - Peregangan otot yang berlebihan
 - Aktivitas berulang
 - Sikap kerja tidak alamiah.
2. Faktor Sekunder
 - Tekanan, terjadinya tekanan langsung pada jaringan otot yang lunak.
 - Mikrolimat, paparan udara panas dan dingin yang tidak sesuai.
 - Getaran, dengan frekwensi tinggi menyebabkan kontraksi otot bertambah, yang menyebabkan peredaran darah tidak lancar dan penimbunan asam laktat dan akhirnya timbul rasa nyeri otot (Suma'mur, 1982).
3. Faktor Kombinasi
 - Umur, pada umumnya keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 25-60 tahun (Choffin, 1979)
 - Jenis kelamin, secara fisiologis kemampuan otot wanita lebih rendah daripada pria.

Universitas Indonesia

- Kebiasaan merokok, semakin lama dan semakin tinggi frekuensi merokok, semakin tinggi pula tingkat keluhan otot yang dirasakan.
- Kesegaran jasmani.
- Kekuatan fisik
- Ukuran tubuh (antropometri)

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

2.4. Postur Duduk

Teori tentang postur duduk pertama kali dikeluarkan pada tahun 1884, bernama "hygienic" sitting postures. Staffel (1884) merekomendasikan postur duduk yang tegak pada bagian leher, punggung dan kepala, dengan kondisi lordosis yang normal pada bagian lumbar dan cervic, serta kondisi kyphosis yang ringan pada bagian thoracic spine, yang menyerupai postur tulang belakang pada saat berdiri tegak. Pada periode 1880, banyaknya proposal desain yang masuk untuk furniture sekolah, termasuk kursi dan kombinasi antara kursi dan meja (Zacharkow, 1988), dipercaya sesuai untuk mempromosikan postur duduk tersebut.

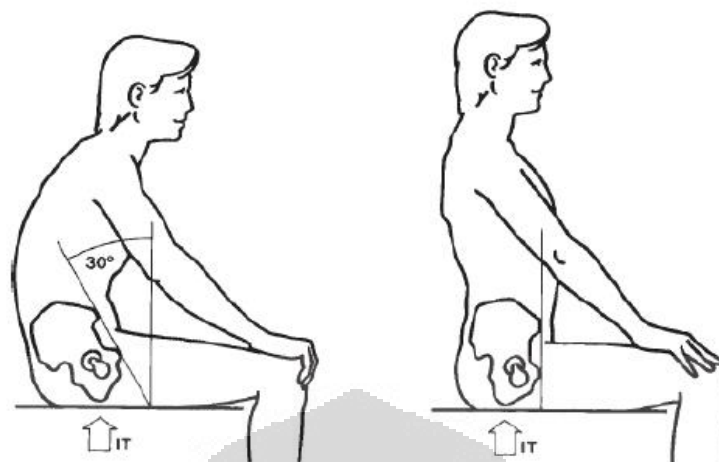
Selama satu abad, sudah menjadi kepercayaan banyak orang bahwa cara duduk dengan postur tegak lurus merupakan postur duduk yang terbaik. Memang tidak ada yang salah dengan postur duduk tegak dalam jangka waktu yang pendek, namun postur duduk tersebut akan menjadi masalah jika terjadi dalam waktu yang lama. Postur duduk tegak merupakan postur duduk yang statis, berlawanan dengan karakteristik tubuh manusia yang selalu berubah-ubah. Postur duduk tegak dalam waktu yang lama dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada bagian tulang punggung, berisiko menekan bagian lunak dan rawan dari tulang punggung, reduksi metabolisme, defisiensi dalam

sirkulasi darah, serta akumulasi dari cairan ekstraselular di kaki bagian bawah (Kroemer et al., 2001)

2.4.1. Permasalahan pada Tulang Punggung

Postur duduk sangat berkaitan dengan kondisi punggung manusia, terutama kondisi punggung bagian bawah, yang memiliki ruas L4 dan L5. Posisi duduk memang memiliki lebih banyak keunggulan jika dibandingkan dengan posisi berdiri dalam melakukan pekerjaan. Pekerjaan dalam posisi berdiri menyebabkan aliran darah yang bergerak dari bagian kaki menuju keatas harus melawan energi gravitasi, sehingga volume darah menuju bagian tubuh atas menjadi sedikit berkurang, dan volume darah di bagian bawah tubuh berada dalam jumlah yang lebih banyak. Hal ini menyebabkan adanya pembengkakan pada bagian kaki, khususnya pergelangan kaki (R.S. Bridger, 2003).

Namun, meskipun postur kerja dalam keadaan duduk memiliki keunggulan dibandingkan postur kerja berdiri, postur duduk yang lama dalam sehari, beresiko menyebabkan terjadinya low back pain (Hoggendoorn et al., 2000). Postur duduk yang baik seringkali dikaitkan dengan postur duduk tegak dengan derajat kemiringan antara batang tubuh dengan paha sebesar 90 derajat. Namun, postur duduk seperti ini berpeluang besar membuat tulang punggung merosot ke depan (Mandal, 1981,1991). Posisi merosot ini dikarenakan oleh beban statis yang diberikan oleh leher dan kepala kearah bawah. Posisi ini menyebabkan tingkat deformasi yang cukup tinggi dari discus intervertebralis, yaitu bantalan fibrocartilage yang bersifat rawan, yang menghubungkan antara ruas-ruas tulang belakang.



Gambar 2.5 Efek Posisi Duduk Terhadap Pelvis

Sumber : Pheasant,S, Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, hal.71

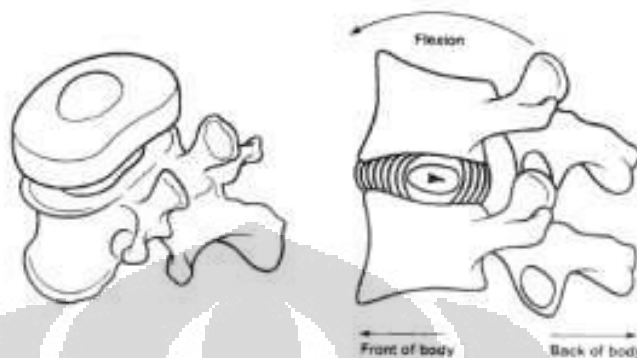
Agar dapat meminimalisasi gangguan pada bagian ruas-ruas tulang belakang, kursi perlu dibuat sedemikian rupa sehingga membuat pemakainya berada dalam posisi netral tanpa menimbulkan beban yang berlebihan pada ruas-ruas tulang punggung, yang juga memungkinkan pengguna dapat mengadopsi posisi yang baik secara fisiologis dan nyaman.keadaan seperti ini dapat dicapai dengan tiga cara, yaitu:

1. Posisi duduk setengah berbaring (jika pekerjaan mengharuskan atau cenderung dapat dilakukan dengan posisi seperti ini).
2. Tempat duduk yang tidak lebih rendah atau tidak lebih tinggi dari ketinggian dudukan kursi yang dibutuhkan.
3. Sandaran yang membentuk sudut tumpul ke permukaan kursi (berfungsi mengurangi flexi pada bagian pinggang) dan memiliki kontur yang menyerupai bentuk tulang belakang penggunanya.

Dalam sebuah studi yang dilakukan oleh Andersson (1974) dengan cara mengukur tekanan hidrostatis dari nucleus polposus menggunakan jarum mount-transducer, Andersson mengemukakan bahwa besarnya tekanan intradiscal yang dihasilkan memiliki nilai yang kurang mencolok pada sudut kemiringan sandaran tertentu, dan akan semakin lebih baik jika bentuk sandaran

Universitas Indonesia

mengadopsi kontur tulang belakang manusia (lumbar). Gambar 2.6 menunjukkan bagian lumbar vertebrata dan diskus invertebralis.



Gambar 2.6 Bagian Lumbar Vertebrata (kiri) dan Deformasi pada Diskus Invertebralis (kanan)

Sumber : Pheasant.S, Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, hal.71

2.4.2. Penglihatan, Postur Leher dan Kepala

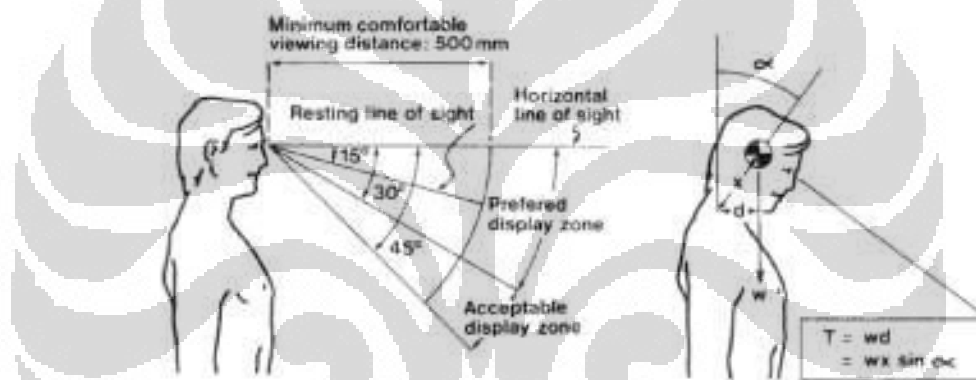
Pekerjaan yang membutuhkan bantuan ketelitian mata dalam pengerjaannya sangat dipengaruhi oleh lokasi tempat mata memandang. Namun, pandangan mata sangat dipengaruhi pula oleh postur leher dan kepala. Mata memiliki daerah pandangan mata, yang disebut *visual field*. Ketika memandang sebuah objek, mata akan terfokus pada bagian tengah dari visual field, yang merupakan bagian yang paling sensitif ketika melakukan tugas yang membutuhkan pandangan mata, seperti membaca, menulis atau mengenali wajah.

Bagian tengah tersebut dikenal dengan nama foveal vision, yang memiliki daerah pandang dari garis tengah central fixation hingga 5 derajat dari garis tersebut. Tugas yang membutuhkan pandangan mata membuat foveal regions dari kedua mata bergerak terpusat beriringan selama tugas dijalankan dan lensa mata berakomodasi agar dapat terfokus pada jarak tertentu. Mata memiliki titik yang dapat bergerak ke arah atas sejauh 48 derajat dan ke arah bawah sejauh 66 derajat tanpa disertai gerakan kepala dan leher (Taylor, 1973). Sedangkan menurut Weston (1953), dalam studinya mengenai *visual fatigue*, menyarankan jika pergerakan mata ke arah bawah dibatasi sejauh 24 hingga 27 derajat, melebihi

Universitas Indonesia

titik tersebut, kepala dan leher cenderung akan menunduk ke arah depan, dan otot-otot leher akan terbebani untuk menyokong berat dari kepala.

Dalam studinya mengenai operator Visual Display Unit (VDU), Grandjean et al. (1984) menyatakan bila sudut penglihatan yang direkomendasikan adalah sebesar 9 derajat kearah bawah dari arah horizontal. Hasil berbeda, yaitu 18 derajat juga ditemukan dari hasil penelitian sejenis mengenai operator VDU (Brown & Schaum, 1980). Dari kedua teori tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa zona yang baik untuk pandangan (preferred zone) adalah sebesar 30 derajat kearah bawah dari garis horizontal, dimana garis pandangan optimum berada di tengah dari zona tersebut. Zona tersebut dapat bertambah 15 derajat jika diasumsikan adanya flexion dari leher seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pandangan Mata (kiri) Tekanan Otot Leher (kanan)

Sumber : Pheasant,S, Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, hal.64

Kenyamanan juga menjadi salah satu faktor utama dari pandangan mata terhadap objek yang diletakkan di depan mata pada jarak-jarak tertentu. Lensa mata akan berada dalam kondisi rileks jika memandang benda yang berada pada jarak lebih dari 6 meter di depan mata. Sedangkan untuk melihat benda yang berada dalam jarak dekat dibutuhkan kekuatan otot mata dan lensa mata untuk berakomodasi. Memandang mata terlalu dekat dapat menyebabkan terjadinya kelelahan pada mata yang disebut dengan “eyestrain” dengan gejala pandangan menjadi kabur dan pusing. Jarak 350 mm hingga 400 mm dapat dianggap mencukupi dalam beberapa kondisi. Namun, untuk beberapa kondisi praktis, 500 mm bisa menjadi nilai yang cukup. Menurut studi Grandjean et al.

(1984), jarak pandang mata rata-rata yang baik adalah sebesar 760 mm, dari range antara 610 mm hingga 930 mm. sedangkan menurut Brown dan Schaum (1980) menyatakan sebesar 624 mm.

Postur leher dan kepala juga mendapatkan perhatian, khususnya di dunia pendidikan. Untuk mengurangi flexion yang terjadi pada leher akibat keharusan murid untuk menulis di meja, dilakukan berbagai penelitian mengenai tingkat kemiringan meja. Zacharkow (1988), memberikan ilustrasi, banyak sekolah di daerah Victoria memiliki meja dengan kemiringan sebesar 15 derajat untuk menulis dan penahan buku agar buku yang diletakkan tidak merosot akibat kemiringan meja. Studi lebih lanjut menyatakan bahwa kemiringan meja (dari 15 atau bahkan 10 derajat) dapat mengurangi flexion dari batang tubuh dan leher orang-orang yang duduk dalam melakukan aktivitas membaca dan menulis (Bridger, 1988; de Wall et al, 1991.).

2.5. Low Back Pain

Low Back Pain (LBP) atau rasa nyeri pinggang muskuloskeletal adalah sindrom klinik yang ditandai adanya rasa nyeri di daerah tubuh bagian belakang dari rusuk terakhir vertebra torakal 12 sampai bagian bawah bokong atau anus dan dapat menjalar ke kaki terutama bagian belakang dan samping luar.

Tulang belakang manusia terdiri dari 33 ruas tulang. Satu sama lain dihubungkan oleh sistem yang unik, terdiri atas tulang rawan dan otot serta jaringan ikat. Sistem tersebut bekerja sama untuk mempertahankan tubuh pada posisi tegak. Gangguan pinggang biasanya berhubungan dengan tiga ruas tulang pinggang atau organ di sekitarnya seperti ginjal dan indung telur. Nyeri pada pinggang yang biasanya diakibatkan oleh bergesernya bantalan tulang belakang, lebih dikenal dengan *Herniated Nucleus Pulposus*.

Pada dasarnya timbulnya rasa sakit pinggang terjadi karena ada penekanan pada susunan saraf tepi daerah pinggang (syaraf terjepit). Jepitan pada syaraf ini dapat terjadi karena gangguan pada otot pada jaringan sekitarnya, gangguan pada syaraf sendiri, kelainan tulang belakang maupun kelainan di tempat lain. Timbulnya nyeri pinggang erat kaitannya dengan cara kerja, sikap kerja, dan posisi kerja, desain alat kerja, fasilitas kerja, tata letak, sarana kerja dan

Universitas Indonesia

sebagainya. Dengan memperhatikan dan menata faktor-faktor penyebab timbulnya keluhan tersebut, maka nyeri pinggang akibat aktivitas kerja dapat dihindari. Menurut Kumar, tekanan yang dialami pada ruas tulang belakang akibat pengangkatan beban merupakan faktor dominan timbulnya nyeri pinggang (R. S. Bridger, Ph.D, Op Cit, hal 56).

2.6. Virtual Environment

Virtual Environment (VE) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu representasi yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintetis sesuai dengan keadaan lingkungan nyata (Kalawsky, 1993). Menurut Wilson et al. (1995), virtual environment memiliki atribut sebagai berikut:

- Lingkungan yang dihasilkan/diciptakan oleh komputer.
- Lingkungan atau pengalaman partisipan mengenai lingkungan yang berada dalam dunia 3 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.

Simulasi lingkungan virtual yang baik harus dapat mewakili model manusia virtual dengan lingkungan baru yang diciptakan dalam lingkungan virtual. Virtual human adalah model biomekanis yang akurat dari sosok manusia. Model ini sepenuhnya meniru gerakan manusia sehingga memungkinkan bagi para peneliti untuk melakukan simulasi aliran proses kerja, dan melihat bagaimana beban kerja yang diterima model ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu. Manusia virtual harus dapat berinteraksi dengan objek, lingkungan, dan mendapatkan respon balik dari objek yang dimanipulasi (Wilson, 1999). Seiring perkembangan teknologi yang semakin maju, penggunaan virtual

environment semakin bertambah. Berikut adalah penggunaan VE di dalam bidang-bidang tertentu (Määttä , 2003):

- Arsitektur : mengevaluasi desain dari struktur baru.
- Pendidikan dan pelatihan : digunakan untuk keperluan pelatihan sumber daya manusia (contoh pada pilot dan pengendara.)
- Hiburan : membuat dan mengembangkan tampilan dalam pembuatan game, video dan film animasi.
- Kesehatan : perencanaan terapi radiasi dan simulasi bedah untuk keperluan pelatihan.
- Informasi: menyajikan set data yang rumit dalam bentuk yang mudah dimengerti.
- IPTEK: memodelkan dan mengkaji sebuah fenomena yang rumit di komputer.
- Telepresence : pengembangan alat kontrol dari robot (telerobot).

Dalam bidang ergonomi VE lazim digunakan untuk membuat lingkungan kerja yang optimal sesuai dengan faktor-faktor yang dimiliki pekerja. Selain itu, VE juga digunakan untuk menganalisa 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 (error) dan perbaikan yang dibutuhkan

2.6.1. *Software* UGS NX 6.0

Software UGS NX 6.0 merupakan *software* komersial yang dikembangkan oleh *Siemens PLM Software* untuk membuat desain 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 atau tiga dimensi, dan *software* ini sangat memudahkan penggunaannya.

Universitas Indonesia

Desain 3D *objects* telah memiliki tempat yang sangat penting di kalangan praktisi desain.

2.6.2. *Software Jack 6.1*

Software Jack merupakan sebuah software yang berfungsi untuk mensimulasikan atau memodelkan rangkaian pekerjaan. Simulasi dari rangkaian pekerjaan tersebut, dengan *software Jack* kemudian akan dianalisis dengan menggunakan perangkat analisis untuk dilihat sejauh mana kelayakan suatu desain dan lingkungan kerja dari sisi pandang ergonomi.

Software ini mensimulasikan bagaimana model manusia (*virtual human*) yang berada pada lingkungan *virtual (virtual environment)* dapat berinteraksi dengan objek dan lingkungan tersebut, serta mendapatkan respon balik yang tepat dari objek yang dimanipulasi. Pengembangan *software Jack* ini terutama sangat memperhatikan penciptaan model tubuh manusia yang paling akurat dibandingkan dengan model manusia digital lain yang pernah ada. Dimensi tubuh manusia dan antropometri manusia *virtual* yang ada pada *software Jack* dapat disesuaikan hingga menyerupai kondisi manusia aktual yang menjadi model dari simulasi tersebut. Selain itu *Virtual Human* dalam *software Jack* memiliki karakteristik dan limitasi seperti halnya manusia biasa antara lain dapat mengerti keseimbangan, kemiripan cara berjalan, dan mengangkat.

Software Jack memiliki keunggulan dibanding *software* ergonomi lainnya dalam hal menciptakan simulasi manusia dengan karakteristik ergonomi, biomekanik, dan antropometri yang kemudian dapat dioperasikan dan bertindak layaknya manusia di dunia nyata. Beberapa kemampuan lain yang dimiliki oleh *software Jack* dalam penggunaannya sebagai alat simulasi *virtual environment* antara lain :

- Mengimpor gambar CAD sehingga pengguna dapat mendesain *virtual environment* sesuai dengan *lay out* dan komponen lokasi yang diinginkan
- Membuat model pria dan wanita digital dengan berbagai ukuran antropometri

- Memposisikan manusia digital dan membuat postur tubuh sesuai dengan aktivitas dan stasiun kerja yang terlibat
- Mengevaluasi apa saja yang dapat dilihat seorang manusia dari sudut pandang mereka dengan memanfaatkan tampilan dari *feature view cone*
- Mengevaluasi kemampuan menjangkau dan mengangkat maksimum dari manusia digital
- Menganalisis pengaruh postur kerja pada bagian-bagian tubuh manusia digital

Software Jack dilengkapi dengan modul *Task Analysis Toolkits* (TAT) yang dapat membantu dalam proses analisis performa model manusia yang telah dibuat. *Task Analysis Toolkit* (TAT) membantu pengguna untuk menganalisis aspek ergonomi dan faktor manusia dalam rancangan kerja di dunia industri. Setelah model animasi simulasi kerja *virtual human* pada *virtual environment* dijalankan, TAT akan menaksir resiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi. Modul TAT juga dapat menunjukkan batasan maksimal kemampuan pekerja dalam mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membengkokkan ketika melakukan pekerjaan. Pada TAT terdapat 10 *tools* analisis ergonomi yang dapat digunakan, yaitu :

1. *Fatigue Analysis*
Digunakan untuk memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat mengurangi kelelahan pekerja.
2. *Lower Back Analysis*
Digunakan untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu.
3. *Manual Material Handling*
Digunakan untuk mengevaluasi dan merancang pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang.

4. *Metabolic Energy Expenditure*
Digunakan untuk memprediksi kebutuhan energy yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan.
5. *NIOSH Lifting Analysis*
Digunakan untuk mengevaluasi pekerjaan yang melibatkan proses pengangkatan suatu benda, dan penilaian berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh NIOSH.
6. *Ovako Working Posture Analysis*
Digunakan untuk menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan suatu operasi kerja.
7. *Predetermined Time Standards*
Digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) sistem*.
8. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*
Digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan/cidera pada tubuh bagian atas.
9. *Static Strength Prediction*
Digunakan untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan yang diberikan pada *virtual human* berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan antropometri.
10. *Force Solver*
Merupakan *tools* tambahan yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap tekanan statis atau *low back*. Dalam mempertimbangkan postur, dapat dibuat suatu parameter untuk memprediksi tekanan maksimum yang dapat diterima oleh manusia.

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

1. Membangun sebuah *virtual environment*

Membangun *virtual environment* dilakukan dengan cara mengimpor komponen-komponen benda kerja yang membangun *virtual environment* dan *UGS NX 6.0* ke dalam layar simulasi Jack dan kemudian memposisikan sesuai kondisi aktual seperti pada Gambar 2.8.

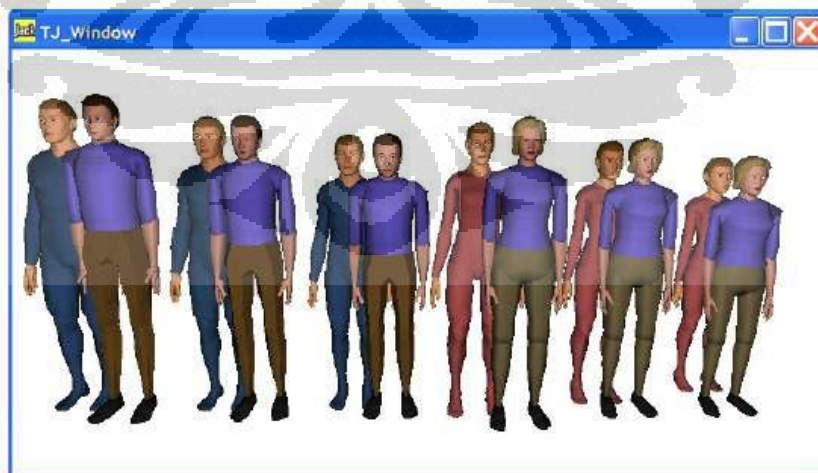


Gambar 2.8 Lingkungan (Environment) pada Software Jack

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

2. Menciptakan *virtual human*

Dengan memanfaatkan fasilitas *Advanced Human Scaling* pada *software* Jack, maka pengguna dapat membuat *virtual human* dengan ukuran antropometri yang diinginkan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 di bawah ini:



Gambar 2.9 Model Manusia Persentil 95%, 50% dan 5% pada Jack 6.1

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

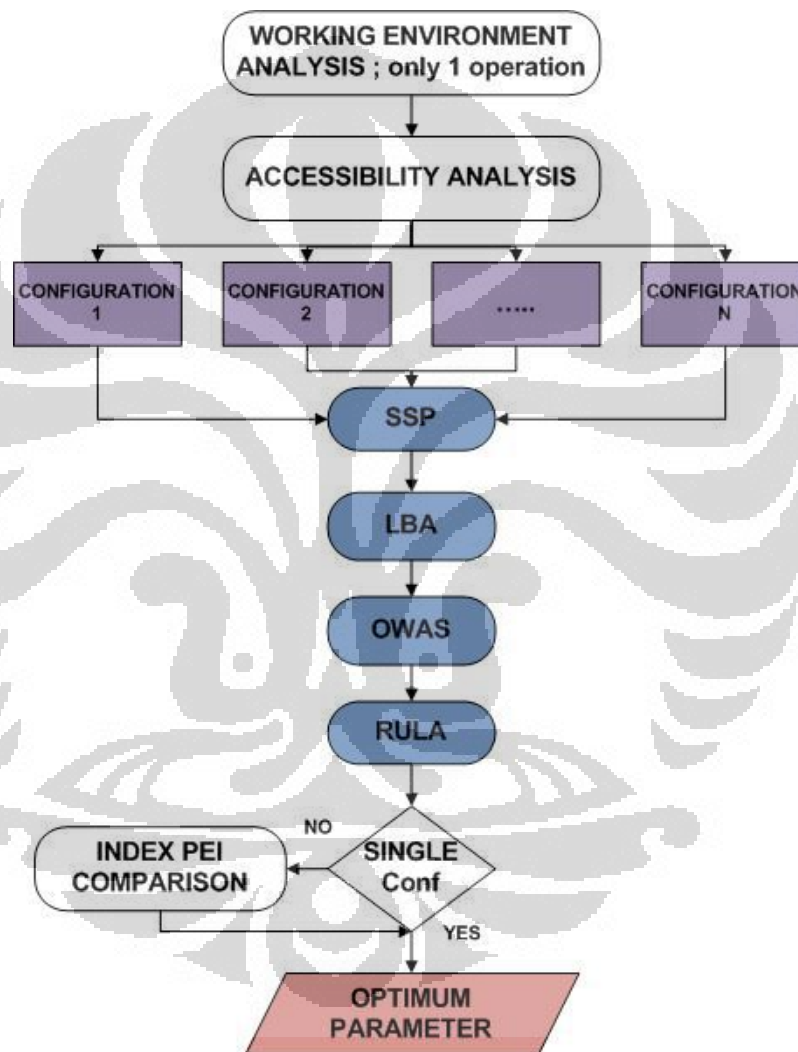
Universitas Indonesia

3. Memposisikan manusia *virtual* di dalam *virtual environment* tersebut
Jack memungkinkan pengguna untuk membuat postur dengan menggunakan model empiris, kinematika atau manipulasi persediaan secara langsung.
4. Memberikan tugas kepada manusia *virtual* tersebut
Animasi yang disediakan oleh Jack sangat memungkinkan penggunanya membuat suatu mekanisme gerakan sehingga manusia digital dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Animasi Jack juga dapat diatur ulang sehingga peninjauan dan analisis 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 diberikan 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. Penggunaan Jack sebagai software yang dapat menganalisis kondisi ergonomis dari suatu rangkaian dan lingkungan kerja, dapat membawa manfaat dan keuntungan, terutama bagi perusahaan atau pabrik yang menggunakan software ini. berikut adalah keuntungan yang dapat diberikan oleh software Jack :
 - Mempersingkat waktu untuk mendesain suatu usulan lingkungan kerja
 - Menekan biaya pengembangan produk
 - Meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkan
 - Meningkatkan produktivitas
 - Meningkatkan keamanan dan keselamatan kerja
 - Mengurangi risiko cedera yang mungkin terjadi pada pekerja

2.7. Metode Posture Evaluation Index (PEI)

Seperti telah dibahas sebelumnya, lingkungan kerja yang baik adalah lingkungan kerja yang dapat mengakomodasi kenyamanan dan keamanan operator

yang memiliki ukuran tubuh beragam. Optimasi dapat dilakukan pada lingkungan kerja dengan cara meninjau lingkungan kerja pada saat operator melakukan kerja, atau melakukan simulasi pada virtual environment. Dengan berdasarkan kepada alat ukur penilaian Task Analysis Toolkit yang dimiliki software Jack 6.1, dikembangkanlah metode *Posture Evaluation Index* (Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006). Gambar 2.10 menunjukkan alir untuk melakukan metode *Posture Evaluation Index* (PEI).



Gambar 2.10 Diagram Alir Metode PEI

Metode PEI merupakan metode yang mengintegrasikan antara skor penilaian Lower Back Analysis, dengan dua metode penilaian postur tubuh, yaitu OWAS dan RULA. Hasil integrasi antar ketiga metode tersebut memberikan suatu

Universitas Indonesia

penilaian yang menyeluruh terhadap sebuah operasi kerja dalam suatu lingkungan kerja. Metode PEI digunakan untuk menetapkan optimasi terhadap suatu operasi dalam lingkungan kerja ditinjau dari sisi keilmuan ergonomi. Namun, secara umum PEI tidak dapat digunakan apabila terdapat lebih dari satu operasi pada area kerja yang ada. Gambar 2.11 menunjukkan diagram alir dari pendekatan yang menggunakan metode PEI.

Posture Evaluation Index (PEI) bertujuan untuk memberikan sebuah penilaian optimal diantara solusi perbaikan berupa kombinasi-kombinasi postur pada sebuah operasi di stasiun kerja. Dengan bantuan software Jack yang lebih memudahkan dalam membuat kemungkinan model perbaikan yang akan dibuat, kondisi kerja aktual dapat dikomparasikan dengan model perbaikan yang akan dibuat tersebut, sehingga dapat diketahui risiko - risiko cedera apa saja yang dapat terjadi pada operator kerja.

Secara garis besar, tahapan dalam membuat model evaluasi operasi kerja dengan metode PEI terdiri dari tujuh fase, yaitu:

1. Analisis lingkungan kerja
Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja. Pada tahapan ini dilakukan tinjauan terhadap lingkungan kerja, termasuk gerakan-gerakan kerja yang terjadi selama pekerjaan berlangsung. Pada fase ini peneliti harus mencoba untuk memahami faktor-faktor yang akan berkontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil. Perlu dipikirkan pula alternatif-alternatif gerakan yang mungkin terjadi dalam rangkaian operasi kerja.
2. Analisis jangkauan dan aksesibilitas
Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu memerlukan studi pendahuluan untuk mengevaluasi aksesibilitas dari titik-titik kritis (critical points). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja agar dapat dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Dari analisa lingkungan kerja,

serta keterjangkauan dan aksesibilitas, konfigurasi yang akan dianalisa pada fase berikutnya dapat ditentukan. Jika jumlah konfigurasi yang dilaksanakan terlalu banyak, maka prosedur Design of Experiment (DOE) dapat diterapkan.

3. Analisis *Static Strength Prediction* (SSP)

Pada tahapan ini maka akan dinilai apakah pekerjaan yang dilakukan dapat dipertimbangkan dalam analisis selanjutnya. Pekerjaan tersebut dipertimbangkan untuk tahap analisis selanjutnya jika nilai skor SSP yang dikeluarkan software Jack minimal 90%. Pekerjaan yang memiliki skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut.

4. Penilaian *Low Back Analysis* (LBA)

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

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

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

6. Penilaian *Rapid Upper limb Assessment* (RULA)

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

7. Perhitungan skor PEI

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 I1, I2, dan I3. Variabel I1 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 I1 harus lebih kecil dari 1. $I_1 > 1$ menunjukkan kegiatan kerja dalam simulasi tidak valid. Variabel I2 merupakan perbandingan nilai OWAS dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4. Sedangkan nilai I3 merupakan perbandingan nilai RULA dengan indeks batas maksimum tingkat kenyamanan RULA sebesar 7. Khusus untuk I3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan amplification factor “mr”. Berikut persamaan dari metode PEI:

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

dimana:

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

$$I_2 = OWAS/4$$

$$I_3 = RULA/7$$

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

Keterangan :

3400 N = batas kekuatan yang dapat diterima lower back

4 = nilai maksimum index OWAS

7 = level maksimum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

Mr = koefisien amplifikasi

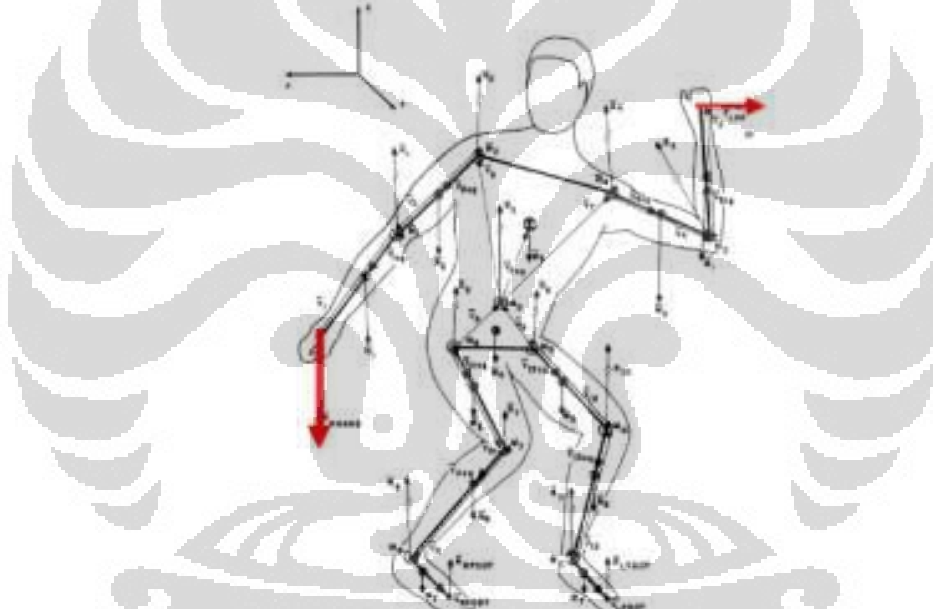
Definisi PEI dan hasil penggunaan dari LBA, OWAS, dan RULA bergantung kepada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

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

Universitas Indonesia

populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Gambar 2.12 adalah model biomekanikal manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan aktifitas. Metode SSP dapat digunakan untuk membantu

- Menganalisis tugas dan kerja yang berkaitan dengan operasi manual handling.
- Memprediksi persentase pekerja pria dan wanita yang memiliki kemampuan statis untuk melaksanakan sebuah tugas.
- Memberikan informasi apakah kebutuhan dari postur kerja yang digunakan melebihi batasan dalam standar NIOSH atau batasan kemampuan yang ditentukan sendiri.



Gambar 2.11 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya pada Persendian

Sumber: Chaffin, Don B., G Lawton, & Louise G. Johnson, 2003

Di dalam fase perancangan, sebuah kegiatan yang memiliki nilai dibawah batas kapabilitas tidak dapat dilanjutkan ke fase analisis selanjutnya. Dengan informasi yang diberikan SSP, seorang perancang dapat mendesain sebuah kerja yang mampu dilaksanakan oleh sebanyak mungkin orang dalam suatu populasi.

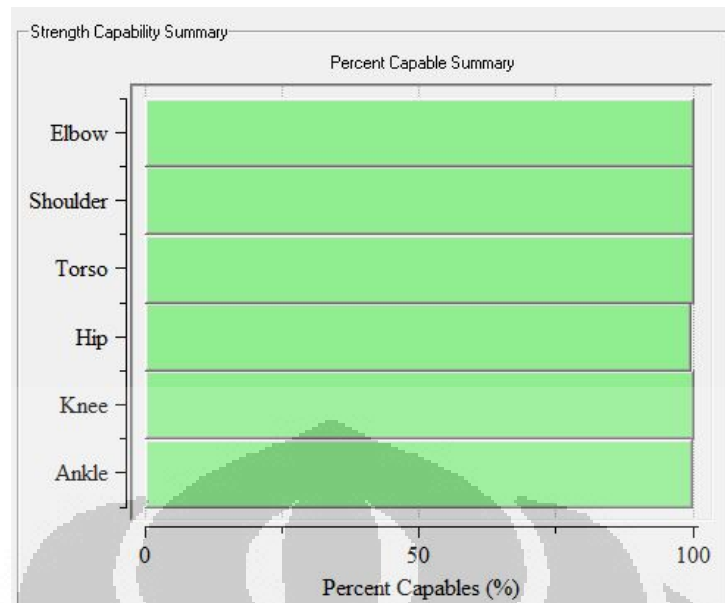
Universitas Indonesia

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

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

M_j dalam formula di atas adalah gaya eksternal di setiap persendian dan S_j adalah gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Besarnya nilai dari M_j dipengaruhi oleh tiga faktor :

- Beban yang dialami tangan (contohnya : beban mengangkat, gaya dorong dan lain-lain)
 - Postur kerja ketika seseorang mengeluarkan usaha terbesarnya
 - Antropometri seseorang
- Output SSP yang dikeluarkan oleh *software* Jack seperti yang ditampilkan oleh Gambar 2.12 menampilkan beberapa informasi yang antara lain :
- Persentase populasi manusia yang memiliki kekuatan statis untuk melakukan pekerjaan tertentu yang disimulasikan.
 - Besarnya sudut lengan yang tepat dengan mempertimbangkan siku, bahu, rotasi tulang humerus, pinggul, lutut dan pergelangan kaki serta memprediksi sudut tubuh dengan mempertimbangkan lekukan fleksi, rotasi dan lateral.
 - Besarnya torsi lengan dan tubuh, disertai dengan efek otot (fleksi, ekstensi, abduksi atau aduksi), nilai rata-rata (mean) kekuatan dari suatu populasi dan standar deviasi kekuatan.



Gambar 2.12 Tampilan SSP pada *Software Jack*

2.7.2. Low Back Analysis (LBA)

Low Back Analysis (LBA) merupakan metode untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja di tulang belakang manusia pada kondisi beban dan postur tertentu (Siemens PLM Software, Op Cit, hal. 2 - 3). 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.
- Memberikan informasi terjadinya peningkatan resiko cedera pada bagian tulang belakang manusia.
- Memperbaiki tata letak sebuah stasiun kerja beserta tugas-tugas yang akan dilakukan di dalamnya sehingga risiko cedera pada bagian tulang belakang pekerja dapat dikurangi.
- Memprioritaskan jenis-jenis kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

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,

Universitas Indonesia

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):

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM \dots \dots \dots (2.4)$$

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"

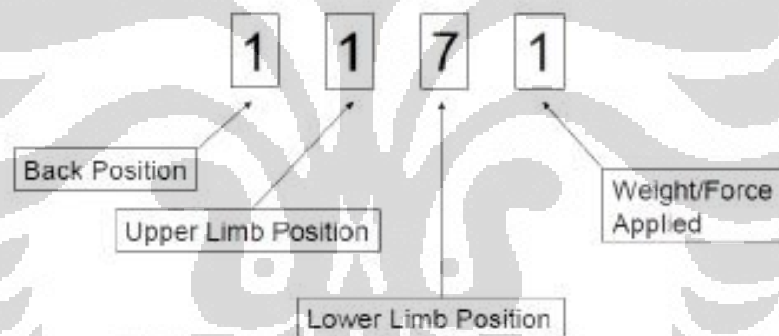
2.7.3. *Ovako Working Postur Analysis (OWAS)*

OWAS merupakan metode untuk menganalisa dan mengevaluasi postur kerja manusia yang paling awal dan termudah. Metode ini ditemukan pertama kali oleh Ovako Oy, sebuah perusahaan manufaktur besi yang terletak di negara Finlandia pada tahun 1977. Metode OWAS didasarkan pada klasifikasi postur kerja yang sederhana dan sistematis yang dikombinasikan dengan tugas, atau pekerjaan. Metode ini dapat diaplikasikan dalam beberapa bidang, contohnya adalah sebagai berikut:

- Pengembangan tempat kerja atau metode kerja, untuk mengurangi beban muskuloskeletal dengan tujuan membuat usulan yang lebih aman dan lebih produktif

- Perencanaan tempat kerja baru atau metode kerja
- Survei ergonomi
- Survei kesehatan kerja
- Penelitian dan pengembangan

Hasil penilaian OWAS akan menentukan tingkat kepentingan atau urgensi untuk dilakukannya perbaikan terhadap rancangan stasiuan kerja. Selain itu berdasarkan nilai OWAS dapat ditentukan tindakan perbaikan dari postur kerja yang ada. Metode ini menganalisis kenyamanan dengan menekankan pada empat bagian tubuh, yang kemudian dirangkum dalam 4 digit kode (Gambar 2.13). Angka pertama dalam kode untuk menjelaskan postur kerja bagian back (tulang punggung), digit kedua adalah bagian upper limb, digit ketiga lower limb dan terakhir adalah beban yang digunakan selama proses kerja berlangsung. Penjelasan mengenai kode digit dijelaskan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.13 Model Kode OWAS

Sumber : Raemy, Ergonomics Assessments Methods



Gambar 2.14 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

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

Keterangan :

1. Back (Punggung)
 - 1 = lurus, netral
 - 2 = cenderung ke depan (bungkuk) atau ke belakang
 - 3 = memutar (twist) atau cenderung ke samping
 - 4 = bungkuk (bent) dan memutar (twist)
2. Arms (Lengan)
 - 1 = kedua tangan di bawah bahu
 - 2 = satu tangan berada pada atau di atas bahu
 - 3 = kedua tangan berada pada atau di atas bahu
3. Legs (Kaki)
 - 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

4. Beban

1 = sama dengan atau kurang dari 10 kg

2 = 10-20 kg

3 = lebih dari 20 kg

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	Normal Posture	Tindakan perbaikan tidak diperlukan
2	Slightly Harmful	Tindakan perbaikan diperlukan di masa datang
3	Distinctly Harmful	Tindakan perbaikan diperlukan segera
4	Extremely Harmful	Tindakan perbaikan diperlukan secepat mungkin

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 Karwowski, 2001). Berdasarkan teori-teori seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka secara umum fungsi penggunaan metode OWAS adalah:

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

dijalankan.

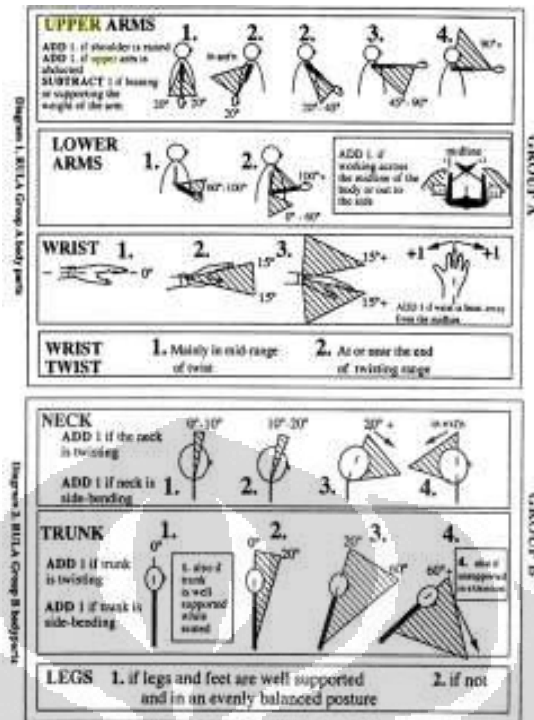
- Memberikan suatu skor penilaian yang menunjukkan tingkat prioritas dari perlunya pengambilan suatu tindakan perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera dari postur kerja sebelumnya.

2.7.4. *Rapid Upper Limb Assesment (RULA)*

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) adalah metode survey yang dikembangkan untuk melakukan investigasi tempat kerja serta memeriksa akan adanya pembebanan biomekanik dan postur. Menurut Mc Atamney dan Corlett (1993), RULA memfokuskan investigasi pada tubuh bagian atas. Metode RULA mengalami perkembangan seiring berjalannya waktu. Bahkan RULA telah dikembangkan untuk dapat diterapkan pada pengguna komputer (Lueder, 1996).

Gambar-gambar RULA dalam pengembangan tersebut dibuat berdasarkan gambar-gambar RULA yang dibuat oleh Dr. Lynn Mc Atamney dan Dr. Nigel Corlett. Hal ini membuktikan bahwa metode RULA dapat diadaptasikan untuk jenis-jenis pekerjaan yang ada. Untuk penilaian dan perhitungan grand score RULA digunakan metode penilaian yang dikembangkan oleh Profesor Alan Hedge (2001).

RULA merupakan metode untuk mengevaluasi tekanan beban kerja terhadap risiko cedera pada tubuh bagian atas (upper limb) pekerja. Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas yang menjadi dibagi menjadi dua kelompok yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Pengelompokan Tubuh Metode RULA

Sumber: Karwowski, Waldemar, International Encyclopedia of Ergonomis and Human Factor, Taylor and Francis: New York, 2001, p.1462

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.

Masing-masing anggota tubuh akan mendapatkan skor berdasarkan postur tubuh yang terbentuk selama pekerjaan berlangsung. Kemudian, skor masing-masing anggota tubuh tersebut dikombinasikan untuk mendapatkan skor kelompok, dan kemudian menghasilkan grand score, yang berada dalam range 1 hingga 7. Jika mendapatkan grand score 1 atau 2, artinya postur kerja dianggap dapat diterima. Grand score 3 atau 4 berarti investigasi diperlukan. Grand score 5-6 berarti investigasi diperlukan dan sistem kerja segera dirubah. Grand score 7 berarti harus investigasi dan perubahan harus dilakukan secepatnya.

2.8. Kursi

Pekerjaan manusia dilakukan dalam berbagai posisi. Ada pekerjaan yang mengharuskan manusia mengerjakannya dalam posisi duduk, juga ada yang harus dikerjakan dalam posisi berdiri. Postur kerja duduk membutuhkan kursi yang menunjang performa kerja manusia dan juga menyokong tubuh manusia agar menghasilkan postur kerja yang stabil, nyaman dalam jangka waktu tertentu, memuaskan secara fisiologis dan sesuai dengan pekerjaan yang dilakukan yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Determinansi Kenyamanan Kursi

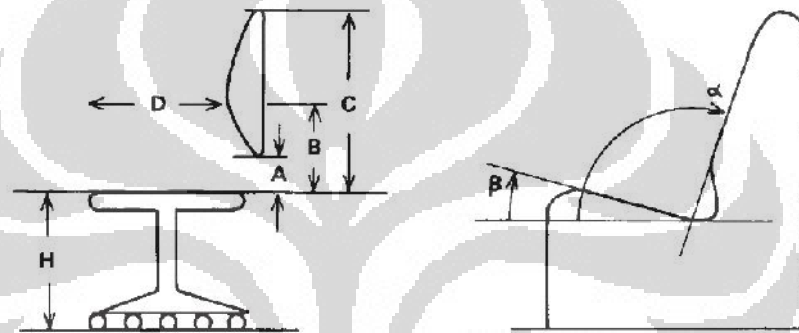
Seat Characteristics	User Characteristics	Task Characteristics
Seat Dimensions	Body Dimensions	Duration
Seat Angles	Body Aches and Pain	Visual Demand
Seat Profile	Circulation	Physical Demands
Upholstery	States of Mind	Mental Demands

(Sumber : Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, 2003)

Pemakaian kursi dalam waktu yang lama akan menyebabkan ketidaknyamanan, untuk jenis kursi apapun. Namun, waktu yang dibutuhkan untuk merasakan ketidaknyamanan tersebut berbeda untuk setiap jenis kursi, individu dan jenis pekerjaan yang dikerjakan. Sehingga, parameter kenyamanan sebuah kursi bergantung kepada interaksi tiga buah elemen, yaitu karakteristik kursi, karakteristik individu pengguna dan karakteristik pekerjaan yang dilakukan. Sebuah kursi yang mendukung kenyamanan penggunaannya adalah kursi yang dibuat berdasarkan data antropometri manusia. Kebanyakan kursi dibuat untuk dapat memuat ukuran tubuh manusia dengan ukuran persentil 95. Namun, sebuah kursi yang baik akan lebih optimal pemakaiannya jika dibuat berdasarkan kombinasi ukuran dari setiap jenis kelamin dan persentil yang ada.

2.8.1. Aspek Antropometri pada Desain Kursi

Sebuah kursi memiliki fungsi untuk menyokong tubuh untuk melakukan kerja dalam postur duduk. Sebuah kursi juga harus dapat menunjang performa operator dalam mengerjakan pekerjaan dalam kondisi duduk. Oleh karena itu, sebuah kursi harus dapat memenuhi kebutuhan manusia yang bekerja di atasnya dalam hal kesehatan, keselamatan dan kenyamanan. Untuk bisa menunjang ketiga hal tersebut, sebuah kursi perlu didesain dengan berdasarkan kepada data antropometri manusia. Menurut Bridger (1995), sebuah kursi memiliki ukuran-ukuran penyusun sebagai berikut.



Gambar 2.16 Penampang Kursi

Sumber : Pheasant.S, Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, hal.7

1. Ketinggian Dudukan Kursi

Ketinggian kursi sangat berpengaruh dalam tekanan yang dirasakan oleh individu, terutama pada bagian paha. Bagian ketinggian kursi ditentukan dari besarnya ketinggian dari dasar lantai hingga bagian popliteal dalam posisi duduk. Jika ketinggian kursi terlampau pendek, maka akan berpeluang lebih besar dalam menyebabkan terjadinya flexion pada bagian ruas - ruas batang tubuh, kesulitan dalam mengubah posisi duduk - berdiri karena adanya beban gravitasi yang lebih besar jika dibandingkan dengan duduk dalam ketinggian yang optimal serta membutuhkan ruang yang lebih besar untuk bagian kaki, karena kaki akan lebih cenderung memanjang ke arah depan seiring dengan berkurangnya

ketinggian kursi. Bagian ketinggian kursi ini idealnya dibuat berdasarkan pada data antropometri wanita dengan persentil 5. Data yang digunakan adalah data ketinggian popliteal.

2. Kedalaman Dudukan Kursi

Bagian kedalaman kursi harus benar - benar diperhatikan ketika membuat sebuah kursi. Data yang ideal untuk bagian kursi ini adalah data antropometri bagian buttock -popliteal length dengan karakteristik wanita persentil 5. Hal ini dikarenakan jika kedalaman kursi terlalu pendek, akan menyebabkan ketidakmampuan punggung untuk bersandar pada sandaran kursi secara efektif. Namun, ukuran kedalaman kursi yang terlalu panjang juga dapat menyebabkan permasalahan terutama pada wanita dengan persentil 5. Kedalaman kursi yang terlalu panjang selain dapat menyebabkan punggung tidak dapat bersandar dengan efektif, namun juga dapat menyebabkan ketidakmampuan kaki untuk secara alami menjuntai kebawah, karena diakibatkan bagian sendi lutut tidak berada di ujung dari dudukan kursi tersebut.

3. Lebar Dudukan Kursi

Bagian lebar dudukan kursi dapat dibuat dengan menggunakan bermacam - macam data antropometri. Normalnya, data antropometri yang digunakan adalah data antropometri bagian hip breadth wanita dengan persentil 95. Hal ini disebabkan karena bagian pinggang - pinggul wanita memiliki ukuran yang umumnya lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran yang dimiliki pria dengan persentil 95. Namun dapat juga digunakan data antropometri bagian elbow -elbow length pria dengan persentil 95, karena jarak antara siku kanan dan kiri memiliki ukuran yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan ukuran lebar pinggul.

4. Dimensi Sandaran Punggung

Sandaran kursi, atau sandaran punggung memiliki fungsi untuk menyokong berat dari batang tubuh manusia. Semakin tinggi sandaran, semakin efektif dalam menyokong berat dari batang tubuh. menurut ukuran, ada tiga macam jenis sandaran punggung yang digunakan

pada kursi. Ketiga jenis sandaran tersebut adalah; low-level backrest, medium-level backrest dan high-level backrest. Berikut adalah penjelasan mengenai ketiga tipe sandaran punggung.

- *Low-level backrest*

Sandaran punggung tipe yang pertama ini memberikan sokongan yang baik pada bagian lumbar dan *lower-thoracic*. Selain itu, sandaran tipe ini memberikan keleluasaan bahu untuk bergerak ke segala arah. Kelemahan dari sandaran ini adalah tidak adanya sokongan yang memadai untuk punggung bagian atas bila kursi didesain memiliki kemiringan sandaran diatas 110 derajat.

- *Medium-level backrest*

Berbeda dengan *low-level backrest*, *medium level backrest* memberikan sokongan yang baik sampai bagian punggung atas dan bahu. Untuk membuat sandaran yang mencakup semua jenis persentil, digunakan data antropometri pria dengan persentil 95. Data antropometri yang digunakan adalah data bagian sitting acrominal.

- *High-level backrest.*

Dari seluruh jenis sandaran yang ada, *high-level backrest* adalah sandaran yang memberikan sokongan secara menyeluruh hingga leher dan kepala. Untuk jenis ini dibutuhkan data antropometri sitting height pria dengan persentil 95.

5. Kemiringan Sandaran Punggung (α) dan Kemiringan Dudukan Kursi (β)

Bagian sandaran punggung tentu sangat berguna untuk digunakan dalam posisi beristirahat. Semakin besar derajat kemiringan yang dimiliki oleh sandaran punggung, maka semakin besar pula proporsi berat batang tubuh yang disokong. Besar derajat kemiringan dapat memengaruhi dan berkontribusi terhadap munculnya gejala lordosis. Derajat kemiringan yang semakin besar selain menyebabkan kesulitan bagi individu untuk melakukan perpindahan postur dari berdiri ke duduk dan sebaliknya, juga menjadikan gaya tekan pada sumbu x atau horizontal menjadi lebih

besar, yang akan menyebabkan bagian pantat akan cenderung bergerak ke arah depan, sehingga postur duduk tidak stabil. Hal ini dapat diminimalisasi dengan menambahkan kemiringan dudukan kursi (seat tilt) atau dengan membuat dudukan kursi dari bahan yang memiliki gaya gesek yang tinggi.

Menurut Grandjean (1973), kemiringan dudukan kursi yang direkomendasikan adalah sebesar 20 hingga 26 derajat, sedangkan untuk kemiringan sandaran yang direkomendasikan sebesar 105 hingga 110 derajat. Namun, besar kemiringan yang direkomendasikan oleh Grandjean tersebut menyebabkan kemiringan sandaran kursi menjadi 136 derajat, yang hanya cocok untuk beristirahat. Sedangkan menurut Le Carpentier (1969), kemiringan dudukan kursi 10 derajat dan kemiringan sandaran kursi 120 derajat merupakan ukuran kemiringan yang cocok untuk membaca. Namun, ia juga menemukan bila kemiringan lebih dari 110 derajat digunakan oleh orang lanjut usia akan lebih cenderung menimbulkan masalah. Oleh karena itu, kemiringan sandaran kursi yang baik untuk melakukan aktivitas adalah yang memiliki kemiringan diantara 100 hingga 110 derajat.

6. Sandaran Tangan

Sandaran tangan merupakan bagian yang dibutuhkan sebagai komponen alat bantu postur tambahan, serta berfungsi sebagai alat bantu untuk berdiri dari keadaan duduk, dan sebaliknya. Sandaran tangan yang baik harus dapat menyokong bagian dari tangan, atau diberikan permukaan yang empuk agar tidak mencederai bagian siku yang memiliki bagian saraf yang sensitif di dekat permukaannya. Jarak yang baik antara bagian sandaran punggung dengan sandaran tangan adalah sebesar 100 mm. Ketinggian sandaran tangan yang direkomendasikan merupakan kombinasi dari ukuran persentil manusia dari yang terkecil hingga terbesar, dengan range ukuran mulai dari 20 cm hingga 25 cm diatas permukaan dudukan kursi.

2.9. Meja

Selain kursi, meja juga merupakan sebuah elemen penting dalam kegiatan kerja terutama yang membutuhkan postur duduk. Desain kursi yang dapat disesuaikan (adjustable) telah banyak dapat kita temukan, namun sebaliknya desain meja yang adjustable masih sangat jarang ditemui. Menurut Georgia Panagiotopoulou (2004), M.K Gouvalli (2006) dan Neil Alan Tutte (2000), terdapat 5 variabel ukuran yang penting dari sebuah meja yaitu tinggi meja, tinggi sandaran kaki, lebar sandaran kaki, tinggi ruang dibawah meja dan kemiringan permukaan meja.

2.9.1. Tinggi meja (Desk Height)

Sebagian besar peneliti menggunakan ukuran tinggi siku saat duduk (elbow rest height) sebagai kriteria untuk menetapkan tinggi meja (Dul and Weerdmeester, 1998; Milanese and Grimmer, 2004; Oxford, 1969; Sanders and McCormick, 1993). Hal ini didasarkan oleh fakta bahwa ditemukan penurunan beban yang signifikan pada tulang belakang ketika lengan dapat diletakkan diatas meja (Occhipinti et al., 1985). Evans et al., (1988) mengusulkan ketinggian meja yang relatif rendah, yaitu 95% dari tinggi siku saat duduk. Sementara itu, Bendix dan Bloch (1986), Pheasant (1991), serta Poulakakis dan Maramis menyimpulkan bahwa meja harus 3-5 cm lebih tinggi dari siku. Parcels et al. (1999) menyarankan tinggi meja harus disesuaikan dengan tinggi lantai ke siku, sehingga ukuran tersebut akan mencapai nilai minimal ketika bahu tidak tertekuk, dan mencapai nilai maksimal ketika bahu mengalami flexion (tertekuk) 25 derajat dan abduction 20 derajat (Parcels et al., 1999).

2.9.2. Tinggi ruang dibawah meja (*Underneath desk height*)

Underneath desk height harus cukup sehingga terdapat ruang antara lutut dengan bagian bawah meja (Dul dan Weerdmeester, 1998; Evans et al., 1988; Sanders dan McCormick, 1993). Mandal (1997) dan Parcels et al. (1999) mengusulkan bahwa jarak antara bagian bawah meja dengan lutut harus minimal 2 cm, sedangkan Poulakakis dan Manmaras (1998) mengusulkan

Universitas Indonesia

minimal 5 cm. Menurut Corlett dan Clark (1995) serta Helander (1997), ruang ini juga harus memungkinkan lutut untuk saling bersilangan.

2.9.3. Tinggi sandaran kaki

Sama seperti variabel tinggi ruang dibawah meja, tinggi sandaran kaki juga dihitung menggunakan ukuran tinggi lutut. Hal yang paling penting harus dipertimbangkan adalah lutut pengguna tidak boleh menekan ke bagian bawah meja ketika kakinya bertumpu pada sandaran kaki.

2.9.4. Lebar sandaran kaki

Ketika kaki pengguna dapat bertumpu pada sandaran kaki sesempurna mungkin, maka hal ini akan menyebabkan postur duduk pengguna semakin nyaman dan berat badan yang dapat disidtribusikan ke area kaki juga menjadi semakin baik. Lebar sandaran kaki dihitung menggunakan ukuran lebar telapak kaki agar kaki pengguna dapat menumpu secara penuh pada sandaran kaki ini.

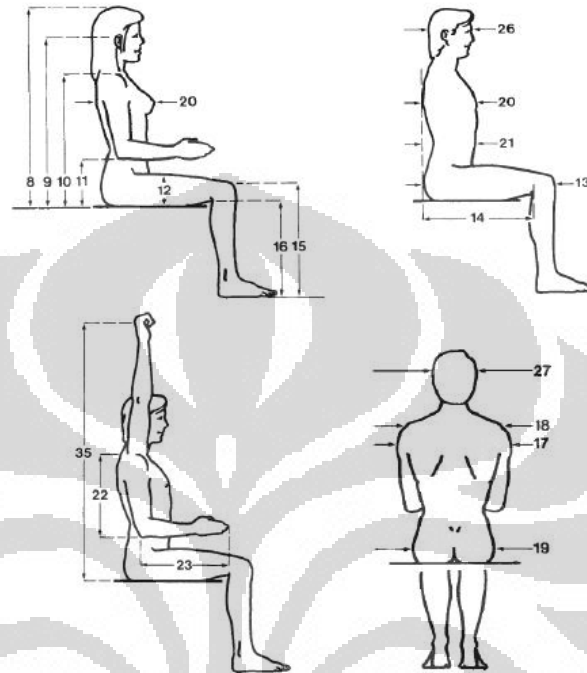
2.9.5. Kemiringan permukaan meja

Banyak peneliti berpendapat bahwa, meja yang memiliki kemiringan permukaan akan lebih menguntungkan bagi pengguna dibandingkan meja dengan permukaan yang datar. Mandal (1982) kemiringan permukaan meja yang paling baik adalah 20 derajat, sementara Wall et.al juga telah membuktikan bahwa duduk dengan kemiringan meja 10 derajat menghasilkan postur tubuh yang lebih baik dibandingkan pada meja yang datar.

2.10. Data Antropometri Struktural Posisi Duduk

Dalam pembuatan kursi diperlukan data antropometri manusia. Namun, data antropometri yang digunakan berbeda dengan data antropometri berdiri, dikarenakan pada saat kondisi manusia berada dalam posisi duduk, ada beberapa detail ukuran tubuh manusia yang berubah dikarenakan oleh mengembangnya bagian tubuh yang memiliki komposisi lemak lebih banyak, sehingga menyebabkan ukuran bagian tubuh akan menjadi lebih besar. Sebagai contoh

bagian pinggul akan menjadi lebih besar ketika berada dalam posisi duduk. Oleh karena itu untuk mendapatkan data antropometri yang spesifik ketika duduk, pengukuran dilakukan dalam keadaan duduk, dengan dimensi - dimensi seperti yang tertera pada Gambar 2.17 dengan keterangan ukuran pada Tabel 2.3.



Gambar 2.17 Dimensi Data Antropometri Duduk Manusia

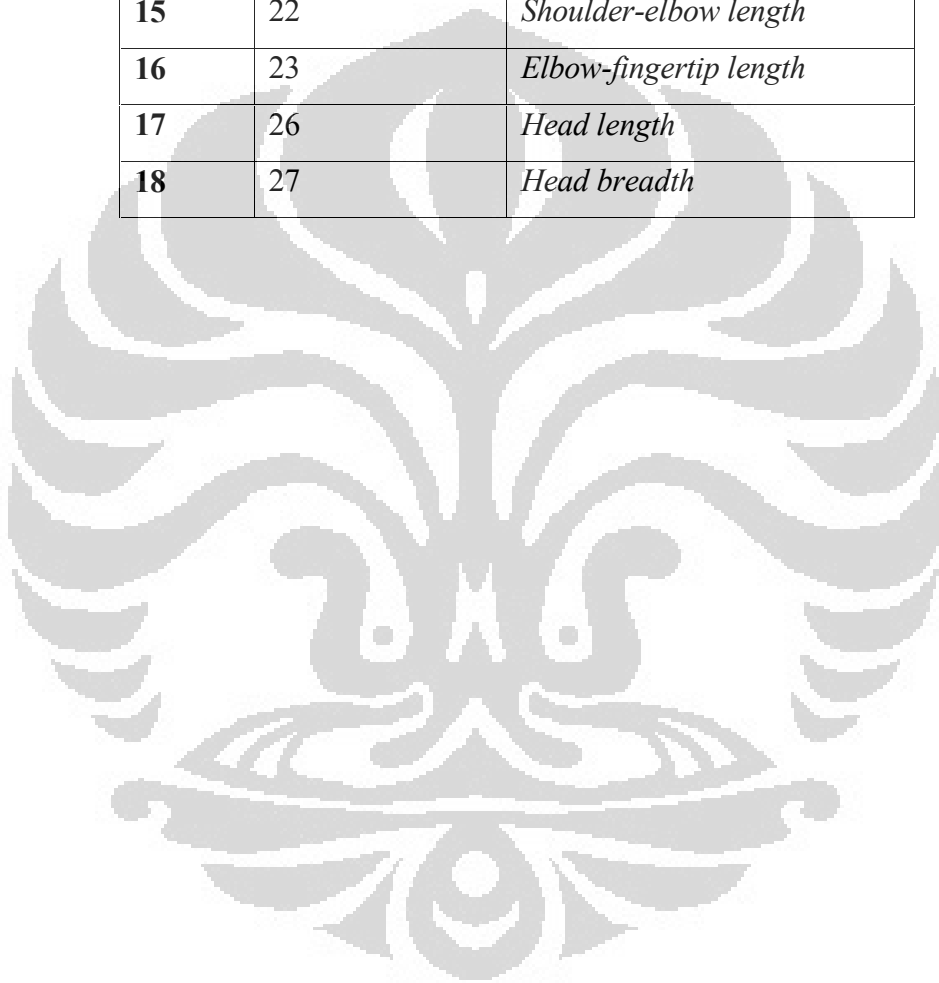
Sumber : Pheasant,S, Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, (dengan perubahan)

Tabel 2.3 Keterangan Dimensi Data Antropometri Duduk Manusia

No	Nomor Gambar	Keterangan Ukuran
1	8	<i>Sitting height</i>
2	9	<i>Sitting eye height</i>
3	10	<i>Sitting shoulder height</i>
4	11	<i>Sitting elbow height</i>
5	12	<i>Thigh thickness</i>
6	13	<i>Buttock-knee length</i>
7	14	<i>Buttock-popliteal length</i>
8	15	<i>Knee height</i>

Tabel 2.3 Keterangan Dimensi Data Antropometri Duduk Manusia (Sambungan)

9	16	<i>Popliteal height</i>
10	17	<i>Shoulder breadth(biacromial)</i>
11	18	<i>Shoulder breadth(biacromial)</i>
12	19	<i>Hip breadth</i>
13	20	<i>Chest (bust) depth</i>
14	21	<i>Abdominal depth</i>
15	22	<i>Shoulder-elbow length</i>
16	23	<i>Elbow-fingertip length</i>
17	26	<i>Head length</i>
18	27	<i>Head breadth</i>



BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab 3 ini akan dijelaskan mengenai pengumpulan dan teknis pengambilan data yang telah dilakukan dalam penelitian ini, beserta pengolahan data dengan menggunakan *software* dan *tools* tertentu.

3.1. Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian ini diperlukan beberapa data yang berkaitan dan mendukung validitas penelitian. Tujuan pengambilan data ini adalah untuk memastikan bahwa penelitian yang dilakukan memang sesuai dengan permasalahan yang ada. Data-data yang diperlukan merupakan data-data yang harus diambil langsung di lapangan, seperti data keluhan musculoskeletal yang dialami, ukuran meja dan kursi aktual yang ada dan juga data antropometri siswa dan siswi SMP. Pengumpulan data dilakukan di SMP Negeri 88 Jakarta. Adapun waktu pengumpulan data dilakukan pada bulan April 2012.

3.1.1. Deskripsi Data

Banyaknya data yang akan diambil dilakukan dengan melakukan perhitungan sebagai berikut :

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

Formula tersebut merupakan formula yang dibuat oleh Yamane dengan keterangan sebagai berikut :

- n = banyaknya jumlah sampel
- N = banyaknya populasi
- e = level presisi

Banyaknya populasi dihitung dari populasi siswa SMP kelas 7-9 (13-15 tahun) yang ada di SMP Negeri 88 Jakarta yang berjumlah 773 orang dengan proporsi kelas 7 sebanyak 252 orang, kelas 8 sebanyak 263 orang dan kelas 9 sebanyak

258 orang. Level presisi adalah range dimana diestimasikan terdapat nilai yang benar dari suatu populasi. Pada penelitian ini diambil nilai level presisi yaitu 10%. Dengan demikian, dapat diperoleh jumlah sampel yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu :

$$\begin{aligned} n &= \frac{N}{1 + N(e)^2} \\ &= \frac{773}{1 + 773 \times (0.1)^2} \\ &= 89 \text{ sampel} \end{aligned}$$

Data yang diperlukan dalam penelitian ini sebanyak 89 sampel, namun peneliti memilih untuk mengambil lebih banyak data yaitu sebanyak 100 sampel. Data yang diperlukan untuk penelitian ini antara lain data keluhan *musculoskeletal disorder*, data antropometri dan data ukuran kursi dan meja sekolah.

3.1.2. Data Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal


Pada perumusan masalah awal, ukuran dan dimensi kursi dan meja sekolah yang tidak ergonomis menyebabkan postur tubuh anak menjadi tidak nyaman. Di Indonesia sendiri, belum ada standar dimensi kursi dan meja sekolah yang disesuaikan dengan antropometri siswa SMP. Meja dan kursi yang tidak sesuai dengan ukuran tubuh ini berpotensi menimbulkan terjadinya cedera WMSD (*Work Musculoskeletal Disorder*) dan ketidaknyamanan pada siswa saat belajar di kelas.

Kegiatan belajar mengajar yang kurang lebih dilakukan siswa setiap harinya selama 6 jam menunjukkan suatu pekerjaan yang dilakukan berulang-ulang. Hal ini juga berpotensi menyebabkan cedera apabila kursi dan meja yang digunakan tidak sesuai dengan postur tubuh manusia. Ada empat faktor dalam pekerjaan yang berhubungan dengan peningkatan resiko nyeri punggung dan cedera, yaitu :

- Force; Mengerahkan terlalu banyak tenaga di punggung dapat menyebabkan cedera. Resiko menghadapi cedera akan jauh lebih besar jika sering mengangkat atau memindahkan berat

- Pengulangan; Pengulangan melakukan gerakan tertentu yang berlebihan dapat menyebabkan kelelahan otot atau cedera
- Postur; Postur mengacu pada posisi duduk, berdiri atau melakukan tugas
- Stress; Tekanan di tempat kerja atau di rumah dapat meningkatkan stress dan menyebabkan ketegangan dan kekakuan otot

Dalam mengetahui bagian tubuh mana yang dirasa paling tidak nyaman ketika menggunakan kursi dan meja sekolah maka dibuatlah kuesioner. Gambar 3.1 dibawah ini adalah kuesioner yang disebarakan untuk mengetahui keluhan *musculoskeletal disorder* :



BAGIAN TUBUH	Apakah anda pernah merasakan sakit/ tidak nyaman pada saat duduk di kelas pada bagian-bagian tubuh ini?		Jika pernah, maka seberapa sakit/tidak nyamankah bagian tubuh tersebut?		
	Pernah	Tidak pernah	Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman
Leher					
Bahu					
Punggung atas					
Lengan atas					
Lengan bawah					
Punggung bawah					
Pergelangan tangan					
Pinggang/pinggul					
Paha					
Lutut					
Telapak kaki					

Apakah rasa sakit/ tidak nyaman tersebut mengganggu pekerjaan anda?

- Mengganggu
 Tidak mengganggu

Apakah kursi dan meja sekolah yang ada saat ini sudah nyaman?

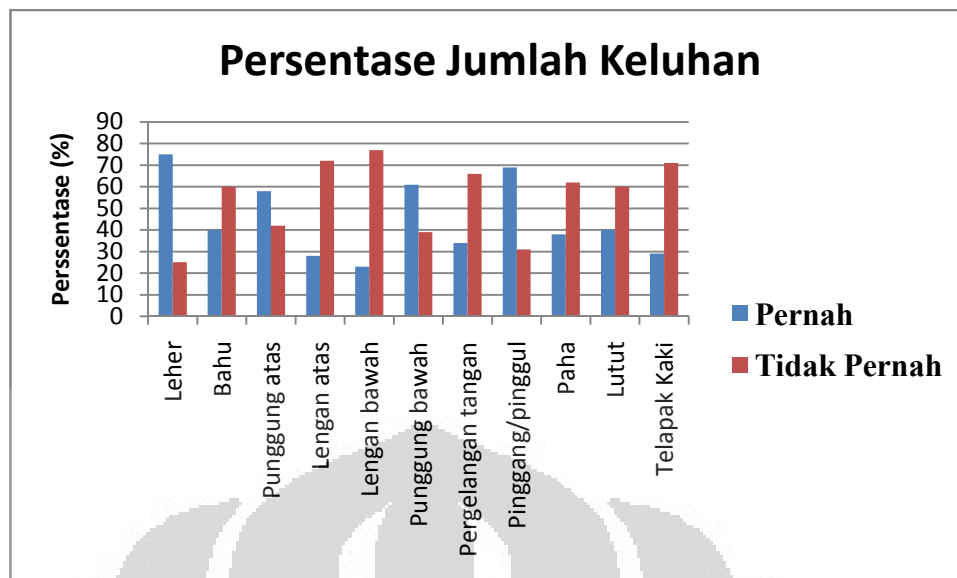
- Nyaman
 Tidak nyaman

Gambar 3.1 Kuesioner Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal

Kuesioner yang disebarakan kepada 100 orang siswa SMP ini bertujuan untuk mengetahui bagian tubuh mana saja yang dirasakan sakit atau tidak nyaman saat menggunakan meja dan kursi sekolah serta untuk mengetahui apakah rasa sakit tersebut mengganggu konsentrasi belajar atau tidak. Ada satu lagi pertanyaan yang diberikan kepada siswa yaitu mengenai kenyamanan kursi dan meja yang digunakan di kelas, pertanyaan ini dimaksudkan untuk mengetahui pendapat siswa terhadap meja dan kursi yang mereka gunakan di kelas. Identifikasi rasa sakit dilakukan pada 11 bagian tubuh tertentu, yaitu :

1. Leher
2. Bahu
3. Punggung atas
4. Lengan atas
5. Lengan bawah
6. Punggung bawah
7. Pergelangan tangan
8. Pinggang/pinggul
9. Paha
10. Lutut
11. Telapak kaki

Kemudian untuk mengetahui tingkat rasa sakit yang dirasakan dibagi menjadi 3 kategori yaitu : sedikit tidak nyaman, tidak nyaman dan sangat tidak nyaman. Kategori sedikit tidak nyaman didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan peregangan atau dengan istirahat sejenak, tidak nyaman didefinisikan sebagai keluhan yang berlangsung cukup lama dan butuh istirahat yang cukup panjang untuk menghilangkannya dan sangat tidak nyaman didefinisikan sebagai keluhan yang dirasa paling berat dan butuh penanganan khusus. Grafik presentase jumlah keluhan yang dirasakan siswa pada tiap bagian tubuhnya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik Presentase Jumlah Keluhan Anggota Tubuh Siswa

Berdasarkan hasil dari data kuesioner pada jenis anggota tubuh yang pernah merasakan sakit, diperhitungkan pula level rasa sakit yang dirasakan sehingga dapat diketahui seberapa sakit atau tidak nyaman suatu anggota tubuh terhadap penggunaan meja dan kursi sekolah. Keluhan yang paling banyak pernah dirasakan oleh siswa yaitu bagian leher sebanyak 75%, kedua adalah pinggang/pinggul sebanyak 69% dan yang ketiga adalah punggung bawah sebanyak 61%. Hasil perhitungan rasa sakit pada anggota tubuh siswa dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

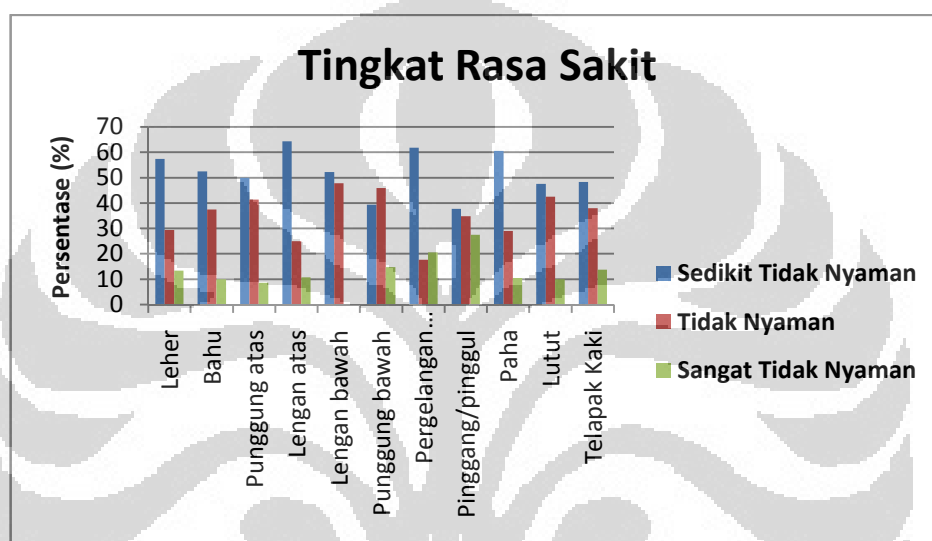
Tabel 3.1 Rekapitulasi Perhitungan Rasa Sakit Pada Anggota Tubuh Siswa

Bagian Tubuh	Pernah	Tidak Pernah	Jumlah
Leher	75	25	100
Bahu	40	60	100
Punggung atas	58	42	100
Lengan atas	28	72	100
Lengan bawah	23	77	100
Punggung bawah	61	39	100
Pergelangan tangan	34	66	100
Pinggang/pinggul	69	31	100

Tabel 3.1 Rekapitulasi Perhitungan Rasa Sakit Pada Anggota Tubuh Siswa
(Sambungan)

Paha	38	62	100
Lutut	40	60	100
Telapak Kaki	29	71	100

Sedangkan grafik presentase tingkat rasa sakit pada anggota tubuh siswa dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini:



Gambar 3.3 Grafik Persentase Tingkat Rasa Sakit Anggota Tubuh Siswa

Pada grafik persentase tingkat rasa sakit pada tiap anggota tubuh terlihat bahwa rasa paling tidak nyaman yang dialami siswa paling besar terletak pada bagian pinggang/pinggul dengan persentase “sangat tidak nyaman” sebesar 27% dari 69 orang siswa yang pernah merasakan sakit pada bagian pinggang/pinggul.

Untuk leher, sakit yang dirasakan oleh siswa paling banyak berada pada level “sedikit tidak nyaman” yaitu sebanyak 57%, sehingga untuk bagian ini siswa hanya cukup melakukan sedikit peregangan untuk menghilangkan rasa sakit. Sedangkan untuk bagian punggung bawah, sakit yang dirasakan oleh siswa paling banyak berada pada level “tidak nyaman” yaitu sebesar 35%. Tabel 3.2 merupakan rekapitulasi perhitungan tingkat rasa sakit yang dialami oleh anggota tubuh siswa.

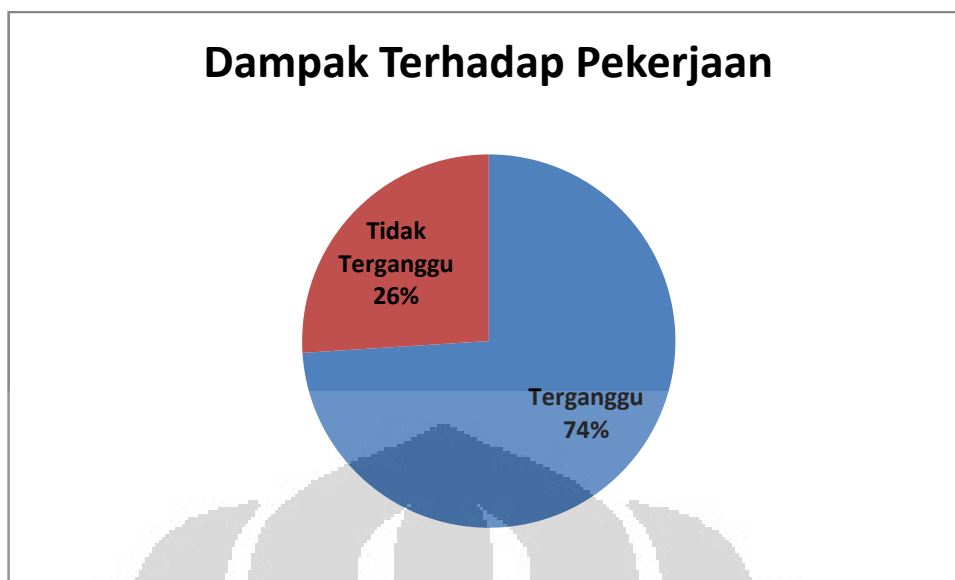
Tabel 3.2 Rekapitulasi Perhitungan Tingkat Rasa Sakit Pada Anggota Tubuh Siswa

Bagian Tubuh	Sedikit Tidak Nyaman	Tidak Nyaman	Sangat Tidak Nyaman	Jumlah
Leher	43	22	10	75
Bahu	21	15	4	40
Punggung atas	29	24	5	58
Lengan atas	18	7	3	28
Lengan bawah	12	11	0	23
Punggung bawah	24	28	9	61
Pergelangan tangan	21	6	7	34
Pinggang/pinggul	26	24	19	69
Paha	23	11	4	38
Lutut	19	17	4	40
Telapak Kaki	14	11	4	29

Selanjutnya untuk mengetahui apakah dampak rasa sakit tersebut mempengaruhi konsentrasi belajar siswa di dalam kelas maka diperhitungkan juga pendapat siswa terhadap dampak rasa sakit terhadap pekerjaan yang direkapitulasikan pada Tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Rekapitulasi Perhitungan Dampak Rasa Sakit Terhadap Pekerjaan

Dampak	Jumlah
Terganggu	74
Tidak Terganggu	26
Total	100



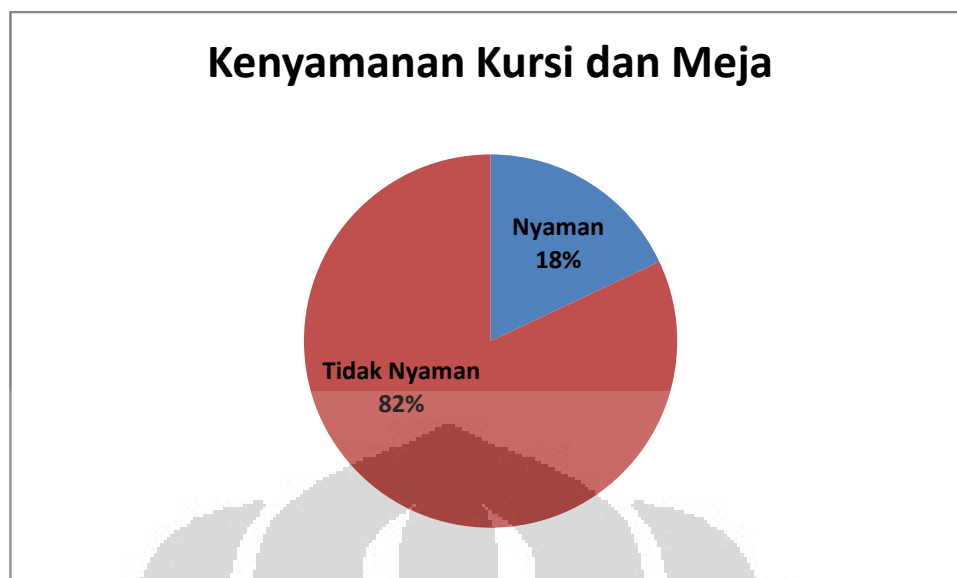
Gambar 3.4 Persentase Dampak Rasa Sakit Terhadap Pekerjaan

Setiap siswa setidaknya mempunyai satu keluhan pada bagian tubuhnya terkait dengan penggunaan meja dan kursi sekolah. Gambar 3.4 juga menunjukkan persentase masing-masing kategori siswa, baik yang merasakan sakit sebagai gangguan dan yang tidak merasakan rasa sakit sebagai gangguan. Apabila dilihat pada *Pie Chart* diatas, maka 74% siswa merasakan sakit tersebut sebagai gangguan dan 26% siswa merasa bahwa rasa sakit tersebut tidak mengganggu pekerjaan mereka.

Terakhir, identifikasi dilakukan untuk mengetahui pendapat siswa tentang meja dan kursi yang digunakan saat ini. Hal ini dapat dilihat dari pendapat siswa tentang kenyamanan kursi dan meja. Hasil identifikasi tingkat kenyamanan kursi dan meja disajikan dalam Tabel 3.4 dan Gambar 3.5 di bawah ini :

Tabel 3.4 Rekapitulasi Perhitungan Tingkat Kenyamanan Kursi dan Meja

Kenyamanan	Jumlah
Nyaman	18
Tidak Nyaman	82
Total	100



Gambar 3.5 Persentase Tingkat Kenyamanan Kursi dan Meja

Dari gambar di atas, 82% siswa merasa bahwa meja dan kursi yang mereka gunakan di sekolah tidak nyaman, sementara 18% siswa merasa kursi dan meja yang mereka gunakan sudah cukup nyaman. Persentase jumlah siswa yang menyatakan kursi dan meja yang digunakan tidak nyaman lebih besar daripada yang merasa nyaman. Hasil ini menunjukkan harus ada penelitian lebih lanjut agar kursi dan meja yang digunakan menjadi nyaman dalam proses belajar mengajar.

3.1.3. Data Bentuk dan Dimensi Kursi dan Meja

Berdasarkan pengamatan langsung pada saat kegiatan belajar mengajar di kelas, terlihat bahwa ada beberapa ketidakcocokan antara ukuran tubuh siswa dengan meja dan kursi yang digunakan. Dengan adanya hal ini, siswa melakukan berbagai macam cara seperti mendongak, membungkuk, mendorong tubuh ke depan dan berbagai cara lainnya yang berpotensi menyebabkan kelelahan pada tubuh siswa.

Desain kursi sekolah tersebut belum memiliki kemiringan sandaran punggung sehingga siswa atau penggunaanya tidak dapat menyenderkan punggungnya dalam posisi istirahat (rileks), dan siswa harus duduk tegak sepanjang proses belajar mengajar, hal ini juga berpotensi untuk menyebabkan kelelahan pada tubuh siswa.

Desain meja pun belum memiliki kemiringan meja sehingga dapat menyebabkan *flexion* yang berlebihan pada leher dan punggung, mengingat siswa harus membuat jarak yang minimal agar bisa jelas dalam membaca dan menulis, terutama ketika kecepatan dibutuhkan dalam menulis seperti pada saat mengerjakan ujian.

M.K Gouvali (2006) menyatakan terdapat 4 variabel penting yang harus diperhatikan dalam rancangan sebuah kursi, diantaranya *seat height* (tinggi dudukan), *seat width* (lebar dudukan), *seat depth* (kedalaman dudukan) dan *backrest height* (tinggi sandaran punggung). G. Panagitolou (2004) mengatakan bahwa *seat slope* (sudut kemiringan dudukan) juga merupakan variabel penting dari dimensi kursi. Stephen Pheasant (2003) menambahkan 1 variabel dalam dimensi kursi yaitu *backrest angle* (kemiringan sandaran punggung).

Sedangkan untuk menentukan dimensi meja yang baik, menurut M.K Gouvali (2006) adalah *desk height* (tinggi permukaan meja) dan *underneath desk height* (tinggi ruang di bawah meja). G. Pangitolou (2004) menyatakan bahwa *desk slope* (kemiringan permukaan meja) juga merupakan variabel yang penting.

Data ukuran meja dan kursi akan digunakan untuk membuat sebuah *virtual environment* dengan *software jack*. Selanjutnya akan di analisa, diantaranya adalah apakah ukuran meja dan kursi sudah nyaman dan sesuai dengan ukuran tubuh siswa. Tabel 3.5 adalah proyeksi kursi dan meja sekolah berdasarkan ukuran sebenarnya :

Tabel 3.5 Dimensi Ukuran Kursi dan Meja Aktual

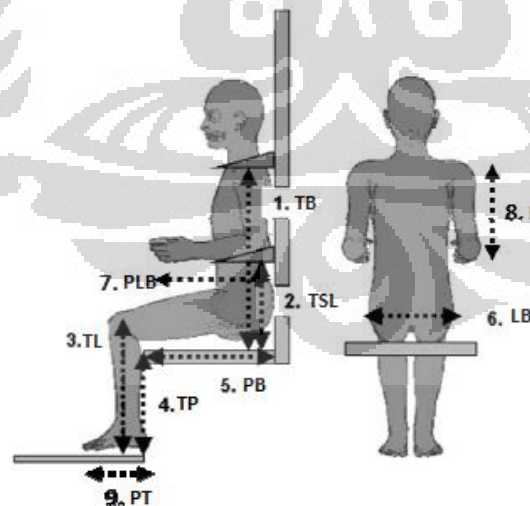
Dimensi Ukuran Kursi Aktual	Ukuran (cm)	Dimensi Ukuran Meja Aktual	Ukuran (cm)
Tinggi Dudukan	42	Tinggi Meja	72.5
Lebar Dudukan	41	Tinggi Laci Meja	16
Kedalaman Dudukan	45	Lebar Meja	54.5
Tinggi Sandaran Punggung	40.5	Tinggi Sandaran Kaki	10
		Panjang Meja	64.5

3.1.4. Data Antropometri Siswa

Data antropometri akan digunakan sebagai dasar pembuatan desain kursi dan meja sekolah yang ergonomis dan akan digunakan untuk membuat *virtual environment* dengan *software* jack dengan berbagai macam konfigurasi. Data yang diambil merupakan data dengan dua posisi yang berbeda yaitu :

1. Posisi duduk bersandar dengan sudut antara paha dan batang tubuh 90 derajat. Ada 9 jenis ukuran tubuh yang diukur dalam posisi ini yaitu : tinggi bahu, tinggi pinggul, tinggi lutut, tinggi popliteal, popliteal-buttock, panjang lengan atas, panjang lengan bawah dan panjang telapak kaki.
2. Data yang diukur dalam posisi berdiri tegak, yaitu lebar bokong dan tinggi badan.

Dalam pengambilan data antropometri ini tidak dilakukan pemisahan terhadap siswa laki-laki dan perempuan, karena dalam usia ini tidak ada perbedaan ukuran yang signifikan antara siswa laki-laki dan perempuan. Dalam literatur yang dijadikan pedoman juga tidak ada pemisahan antara jenis kelamin atau komposisi tertentu, sehingga data dalam perbandingan komposisi apapun antara siswa laki-laki dan perempuan dapat diterima.



Gambar 3.6 Posisi Pengambilan Data Antropometri

Sumber : Gouvali M.K and K. Boudolos. 2006. Match Between School Furniture and Children's Anthropometry. *Applied Ergonomics* 37 p.765-773

Keterangan :

1. TB = Tinggi Bahu
2. TSL = Tinggi Sandaran Lengan
3. TL = Tinggi Lutut
4. TP = Tinggi Popliteal
5. PB = Panjang Popliteal-Buttock
6. LB = Lebar Bokong
7. PLA = Panjang Lengan Atas
8. PLB = Panjang Lengan Bawah
9. PT = Panjang Telapak Kaki

Ada beberapa hal terkait pengambilan data antropometri yang harus diperhatikan (Parcells et al., 1999) :

1. Responden yang diukur diusahakan tidak menggunakan pakaian yang tebal seperti jaket dan juga alas kaki agar tidak terjadi ketidak akuratan pengukuran
2. Postur tubuh yang diukur harus tepat, yaitu postur duduk tegak bersandar 90 derajat pada permukaan kursi yang rata dan juga postur tubuh berdiri pada permukaan yang rata.

3.2. Uji Normalitas Data

Uji Normalitas data dilakukan sebelum data diolah berdasarkan model-model penelitian yang diajukan. Uji normalitas data bertujuan untuk mendeteksi distribusi data dalam suatu variabel yang akan digunakan dalam penelitian. Data yang baik dan layak untuk membuktikan model-model penelitian tersebut adalah data yang memiliki distribusi normal.

Metode klasik dalam pengujian normalitas suatu data tidak begitu rumit. Berdasarkan pengalaman empiris beberapa pakar statistic, data yang banyaknya lebih dari 30 angka ($n > 30$), maka sudah dapat dipastikan berdistribusi normal. Namun, untuk memberikan kepastian, maka dilakukan uji statistik normalitas.

Ada bermacam-macam cara untuk mendeteksi normalitas distribusi data, salah satunya menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Konsep dasar dari uji normalitas Kolmogorov Smirnov adalah dengan membandingkan distribusi data (yang akan diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku. Hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut:

- H_0 : Data X berdistribusi normal.
- H_1 : Data X tidak berdistribusi normal.

Pengambilan keputusan:

Jika $\text{Sig.}(p) > 0,05$ maka H_0 diterima

Jika $\text{Sig.}(p) < 0,05$ maka H_0 ditolak.

Dalam penelitian ini, yang diuji normalitasnya adalah data antropometri siswa. Data keluhan muskuloskeletal hanya sebagai studi awal untuk memperkuat latar belakang masalah dan data ukuran meja dan kursi actual untuk menggambarkan keadaan yang terjadi saat ini. Berikut merupakan jumlah missing data dari data antropometri yang telah diambil oleh peneliti, dari 10 variabel yang masing-masing memiliki 100 data, dapat dilihat pada Tabel 3.6 bahwa tidak ada data yang hilang (missing data).

Tabel 3.6 Case Processing Summary Data Antropometri

	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Tinggi_Bahu	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Tinggi_Sandaran_Lengan	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Tinggi_Lutut	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Tinggi_Popliteal	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Panjang_Popliteal_Buttock	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Panjang_Telapak_Kaki	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Panjang_Lengan_Bawah	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Panjang_Lengan_Atas	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Lebar_Bokong	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%
Tinggi_Badan	100	100.0%	0	.0%	100	100.0%

Setelah data sudah lengkap dan tidak ada data yang hilang, maka selanjutnya dilakukan perhitungan uji normalitas data antropometri pada tabel 3.7 di bawah ini:

Universitas Indonesia

Tabel 3.7 Hasil Uji Normalitas Data Antropometri

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tinggi_Bahu	.079	100	.122	.993	100	.860
Tinggi_Sandaran_Lengan	.061	100	.200'	.981	100	.149
Tinggi_Lutut	.079	100	.125	.972	100	.032
Tinggi_Popliteal	.079	100	.131	.980	100	.142
Panjang_Popliteal_Buttock	.078	100	.134	.981	100	.145
Panjang_Telapak_Kaki	.088	100	.052	.965	100	.010
Panjang_Lengan_Bawah	.086	100	.066	.989	100	.567
Panjang_Lengan_Atas	.087	100	.060	.980	100	.135
Lebar_Bokong	.067	100	.200'	.982	100	.195
Tinggi_Badan	.082	100	.093	.926	100	.000

Berdasarkan hasil uji normalitas data antropometri yang telah dilakukan, dapat dilihat pada kolom signifikansi (Sig.) pada bagian Kolomov-Smirnov bahwa semua variabel yang diuji memiliki nilai lebih dari 0,05. Dengan hasil tersebut, maka data antropometri yang diambil sudah terdistribusi normal dan dapat mewakili populasi sehingga data ini dapat diolah lebih lanjut.

3.3. Pengolahan Data

3.3.1. Penentuan Persentil 5, 50 dan 95

Dalam melakukan pengolahan data diperlukan beberapa nilai-nilai yang terkait dalam kebutuhan penelitian. Diantaranya adalah nilai rata-rata (*mean*), nilai terkecil (*min*), nilai terbesar (*max*), serta nilai persentil 5, 50 dan 95. Nilai-nilai ini akan dijadikan acuan untuk menentukan ukuran dimensi kursi dan meja sekolah usulan.

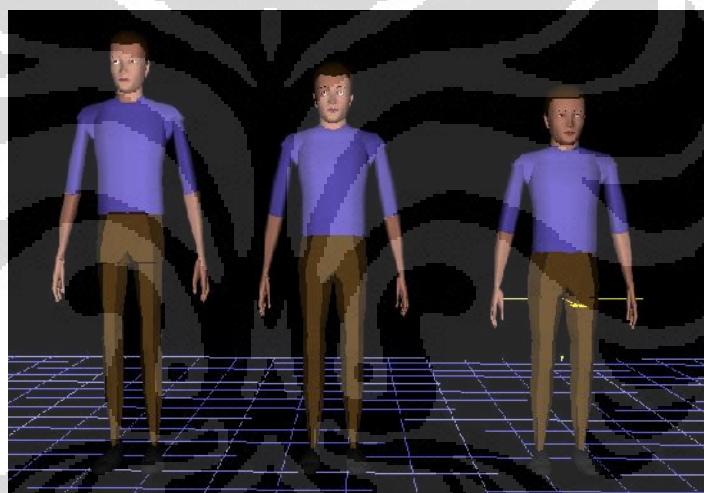
Data ukuran tubuh tiap persentil dibutuhkan untuk memasukkan nilai dimensi ukuran tubuh pada *software* jack sehingga akan terbentuk tiga buah *virtual human model* dengan ukuran tubuh yang berbeda-beda. Tiga *virtual human model* ini merupakan representasi dari populasi siswa berdasarkan data antropometri persentil 5, 50 dan 95 dan akan dievaluasi postur duduknya menggunakan metode PEI. Dari data antropometri maka didapatkan nilai maksimum, minimum, mean dan persentil data antropometri seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 di bawah ini:

Universitas Indonesia

Tabel 3.8 Nilai Maksimum, Minimum, *Mean* dan Persentil Data Antropometri

Dimensi	MAX	MIN	MEAN	PERS 5	PERS 50	PERS 95
Tinggi Bahu (TB)	57.8	41.3	50.079	45.195	50.4	55.01
Tinggi Sandaran Lengan (TSL)	23.4	14.5	18.151	15.285	18	21.705
Tinggi Lutut (TL)	54	43.4	48.244	45.15	48.05	53.2
Tinggi Popliteal (TP)	45.4	31	38.481	34.95	38.45	42.215
Panjang Popliteal-Buttock (PB)	59.1	43.9	51.629	47.79	51.15	56.515
Panjang Telapak Kaki (PT)	29.2	21.1	26.252	23.895	26.3	28.4
Panjang Lengan Bawah (PLB)	47.3	35.4	41.747	38.08	42	45.81
Panjang Lengan Atas (PLA)	37.4	27.8	32.232	29.4	32.1	35.71
Lebar Bokong (LB)	33.6	22.1	27.803	24.085	27.9	32.4
Tinggi Badan (TBd)	172.5	146.3	156.36	146.5	155.5	167.54

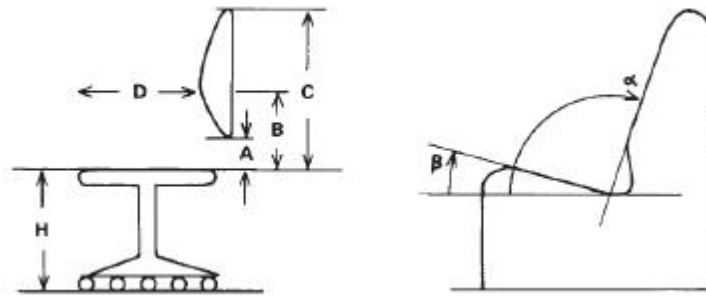
Dari nilai tiap persentil data antropometri maka dibuatlah model manusia virtual pada software jack seperti pada Gambar 3.7 di bawah ini:

**Gambar 3.7** *Virtual Human Model* Persentil 5, 50 dan 95

3.3.2. Penentuan Dimensi dan Persentil dari Desain Usulan

Model desain usulan kursi yang akan dibuat ini mengacu pada gabungan metode *design for extreme* yang menggabungkan ukuran antropometri dari siswa dengan persentil 5 dan 95 dengan metode desain untuk ukuran rata-rata yang menggunakan data siswa persentil 50. Kedua metode ini digabungkan demi memperoleh desain terbaik.

A. Kursi



Gambar 3.8 Penampang Kursi

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

Berikut ini merupakan variabel penting beserta parameter yang harus dipenuhi dalam membuat dimensi desain usulan kursi sekolah, beserta acuan data antropometri yang digunakan :

1. Tinggi dudukan (*Seat Height*)

Tinggi dudukan (H pada gambar) harus lebih rendah dari tinggi *popliteal* siswa dan dapat memenuhi kriteria berikut ini :

- Kaki bagian bawah harus dapat membentuk sudut antara 5-30° relatif terhadap vertikal.
- Sudut antara paha dan tubuh adalah sekitar 95-120°. Dalam kasus ini, kita akan menambahkan 2 cm pada tinggi *popliteal* yang diperoleh sebagai tambahan dari tinggi sepatu yang digunakan siswa.

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

2. Tinggi Sandaran (*Backrest Height*)
Tinggi sandaran harus dapat menahan 60-80% dari tinggi bahu siswa ketika duduk. Tinggi sandaran kursi akan dihitung menggunakan acuan tinggi bahu siswa dengan persentil 95. Hal ini dimaksudkan agar sandaran ini dapat menopang punggung siswa dengan ukuran tubuh persentil 5, 50 maupun 95. Dengan mengambil patokan persentil 95, yang merupakan persentil dengan ukuran tubuh terbesar, pasti siswa dengan ukuran tubuh persentil 5 dan 50 juga dapat terpenuhi kebutuhannya.
3. Lebar Dudukan (*Seat Width*)
Lebar dudukan harus 10-30% lebih besar dari lebar bokong siswa. Hal ini dimaksudkan untuk *allowance space* bagi siswa saat duduk. Acuan untuk menghitung lebar dudukan kursi usulan menggunakan lebar bokong (*hip breadth*) untuk persentil 95. Dengan mengambil acuan lebar bokong dengan ukuran ekstrem atas, maka lebar dudukan ini juga pasti akan cukup untuk siswa dengan persentil 5 dan 50.
4. Kedalaman Dudukan (*Seat Depth*)
Menurut Parcels et al. (1999) kedalaman dudukan (D pada gambar) yang tepat adalah antara 80-99% dari panjang popliteal-buttock, agar ujung dudukan tidak menekan ke bagian betis atas siswa. Kedalaman dudukan untuk desain usulan dihitung dengan menggunakan acuan panjang *popliteal-buttock* dari siswa dengan persentil 50. Pertimbangannya adalah bahwa kedalaman dudukan ini tidak boleh terlalu lebar karena ujung dudukan akan menekan ke bagian betis pengguna, demikian juga tidak boleh terlalu sempit karena akan menekan bagian bawah dari paha pengguna.
5. Kemiringan Dudukan (*Seat Angle*)
Menurut Bendix et al., (1983) kemiringan dudukan (β pada gambar) yang baik adalah antara 5 – 10 derajat.
6. Kemiringan Sandaran (*Backrest Angle*)
Menurut Pheasant (2003) kemiringan sandaran kursi (α pada gambar) yang baik adalah sekitar 100-110 derajat dihitung dari posisi horizontal.

Tabel 3.9 merupakan kesimpulan rumus yang terbaik untuk menentukan dimensi kursi yang terbaik untuk tiap variabel pembentuknya :

Tabel 3.9 Rumus Perhitungan Dimensi Kursi

Variabel	Rumus	Persentil
Tinggi Dudukan (Seat Height)	$(TP+2) \cos 30^\circ \leq SH \leq (TP+2) \cos 5^\circ$	Persentil 50
Tinggi Sandaran (Backrest Height)	$0.6 TB \leq BH \leq 0.8 TB$	Persentil 95
Lebar Dudukan (Seat Width)	$1.1 LB \leq SW \leq 1.3 LB$	Persentil 95
Kedalaman Dudukan (Seat Depth)	$0.8 PB \leq SD \leq 0.99 PB$	Persentil 50
Kemiringan Dudukan (Seat Angle)	$5-10^\circ$	Persentil 95
Kemiringan Sandaran (Backrest Angle)	$100-110^\circ$	Persentil 50

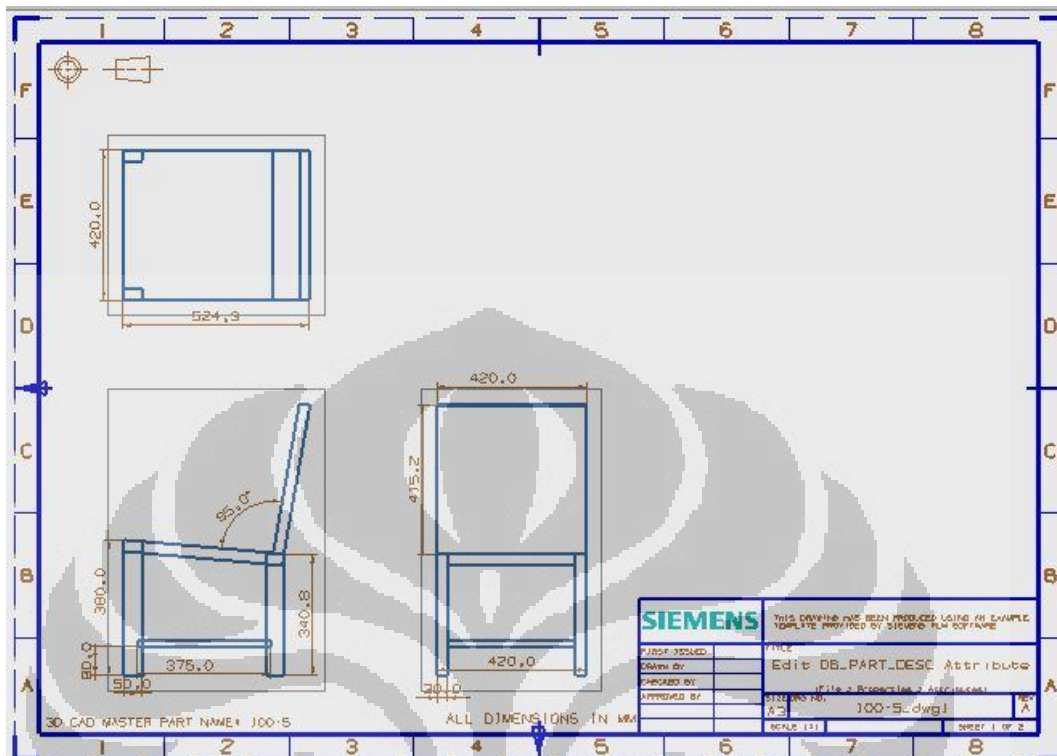
Selanjutnya dari rumus di atas, dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai maksimum dan minimum dimensi untuk desain kursi usulan yang terdapat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Nilai Maksimum dan Minimum Dimensi Kursi Usulan

Kursi	Nilai Minimum (cm)	Nilai Maksimum (cm)
Tinggi Dudukan (Seat Height)	35	40
Lebar Dudukan (Seat Width)	35.6	42.1
Kedalaman Dudukan (Seat Depth)	40.9	50.6
Tinggi Sandaran (Backrest Height)	33	44
Kemiringan Dudukan (Seat Angle)	5°	10°
Kemiringan Sandaran (Backrest Angle)	100°	110°

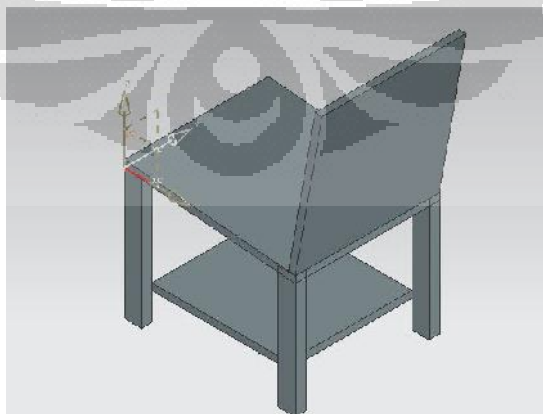
Dimensi desain usulan untuk tinggi dudukan, lebar dudukan, kedalaman dudukan dan tinggi sandaran menggunakan dimensi nilai maksimum. Sedangkan untuk kemiringan dudukan akan diubah setiap kelipatan 5 derajat dan kemiringan sandaran akan diubah setiap kelipatan 10 derajat sebagai konfigurasi untuk desain

usulan. Gambar 3.9 merupakan desain usulan kursi sesuai dimensi pada Tabel 3.10 :



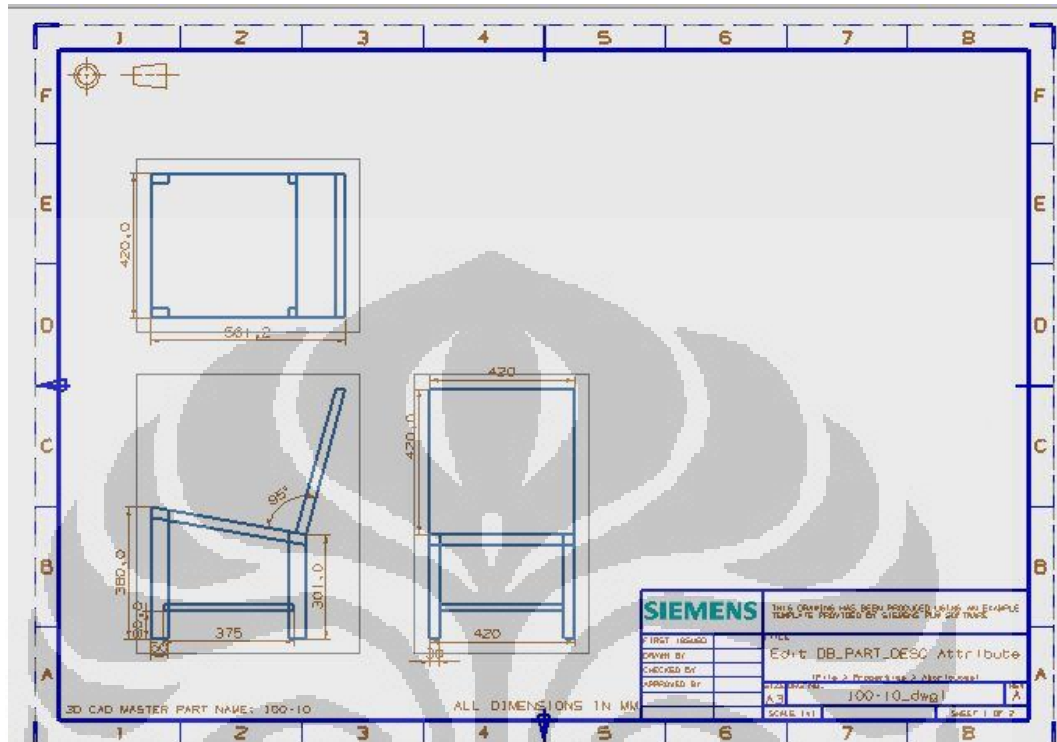
Gambar 3.9 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 1
(Kemiringan Sandaran 100° dan Kemiringan Dudukan 5°)

Gambar 3.10 merupakan gambar 3 dimensi dari desain usulan kursi 1 yaitu desain kursi dengan kemiringan sandaran kursi sebesar 100 derajat dan kemiringan dudukan kursi sebesar 5 derajat.



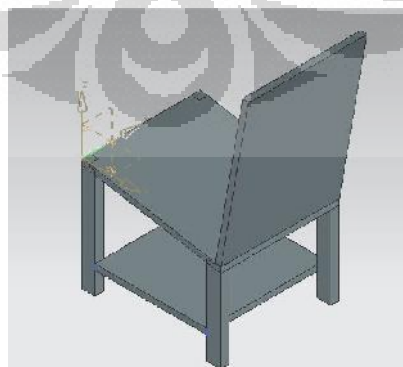
Gambar 3.10 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 1

Gambar 3.11 merupakan tampak atas, tampak samping dan tampak depan dari desain kursi usulan 2 dengan kemiringan sandaran kursi sebesar 100 derajat dan kemiringan dudukan kursi sebesar 5 derajat.



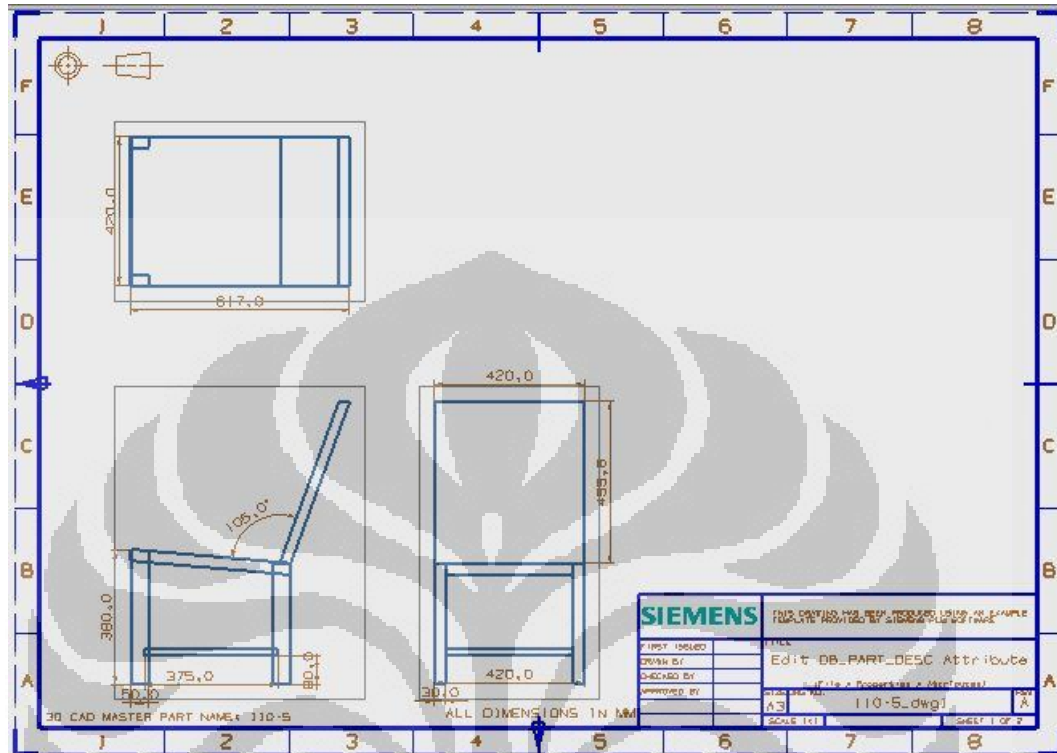
Gambar 3.11 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 2
(Kemiringan Sandaran 100° dan Kemiringan Dudukan 10°)

Gambar 3.12 merupakan gambar 3 dimensi dari desain usulan dengan kemiringan sandaran dudukan sebesar 100 derajat dan kemiringan dudukan kursi sebesar 10 derajat.



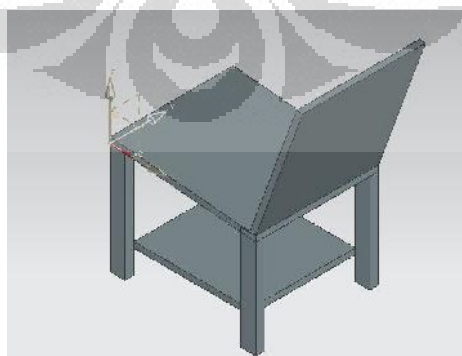
Gambar 3.12 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 2

Desain kursi yang ketiga adalah desain dengan kemiringan sandaran kursi sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan kursi sebesar 5 derajat. Gambar 3.13 merupakan tampak atas, samping dan depan dari desain usulan kursi 3.



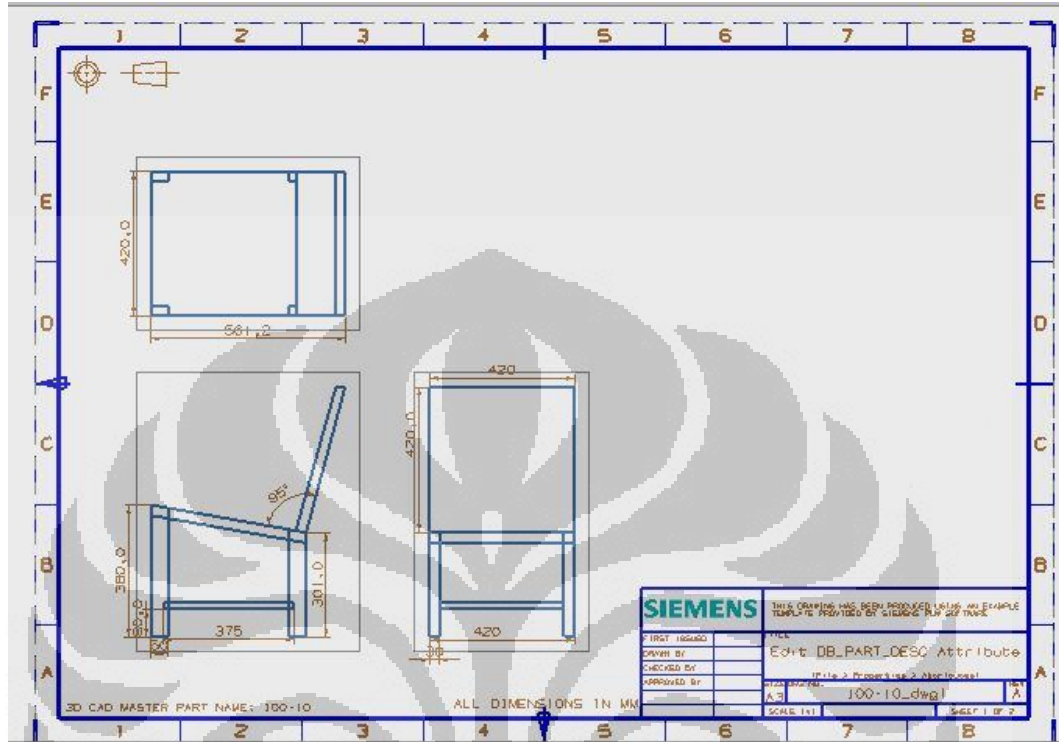
Gambar 3.13 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 3
(Kemiringan Sandaran 110° dan Kemiringan Dudukan 5°)

Gambar 3.14 merupakan gambar 3 dimensi dari desain usulan kursi 3 dengan kemiringan sandaran kursi sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan kursi sebesar 5 derajat.



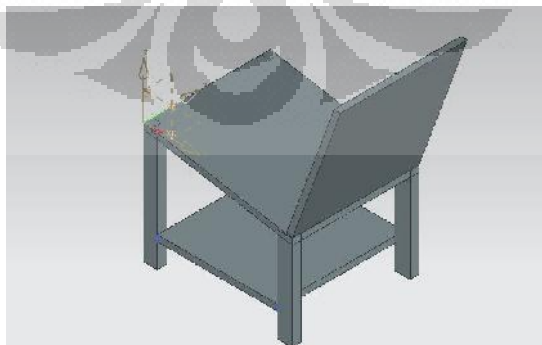
Gambar 3.14 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 3

Desain kursi usulan yang terakhir merupakan desain kursi dengan kemiringan sandaran dudukan sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan sebesar 10 derajat yang dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut ini:



Gambar 3.15 Tampak Atas, Samping dan Depan Usulan Kursi 4 (Kemiringan Sandaran 110° dan Kemiringan Dudukan 10°)

Gambar 3.16 merupakan gambar 3 dimensi dari desain usulan kursi keempat dengan kemiringan sandaran kursi sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan kursi sebesar 10 derajat.



Gambar 3.16 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Kursi 4

B. Meja

Variabel penting beserta parameter yang harus dipenuhi dalam membuat dimensi desain usulan meja sekolah, beserta acuan data antropometri yang digunakan sebagai berikut:

1. Tinggi Meja (*Desk Height*)

Tinggi meja harus disesuaikan dengan tinggi siku dalam keadaan 90 derajat. Maka tinggi meja minimum harus dihitung pada saat siku siswa tidak mengalami *flexion* dan *abduction*, sementara tinggi maksimum harus dihitung pada saat siku siswa mengalami *flexion* 25 derajat dan *abduction* 20 derajat.

Tinggi meja ini dihitung dengan menggunakan acuan tinggi siku siswa persentil 95 ketika duduk. Siswa dengan persentil 95 memiliki lengan atas yang lebih panjang dibandingkan dengan persentil 5 ataupun 50. Tinggi meja ini disesuaikan dengan tinggi siku siswa agar tangan siswa tidak menekuk secara berlebihan saat menulis. Apabila menggunakan persentil 5 ataupun 50 sebagai patokan, maka terdapat kemungkinan bahwa siswa dengan persentil 95 yang memiliki siku lebih panjang harus lebih menekuk tangannya dengan lebih tinggi ketika menulis. Dengan demikian apabila tinggi meja sudah sesuai dengan tinggi siku persentil 95 maka tinggi meja ini akan ergonomis untuk siswa dengan persentil 5, 50 maupun 95.

2. Tinggi Sandaran Kaki

Belum ada literatur yang membahas mengenai parameter tinggi sandaran kaki yang baik. Namun yang dapat ditemukan adalah bahwa ruang yang tersedia di bawah meja harus cukup untuk tinggi lutut siswa, dengan demikian lutut siswa tidak akan menekan bagian bawah kursi. Maka dari itu tinggi sandaran harus disesuaikan agar masih ada ruang yang cukup bagi tinggi lutut siswa ditambah sekitar 2-5 cm untuk *space* pergerakan kaki.

Tinggi sandaran kaki dihitung dengan menggunakan acuan tinggi lutut siswa dengan persentil 95. Sandaran kaki ini dimaksudkan untuk menopang kaki siswa pada saat menulis sehingga berat tubuh siswa tidak

semuanya tertumpu pada bagian bokong. Dengan demikian, sandaran kaki ini harus disesuaikan tingginya agar bisa dipijak oleh siswa dengan persentil 5, 50 maupun 95. Acuan tinggi lutut siswa dengan persentil 95 dimaksudkan agar sandaran kaki ini tidak terlalu tinggi karena sandaran kaki yang terlalu tinggi akan menyebabkan bagian lutut dan paha siswa menekan ke bawah meja.

3. Lebar Sandaran Kaki

Untuk variabel lebar sandaran kaki juga belum ditemukan parameter terbaiknya. Pada penelitian ini, penulis menggunakan data panjang telapak kaki siswa untuk menetapkan parameter lebar sandaran kaki. Ukuran lebar sandaran kaki menggunakan acuan panjang telapak kaki persentil 95. Persentil 95 memiliki panjang telapak kaki yang paling besar, sehingga apabila lebar sandaran kaki sudah bisa mengakomodir panjang telapak kaki siswa dengan persentil 95 maka secara langsung persentil 5 dan 50 juga akan terakomodir.

4. Tinggi Ruang di Bawah Meja

Tinggi ruang di bawah meja harus terdapat ruang yang cukup dibawah meja untuk kaki siswa, sehingga siswa dengan persentil 95 yang memiliki tinggi lutut yang paling besar dijadikan acuan untuk menetapkan tinggi ruang dibawah meja yang ergonomis. Tinggi ruang dibawah meja (tinggi lantai ke bawah laci meja) yang paling tepat berdasarkan Parcels et al., (1999) and Poulakakis (1998) adalah dengan memberikan kelebihan sekitar 2-5 cm dari tinggi lutut.

5. Kemiringan Permukaan Meja

Menurut Mandal (1982) kemiringan permukaan meja yang paling baik adalah 20 derajat. Sedangkan menurut Wal et.al duduk dengan kemiringan meja 10 derajat juga menghasilkan psotur tubuh yang baik.

Kesimpulan rumus yang terbaik untuk menentukan dimensi kursi yang terbaik untuk tiap variabel pembentuknya terdapat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Rumus Perhitungan Dimensi Meja

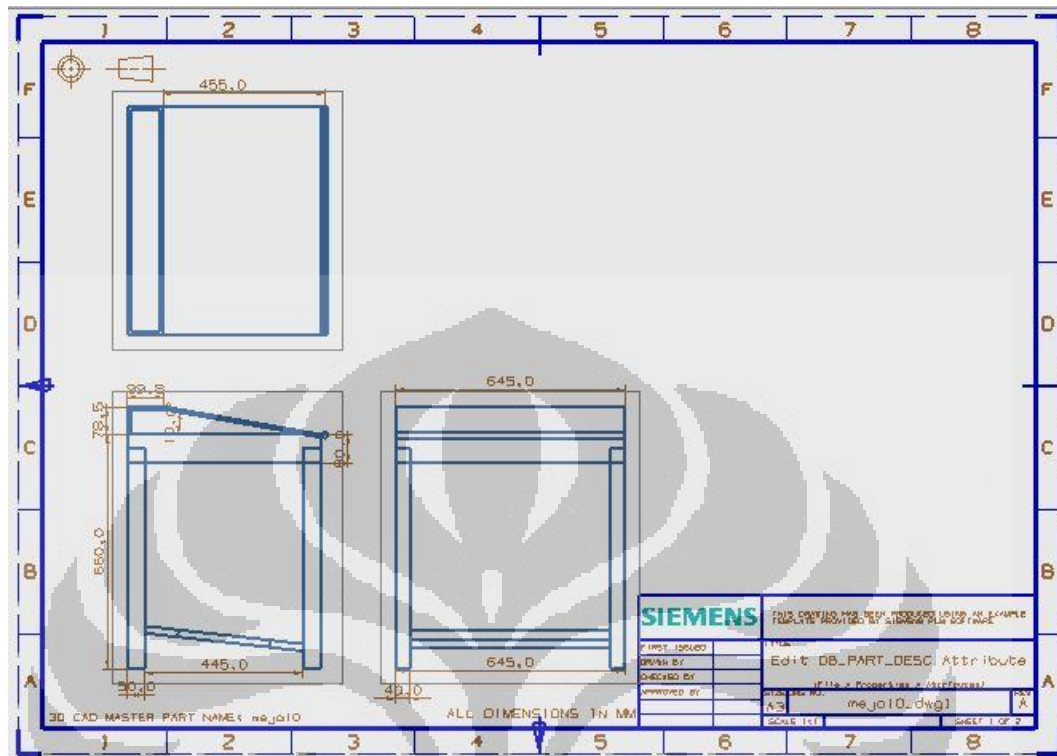
Variabel	Rumus	Persentil
Tinggi Meja (Desk Height)	$(TSL)+[(TP+2) \cos 30^\circ] \leq DH$ $\leq [(TP+2) \cos 5^\circ]+[(TSL)0.8517]$ $+[(TB)0.1483]$	Persentil 95
Tinggi Sandaran Kaki	UD-TL	Persentil 95
Lebar Sandaran Kaki	PT	Persentil 95
Tinggi Ruang di Bawah Meja (Underneath Desk Height)	$(TL+2)+2 \leq UD \leq [(TPop+2) \cos 5^\circ]+((TB-PLA)0.852)+((TB)0.1483)]$	Persentil 95
Kemiringan Permukaan Meja	10°-20°	-

Dimensi desain usulan untuk tinggi meja, tinggi sandaran kaki, lebar sandaran kaki dan tinggi ruang di bawah meja menggunakan dimensi nilai maksimum. Sedangkan untuk kemiringan meja akan dibuat 10 derajat dan 20 derajat sebagai konfigurasi untuk desain usulan. Selanjutnya berdasarkan rumus pada Tabel 3.11, dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai maksimum dan minimum dimensi untuk desain meja usulan yang terdapat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Nilai Maksimum dan Minimum Dimensi Meja Usulan

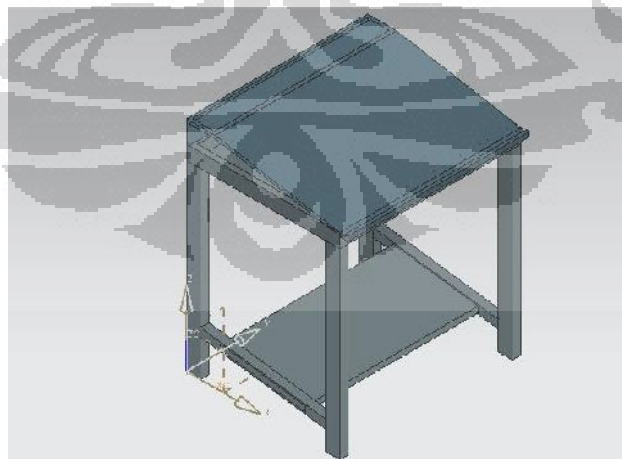
Meja	Nilai Minimum (cm)	Nilai Maksimum (cm)
Tinggi Meja (Desk Height)	60	70.7
Tinggi Sandaran Kaki	4	13.5
Lebar Sandaran Kaki	30	30
Kemiringan Permukaan Meja	10°	20°
Tinggi Ruang Di bawah Meja (Underneath Desk Height)	57.2	66.7

Gambar 3.17 merupakan tampak atas, depan dan samping dari desain usulan meja 1 dengan kemiringan meja sebesar 10 derajat.



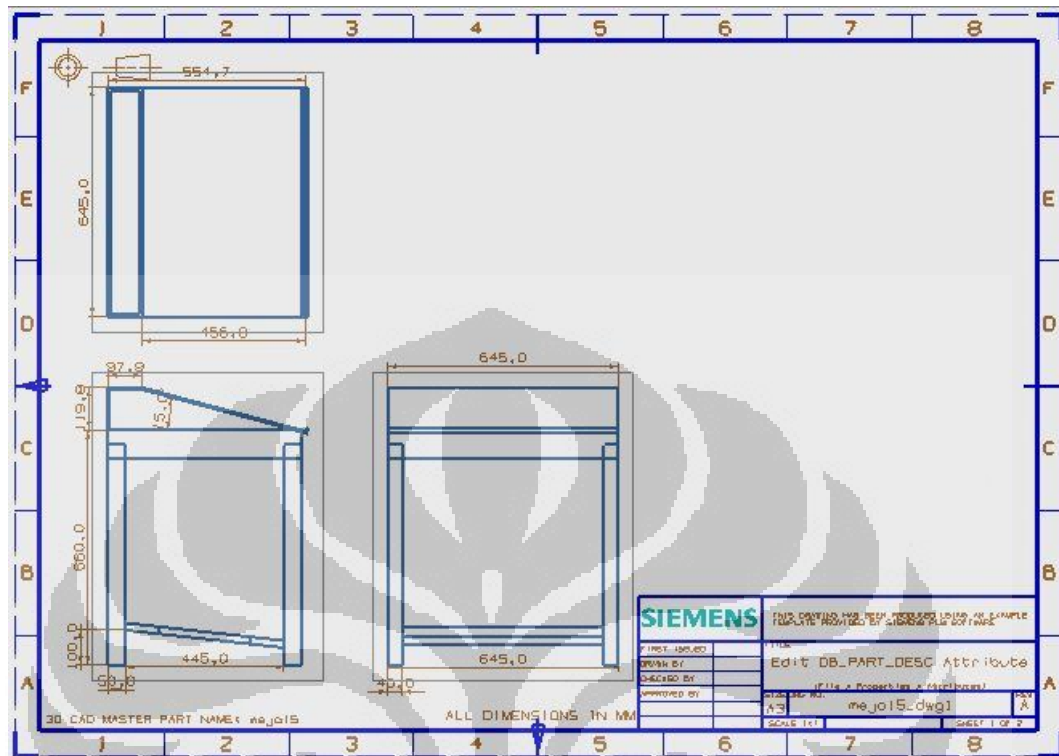
Gambar 3.17 Tampak Atas, Samping dan Depan Meja 1 (Kemiringan Meja 10°)

Gambar 3 dimensi dari desain usulan meja 1 dengan kemiringan meja sebesar 10 derajat dapat dilihat pada Gambar 3.18 di bawah ini:



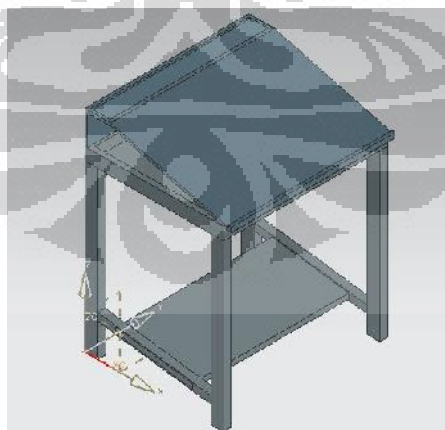
Gambar 3.18 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Meja 1

Tampak samping, depan dan atas dari desain usulan meja dengan kemiringan permukaan sebesar 15 derajat dapat dilihat pada Gambar 3.19.



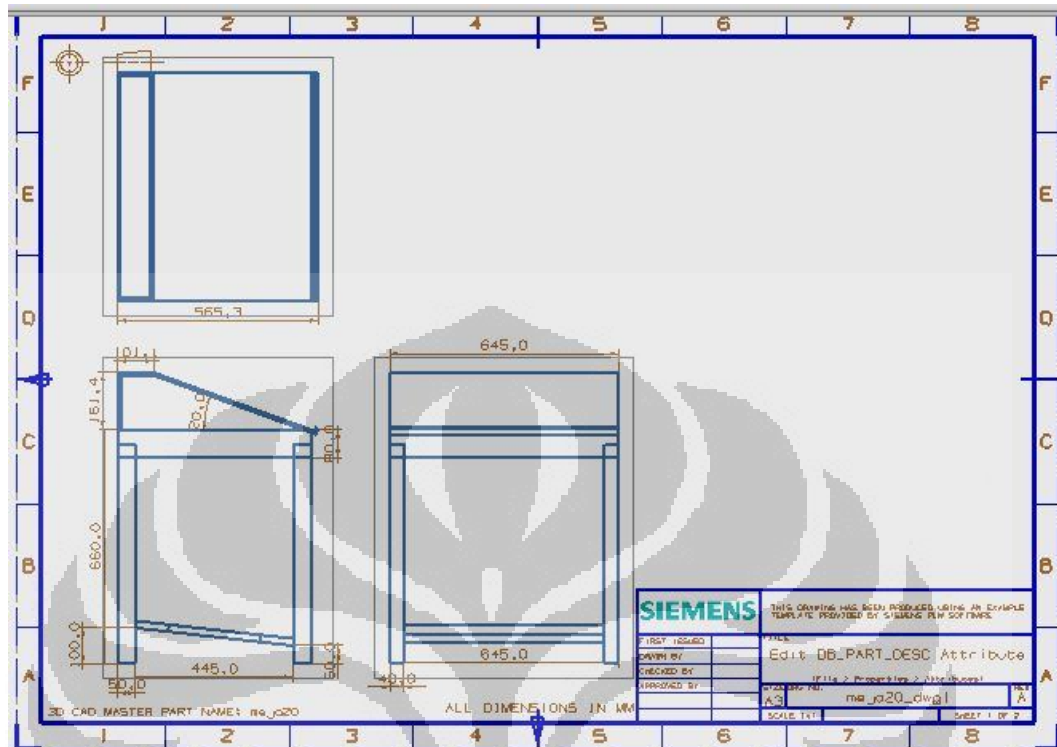
Gambar 3.19 Tampak Atas, Samping dan Depan Meja 2 (Kemiringan Meja 10°)

Gambar 3 dimensi dari desain usulan meja 2 dengan kemiringan permukaan sebesar 15 derajat dapat dilihat pada Gambar 3.20 di bawah ini:



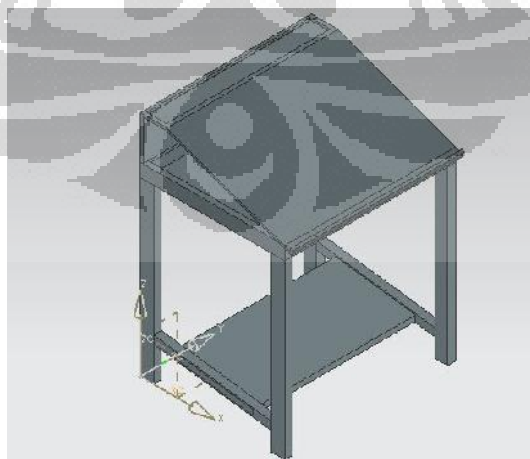
Gambar 3.20 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Meja 2

Desain usulan meja terakhir merupakan desain usulan dengan kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat seperti pada Gambar 3.21 berikut:



Gambar 3.21 Tampak Atas, Samping dan Depan Meja 3 (Kemiringan Meja 20°)

Gambar 3. 22 merupakan gambar 3 dimensi dari desain usulan meja yang ketiga dengan kemiringan permukaan sebesar 20 derajat.



Gambar 3.22 Tampak 3 Dimensi Desain Usulan Meja 3

3.4. Perancangan Model Simulasi Postur Duduk

3.4.1. Penentuan Konfigurasi

Postur tubuh yang akan diteliti adalah posisi menulis, hal ini dikarenakan siswa lebih banyak dalam posisi menulis saat di dalam kelas. Postur juga melibatkan gerakan anggota tubuh lebih banyak dan lebih aktif sehingga akan memiliki kemungkinan untuk menimbulkan rasa sakit yang lebih besar apabila dilakukan dalam postur yang salah. Selain itu dari hasil pengamatan langsung di dalam kelas, posisi menulis lebih banyak dilakukan oleh siswa.

Modul simulasi postur duduk ini akan dibuat dalam sebuah *virtual environment* menggunakan *software Jack*. Pertama, model simulasi postur duduk akan dilakukan dengan desain kursi dan meja aktual. Selanjutnya, model simulasi postur duduk akan dilakukan dengan meja dan kursi usulan. Variabel yang akan diubah dalam desain usulan kursi yang diberikan adalah kemiringan dudukan dan kemiringan sandaran. Sementara untuk desain usulan kursi, variabel yang akan diubah adalah sudut kemiringan dudukan, kemudian variabel-variabel ini akan menghasilkan beberapa model dalam *virtual environment*, yang disebut sebagai konfigurasi. Masing-masing konfigurasi ini akan diujikan ke siswa dengan persentile 5 dan 95 untuk menguji kecocokannya dengan ukuran tubuh siswa dalam *range* ekstrem.

Untuk konfigurasi menggunakan desain kursi dan meja aktual terdapat dua konfigurasi yang akan dibuat yang dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Konfigurasi Menggunakan Meja dan Kursi Aktual

No	Konfigurasi	Persentil	Desain kursi	Desain meja
1	1A	5	Aktual	Aktual
2	1B	95	Aktual	Aktual

Untuk konfigurasi menggunakan desain kursi dan meja usulan terdapat 24 konfigurasi yang akan dibuat yang dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut ini:

Tabel 3.14 Konfigurasi Menggunakan Desain Kursi dan Meja Usulan

No	Konfigurasi	Persentil	Kemiringan dudukan	Kemiringan sandaran	Kemiringan permukaan meja
1	2A	5	5	100	10
2	2B	95	5	100	10
3	2C	5	5	100	15
4	2D	95	5	100	15
5	2E	5	5	100	20
6	2F	95	5	100	20
7	3A	5	5	110	10
8	3B	95	5	110	10
9	3C	5	5	110	15
10	3D	95	5	110	15
11	3E	5	5	110	20
12	3F	95	5	110	20
13	4A	5	10	100	10
14	4B	95	10	100	10
15	4C	5	10	100	15
16	4D	95	10	100	15
17	4E	5	10	100	20
18	4F	95	10	100	20
19	5A	5	10	110	10
20	5B	95	10	110	10
21	5C	5	10	110	15
22	5D	95	10	110	15
23	5E	5	10	110	20
24	5F	95	10	110	20

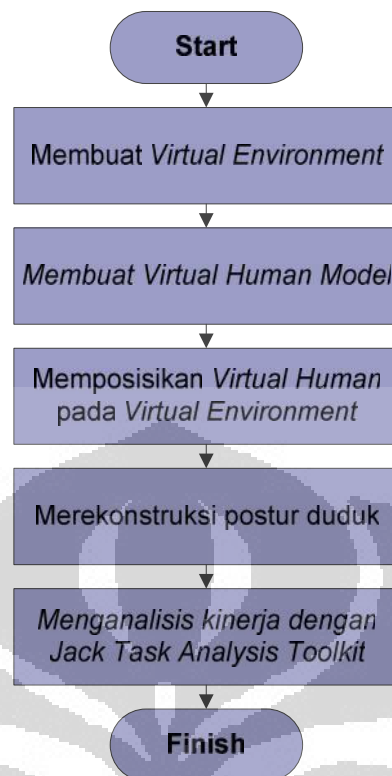
Konfigurasi usulan yang dilakukan harus memenuhi persentil ukuran tubuh yang ekstrem, yaitu persentil 5 dan 95 agar dapat memenuhi atau menguji populasi siswa yang menggunakan kursi sekolah. Tidak ada pemisahan jenis kelamin yang dilakukan, karena tidak ada perbedaan data antropometri yang signifikan antara siswa laki-laki dan perempuan.

Pheasant dalam buku *Bodyspace* menyatakan bahwa kursi yang baik untuk kesehatan punggung manusia adalah yang memiliki kemiringan sandaran antara 100 sampai 110 derajat. Sedangkan Bendix et al. (1983) mengatakan bahwa kursi harus memiliki kemiringan yang naik sebesar 5 sampai 10 derajat di bagian depan. Mandal (1982) mengatakan bahwa sudut kemiringan meja yang baik adalah 0-20 derajat, sementara Wall et.al telah mengatakan bahwa duduk dengan kemiringan meja 10 derajat menghasilkan postur tubuh yang lebih baik dibandingkan pada meja yang datar. Dengan adanya pernyataan-pernyataan tersebut, dikonfigurasi kemiringan meja menjadi tiga jenis yaitu 10, 15 dan 20 derajat. Dari berbagai macam kombinasi tersebut, maka terbentuklah 24 macam konfigurasi yang akan dibuat dalam *virtual environment*.

3.4.2. Alur Pembuatan Model

Pembuatan model *virtual environment* memerlukan langkah-langkah yang tepat agar model yang dibuat bisa benar-benar merepresentasikan keadaan nyata. Dalam pembuatan model tersebut, terdapat lima langkah kerja yang harus dilakukan :

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



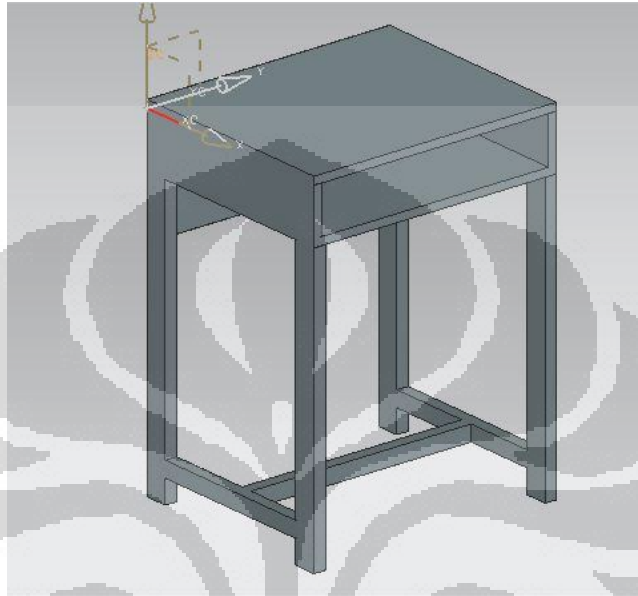
Gambar 3.23 Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi

A. Pembuatan Virtual Environment

Pembuatan *virtual environment* dilakukan dengan menggunakan *software Jack*. Namun untuk menciptakan objek-objek *virtual environment* dengan ukuran yang tepat merepresentasikan ukuran di dunia nyata seperti pada pembuatan desain meja dan kursi baik dalam keadaan aktual maupun usulan maka dibutuhkan bantuan *software UGS NX 6.0*. Di dalam *software* ini kita dapat membuat kursi dan meja dengan ukuran dan spesifikasi yang telah disesuaikan dengan ukuran sebenarnya hingga menghasilkan gambaran yang paling mendekati kenyataan.

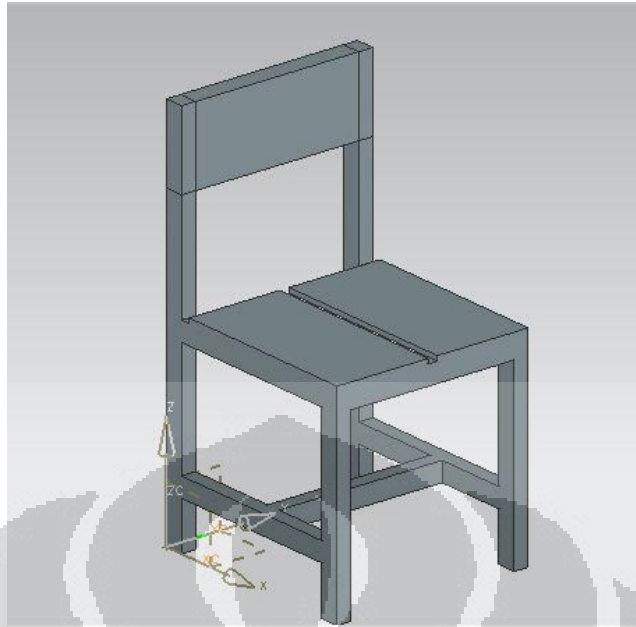
Setelah membuat model menggunakan *software UGS NX 6.0*, model kursi dan meja yang berada dalam format NX Files (*.prt) harus diterjemahkan kedalam format IGES (*.igs) agar kemudian dapat di-*import* kedalam *software Jack*. Pengubahan format ini dapat dilakukan langsung dalam *software UGS NX 6.0* karena *software* ini menyediakan cara penyimpanan dengan kedua format

tersebut. Setelah dilakukan perubahan format, maka model kursi dan meja yang telah dibuat dapat langsung di-import kedalam *software Jack* untuk kemudian digabungkan dengan *virtual human model* pada langkah selanjutnya. Berikut ini merupakan salah satu model kursi dan meja yang dibuat menggunakan *software UGS NX 6.0* :



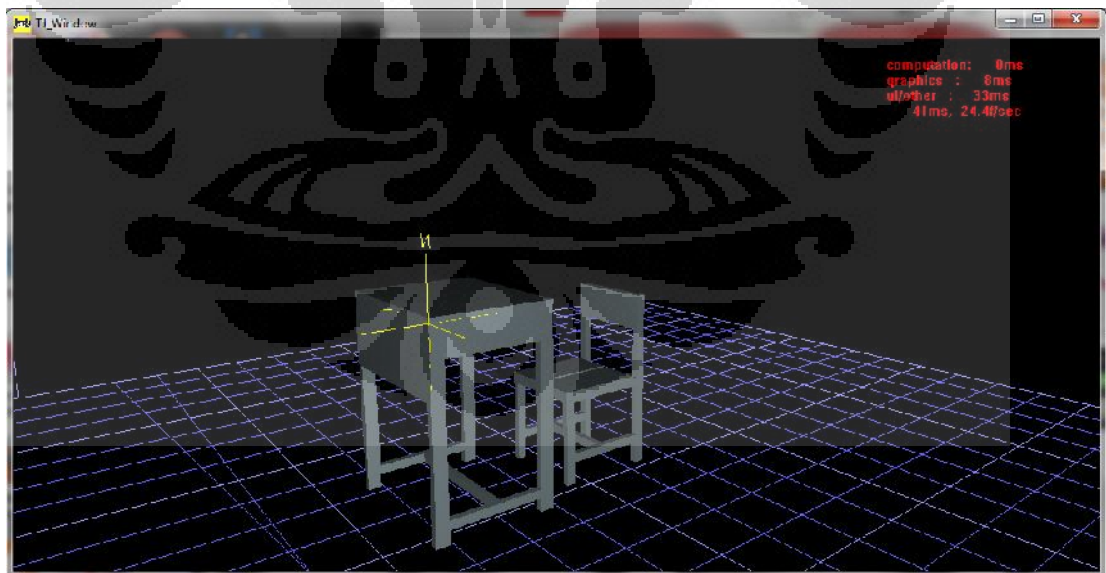
Gambar 3.24 Model Meja Sekolah Aktual dalam Format NX Files

Gambar 3.24 merupakan gambar model meja sekolah aktual dan Gambar 3.25 merupakan gambar model kursi sekolah aktual yang digambarkan pada format NX files.



Gambar 3.25 Model Kursi Sekolah Aktual dalam Format NX Files

Dari gambar dengan format NX files lalu dikonversi menjadi format .igs dan selanjutnya gambar tersebut dapat dimasukkan dalam *virtual environment* pada *software* jack seperti pada gambar 3.26 di bawah ini:



Gambar 3.26 Contoh *Virtual Environment* pada *Software* Jack 6.1

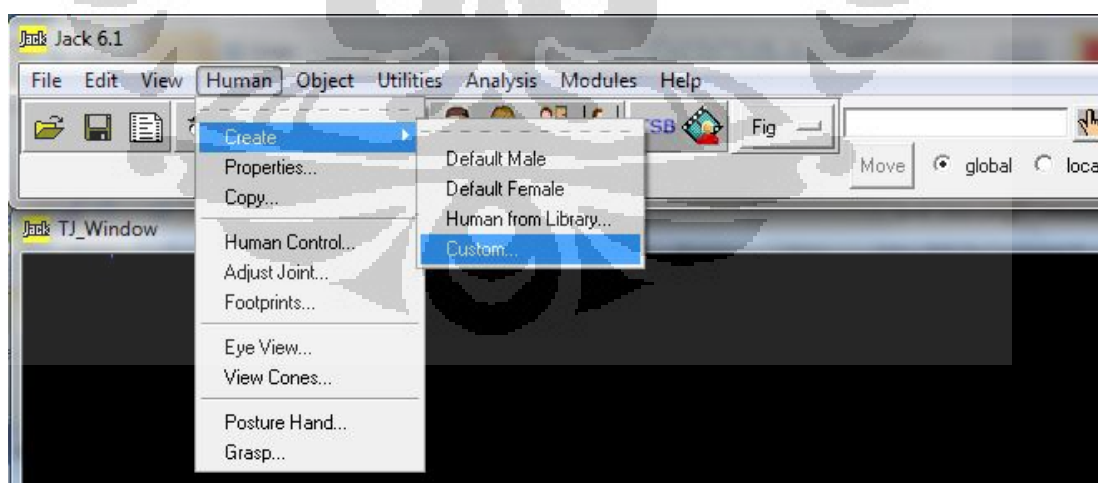
B. Pembuatan Virtual Human Model

Virtual Human Model atau model manusia virtual dalam penelitian ini adalah model siswa-siswi SMP Negeri 88 berdasarkan data antropometri yang diperoleh. Dari data-data yang telah ada tersebut, kemudian dimasukkan ke dalam fitur *Build Human* yang terdapat dalam *software Jack 6.1*. Dengan fitur *Build Human* seperti yang terlihat pada Gambar 3.27 dapat dibuat model virtual manusia berdasarkan *template* atau ukuran standar yang telah tersedia, namun dapat juga dibuat model virtual manusia berdasarkan data-data antropometri yang telah kita miliki atau secara *customize*.



Gambar 3.27 Command untuk Pembuatan Manusia Virtual pada *Jack 6.1*

Dalam penelitian ini, dibuat model virtual manusia yang berada pada rentang usia remaja, sehingga kita harus menggunakan pembuatan model virtual manusia yang *customize*, karena untuk ukuran tubuh anak-anak belum ada *template* yang tersedia seperti apabila kita ingin membuat model virtual manusia dewasa.



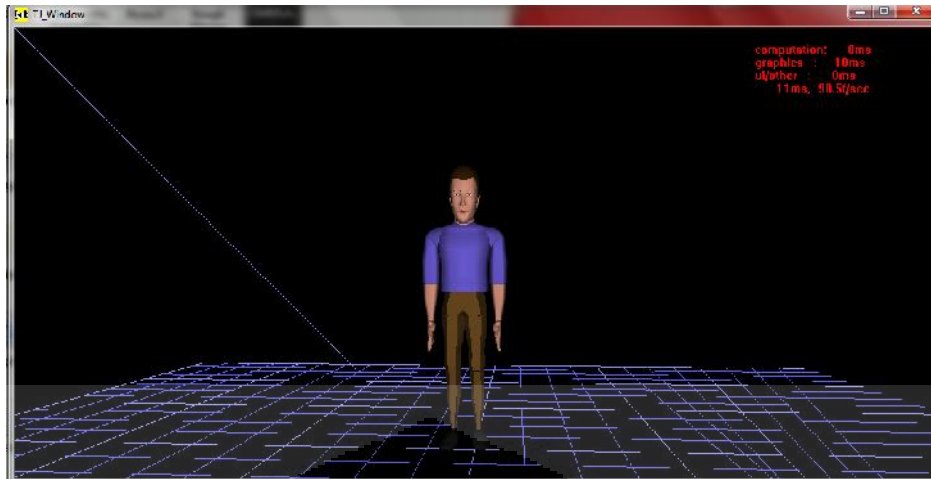
Gambar 3.28 Langkah-langkah Pembuatan Manusia Virtual secara *Customize*

Dalam pembuatan model siswa virtual berdasarkan ukuran antropometri yang sebenarnya, dibutuhkan juga informasi pendukung berupa usia. Dalam penelitian ini, kita akan membuat model virtual anak dengan usia antara 13 sampai 15 tahun. Maka kita dapat mengisi kolom “age” dengan angka 13, 14 atau 15. Pada dasarnya, kolom usia ini tidak terlalu mempengaruhi karena nantinya ukuran-ukuran tubuh yang dimasukkan akan disesuaikan dengan data antropometri yang telah kita peroleh. Kemudian terakhir kita harus memberi nama untuk model manusia virtual yang akan kita buat tersebut, misalkan saja kita namakan “persentil 5” untuk membuat model virtual anak dengan ukuran tubuh persentil 5. Tampilan fitur *build human* pada *software jack* dapat dilihat pada Gambar 3.29.



Gambar 3.29 Dialog Box untuk Fitur *Build Human*

Setelah seluruh langkah diatas selesai dilakukan, maka kita dapat mengklik button “*Create New*” dan secara otomatis *software Jack* akan memunculkan model manusia yang mendekati ukuran aslinya untuk masing-masing anggota tubuh yang dimiliki. Gambar 3.30 adalah model virtual siswa yang terbentuk dalam *software Jack* :



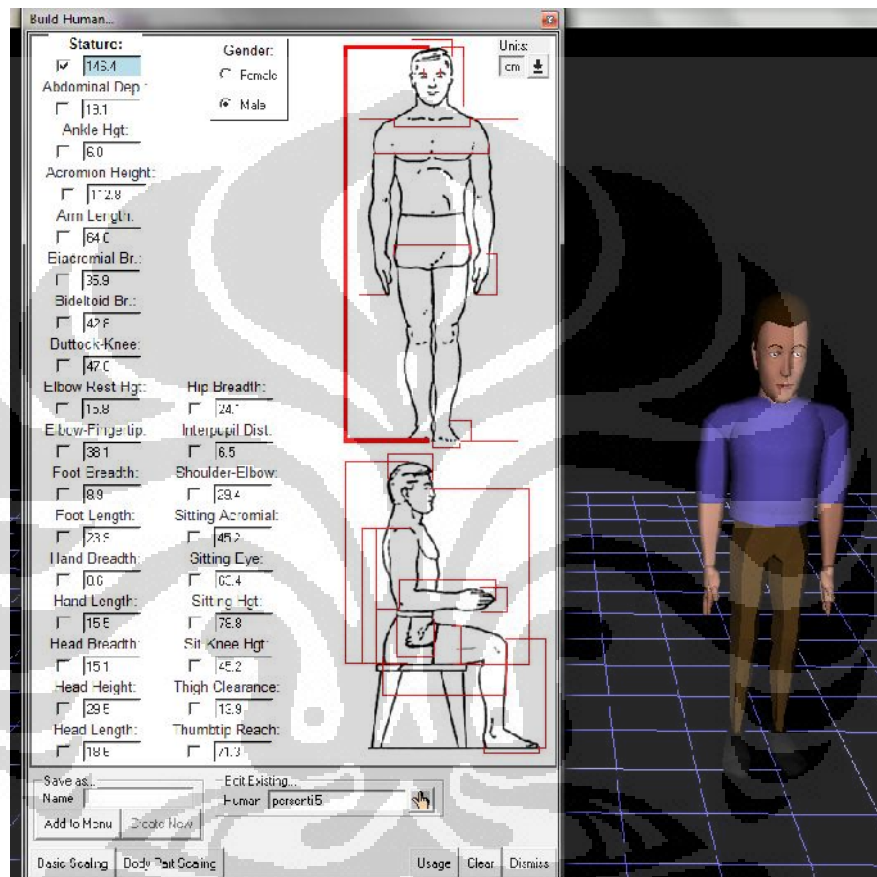
Gambar 3.30 Contoh Model Manusia Virtual pada *Software Jack 6.1*

Setelah terbentuk model virtual anak seperti gambar diatas, selanjutnya kita harus memasukkan data-data antropometri yang kita peroleh untuk memperoleh model virtual yang paling mendekati ukuran sebenarnya dari objek penelitian kita. Untuk memasukkan data-data antropometri tersebut kita harus meng-klik button “*Advanced Scaling*” sehingga data ukuran tubuh dari model virtual yang terbentuk akan sesuai dengan data yang kita peroleh pada keadaan nyata dengan memasukkan data antropometri seperti contohnya data antropometri siswa persentil 5 pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Data Antropometri Siswa Persentil 5

Dimensi	Persentil 5
Tinggi Bahu (TB)	38.544
Tinggi Sandaran Lengan (TSL)	15
Tinggi Lutut (TL)	45.1875
Tinggi Popliteal (TP)	34.975
Panjang Popliteal-Buttock (PB)	47.638
Panjang Telapak Kaki (PT)	23.896
Panjang Lengan Bawah (PLB)	38.184
Panjang Lengan Atas (PLA)	29.52
Lebar Bokong (LB)	24.088
Tinggi Badan (TBd)	144.88

Data ukuran tersebut dimasukkan ke dalam input dimensi yang ada sesuai kolom yang tersedia. Selanjutnya data-data lain akan menyesuaikan dengan sendirinya. Karena data yang dimasukkan berasal dari data keadaan aktual, maka model virtual ini dapat dinyatakan mendekati ukuran tubuh siswa SMP yang sebenarnya.



Gambar 3.31 Fitur *Body Scaling* pada *Software Jack 6.1*

C. Pembuatan Postur Duduk

Pembentukan postur duduk dilakukan setelah pembuatan *virtual environment* dan *virtual human model*. Postur duduk yang disimulasikan dalam penelitian ini merupakan postur duduk siswa menulis dengan menggunakan desain meja dan kursi aktual maupun usulan.

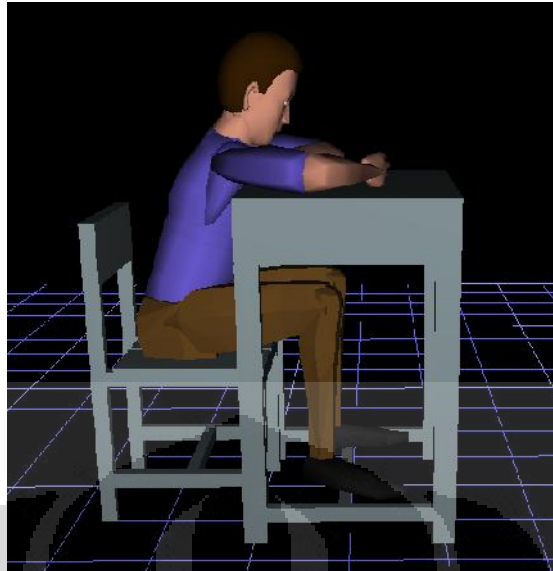
Dari perhitungan yang telah peneliti lakukan sebelumnya, ada beberapa perbedaan antara dimensi meja dan kursi actual dengan dimensi antropometri

siswa, hal ini dapat mempengaruhi bentuk postur duduk siswa karena mereka harus menyesuaikan postur tubuh mereka dengan meja dan kursi yang tersedia. Pembentukan postur duduk secara virtual menggunakan desain kursi dan meja aktual akan dilakukan dengan cara menyesuaikan model manusia virtual terhadap desain kursi dan meja tersebut dengan keadaan sebenarnya. Postur duduk dalam *virtual environment* ini juga dibuat semirip mungkin dengan yang diamati oleh peneliti secara langsung. Gambar 3.32 adalah contoh postur duduk yang dibentuk dengan menggunakan desain meja dan kursi aktual kepada siswa dengan persentil 5 di SMP Negeri 88 Jakarta.



Gambar 3.32 Postur Duduk Siswa pada Keadaan Aktual

Berdasarkan postur duduk aktual yang telah diamati langsung, maka dibuatlah postur duduk dalam *virtual environment* yang mendekati keadaan sebenarnya seperti Gambar 3.33 di bawah ini:

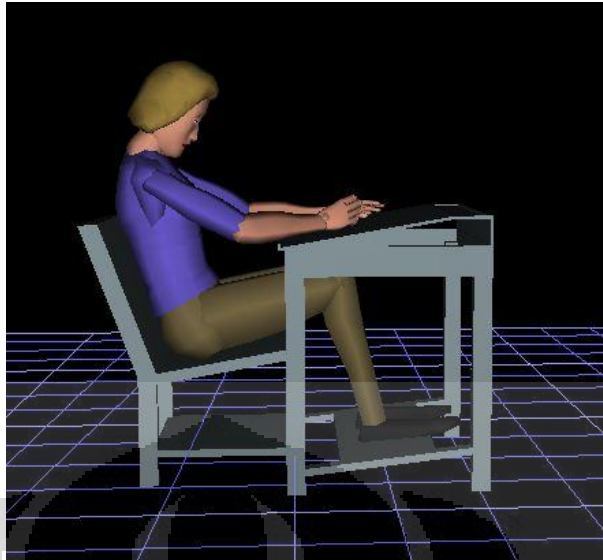


Gambar 3.33 Postur Duduk Siswa yang dimodelkan secara Virtual

Desain kursi dan meja usulan juga disesuaikan dengan ukuran tubuh siswa dengan harapan postur tubuh yang dihasilkan akan lebih baik. Postur duduk juga dibentuk dengan mengikuti beberapa kaidah postur duduk yang benar seperti :

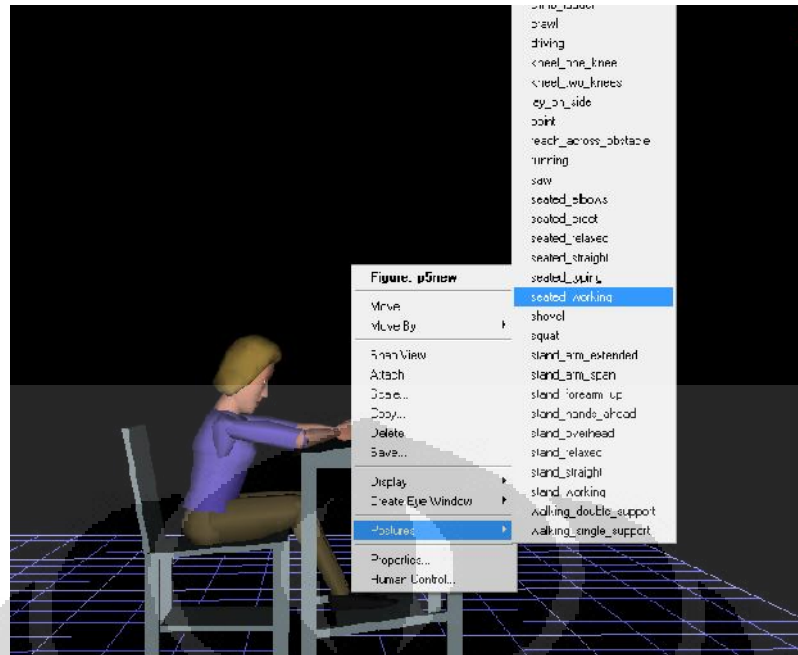
1. Kaki bagian bawah harus tegak lurus terhadap lantai, sementara posisi paha horizontal
2. Lengan bagian bawah harus tertumpu ke meja dengan posisi yang santai
3. Sandaran harus dapat beradaptasi dengan posisi punggung dan menyangga bagian lumbar (punggung bawah)
4. Paha pengguna tidak boleh menekan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

Kaidah-kaidah diatas akan dipenuhi dalam pembentukan postur duduk yang menggunakan desain kursi dan meja usulan sehingga postur duduk yang terbentuk akan berbeda dari postur duduk pada desain aktual. Gambar 3.34 berikut adalah contoh postur duduk yang dibentuk oleh siswa dengan persentil 5 menggunakan desain kursi dan meja usulan :



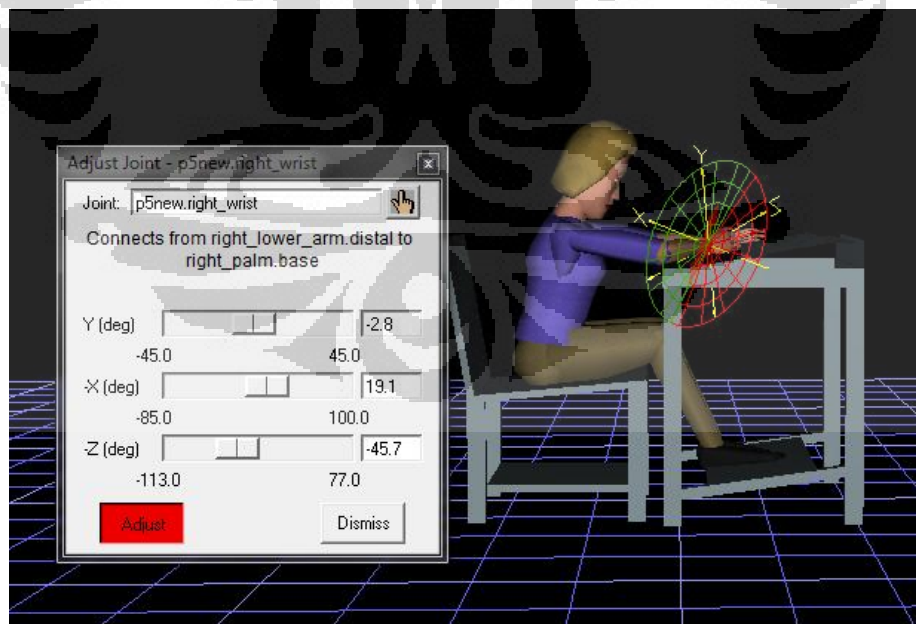
Gambar 3.34 Postur Duduk Siswa Menggunakan Desain Meja dan Kursi Usulan

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, model manusia yang akan digunakan dalam analisis penelitian ini adalah model siswa dengan persentil 5 dan 95. Pembuatan postur duduk dalam *software Jack 6.1* harus dilakukan dengan seksama agar postur duduk yang terbentuk dalam virtual environment ini dapat mendekati postur duduk dalam keadaan yang sebenarnya. Langkah pertama dalam membuat postur duduk ini adalah dengan mengkondisikan posisi model manusia virtual agar berada dalam kondisi duduk bekerja (*seated working*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.35.



Gambar 3.35 Langkah-langkah Pembentukan Postur Duduk Siswa

Kemudian model manusia virtual yang sudah dalam kondisi duduk ini disesuaikan dengan kursi dan meja yang tersedia dengan cara mengubah-ubah posisi tiap anggota tubuh agar sesuai dengan keadaan nyata.



Gambar 3.36 Tampilan Fitur *Human Control* pada *Software Jack 6.1*

Untuk menyesuaikan postur duduk dalam *virtual environment* agar sesuai dengan keadaan nyata, dapat digunakan beberapa *command* yang terdapat dalam *software Jack 6.1*. Penyesuaian postur ini diantaranya dilakukan dengan memodifikasi persendian model manusia virtual dengan menggunakan *command Human Control*. *Command* ini berfungsi untuk memodifikasi bentuk postur tubuh model manusia virtual dengan menyesuaikan sekelompok persendian tubuh manusia (*joint*) sesuai yang kita inginkan. Dengan *command Human Control* ini, kita dapat mengubah-ubah letak maupun posisi anggota tubuh dari model manusia virtual yang kita gunakan hingga diperoleh postur yang paling tepat. Sekelompok persendian yang diubah dalam pembentukan postur duduk siswa adalah tangan, pergelangan tangan, kaki, kepala, mata, leher dan batang tubuh. Berbagai persendian ini dapat diubah posisinya sesuai sumbu x, y dan z. Perubahan ini disebut dengan translasi. Selain itu, persendian juga dapat diputar atau disebut rotasi. Namun tidak semua persendian bisa diputar karena *software Jack 6.1* dapat membedakan bagian tubuh atau sendi mana saja dalam tubuh manusia yang dapat diputar secara spesifik dan sesuai keadaan tubuh manusia yang nyata.

Terdapat pula beberapa bagian tubuh yang dapat dirotasikan dan ditranslasikan. Perubahan-perubahan ini dapat dilakukan dengan bebas sesuai dengan batasan-batasan yang berlaku pada tiap-tiap persendian manusia. Setelah model postur duduk ini dibuat, selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang juga terdapat dalam *software Jack 6.1* ini.

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

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

1. *Static Strength Prediction (SSP)*
2. *Lower Back Analysis (LBA)*

3. *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*
4. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

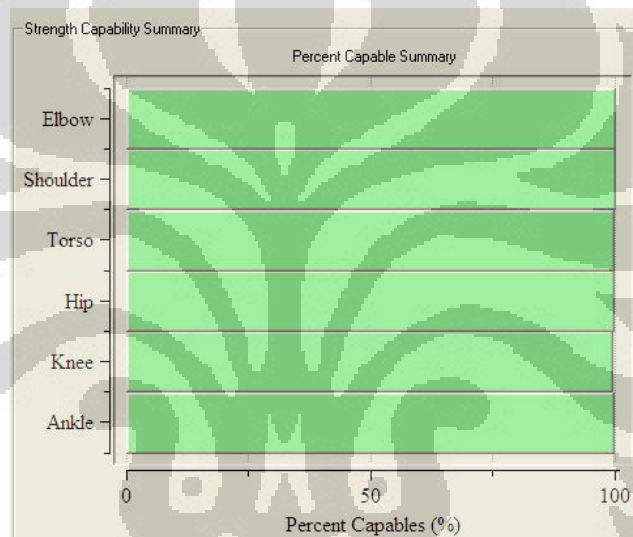
Seluruh konfigurasi model manusia virtual yang telah dibuat postur duduknya akan dianalisis menggunakan keempat metode diatas dan menghasilkan nilai pada tiap tools. Nilai-nilai tersebut akan dihitung dalam sebuah yang dinamakan *Posture Evaluation Index (PEI)*. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan keempat metode ini dapat menunjukkan postur duduk yang paling besar pengaruhnya terhadap tubuh manusia yang dimodelkan secara virtual. Semakin kecil nilai PEI, maka semakin baik pula postur duduk dan begitu juga sebaliknya. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan hasil analisis postur duduk siswa yang menggunakan desain meja dan kursi aktual terhadap hasil analisis postur duduk siswa yang menggunakan desain meja dan kursi usulan. Hipotesa awal dari penulis adalah bahwa hasil analisis postur duduk siswa yang menggunakan desain meja dan kursi usulan akan memberikan nilai PEI yang lebih baik, karena ukuran kursi dan meja tersebut telah disesuaikan dengan ukuran tubuh siswa sehingga dapat mendorong terbentuknya postur duduk siswa yang baik dan benar.

Selain membandingkan antara hasil analisis postur duduk dengan menggunakan desain aktual dan usulan, kemudian hasil analisis postur duduk dengan menggunakan berbagai macam desain usulan yang diberikan juga akan dibandingkan antara satu dengan lainnya. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa penulis memiliki 4 desain usulan kursi dan 3 desain usulan meja yang dikombinasikan kedalam 24 jenis konfigurasi yang berbeda. Masing-masing konfigurasi ini tentunya akan memberikan nilai yang berbeda terhadap postur tubuh masing-masing model manusia secara virtual. Dari keseluruhan konfigurasi ini kemudian akan dicari nilai postur tubuh yang terbaik, yaitu yang menyebabkan beban terkecil pada tubuh siswa. Desain kursi dan meja yang memberikan nilai postur tubuh terbaik ini kemudian akan dijadikan desain usulan utama untuk kursi dan meja sekolah. Berikut ini merupakan contoh hasil nilai dari keempat metode analisis postur tubuh yang terdapat dalam Task Analysis Toolkit terhadap postur

duduk siswa dengan persentil 5 menggunakan desain kursi dan meja aktual (konfigurasi 1A).

1. *Static Strength Prediction (SSP)*

Static Strength Prediction (SSP) digunakan untuk memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan dalam *virtual environment*. Metode ini juga dapat digunakan untuk memvalidasi apakah postur tubuh yang dibentuk tersebut dapat dikerjakan oleh seluruh populasi. Dalam hasil analisis nilai SSP pada Gambar 3.37 untuk konfigurasi 1A terlihat bahwa postur yang diujikan mampu dilakukan oleh hampir 100% populasi yang memiliki usia, jenis kelamin maupun tinggi badan yang berbeda.



Gambar 3.37 Tampilan Hasil Analisis SSP

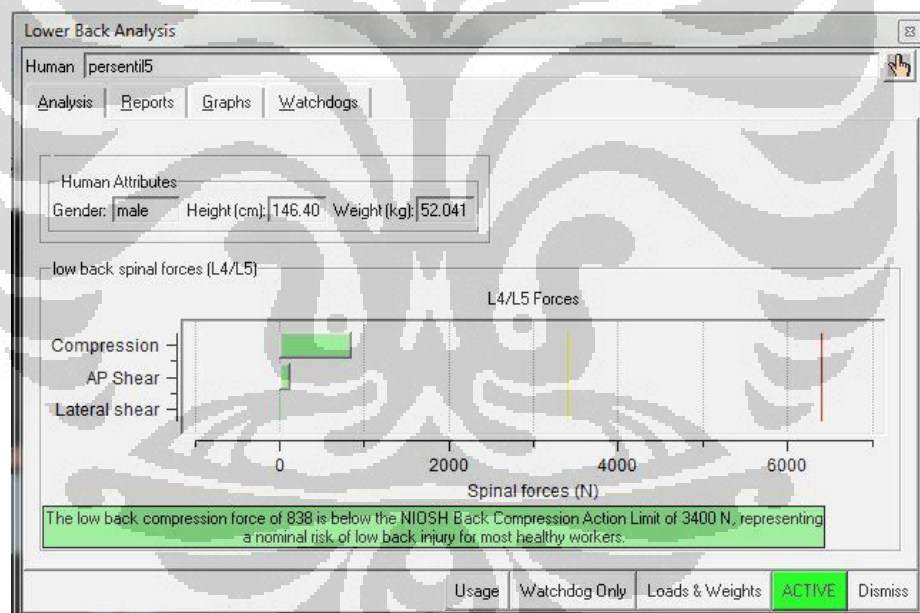
Analisis SSP merupakan langkah pertama untuk menghitung nilai PEI dari konfigurasi 1A dan memastikan jumlah persentase populasi siswa yang memiliki kemampuan dan kekuatan untuk melakukan pekerjaan dengan postur yang akan diujikan tersebut. Nilai batas minimum yang digunakan sebagai persyaratan bahwa pekerjaan tersebut dapat dilakukan oleh siswa lain yang memiliki usia, jenis kelamin dan tinggi badan berbeda adalah sebesar 90%, yang berarti postur kerja tersebut dapat dilakukan oleh minimal 90% populasi.

Hasil dari analisis SSP pada Gambar 3.37 di atas untuk konfigurasi 1A dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk *elbow*, *shoulder*, *trunk*, *hip*, *knee* dan *ankle*

seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi 1A tersebut dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.

2. *Lower Back Analysis (LBA)*

Lower Back Analysis digunakan untuk mengevaluasi besar gaya dan tekanan yang terjadi pada punggung bagian bawah (*lower back*), yaitu bagian punggung L4 dan L5 (ruas tulang belakang ke 4 dan ke 5) berdasarkan postur dan beban saat melakukan pekerjaan. Berdasarkan hasil analisis nilai *LBA* untuk konfigurasi 1A, besar gaya yang diterima oleh punggung bagian bawah adalah sebesar 838 N, masih dibawah batas normal beban yang diperbolehkan yaitu 3400 N. Gambar 3.38 merupakan nilai LBA yang ditunjukkan pada *software* jack.



Gambar 3.38 Tampilan Hasil Analisis LBA

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

Metode *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* ini digunakan untuk mengetahui tingkat kenyamanan suatu postur kerja serta untuk melihat tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Sistem penilaian dengan OWAS digunakan ketika sistem yang diteliti mudah untuk diamati dan

Universitas Indonesia

dipelajari. Metode OWAS meninjau postur standar untuk batang tubuh (*trunk*), tangan (*arms*), tubuh bagian bawah (*lower body*) dan leher (*neck*). Dari hasil analisis menggunakan metode OWAS untuk konfigurasi 1A diperoleh kode OWAS 2311 dan nilai OWAS sebesar 3 yang berarti bahwa postur kerja yang dilakukan dapat memberikan tekanan yang membahayakan pada *musculoskeletal system* dan diperlukan perbaikan segera terhadap postur ini. Kode *OWAS* 2311 memiliki arti sebagai berikut :

Angka pertama : 2; tulang belakang berada dalam posisi membungkuk

Angka kedua : 1; kedua tangan berada lebih tinggi atau sejajar dengan bahu

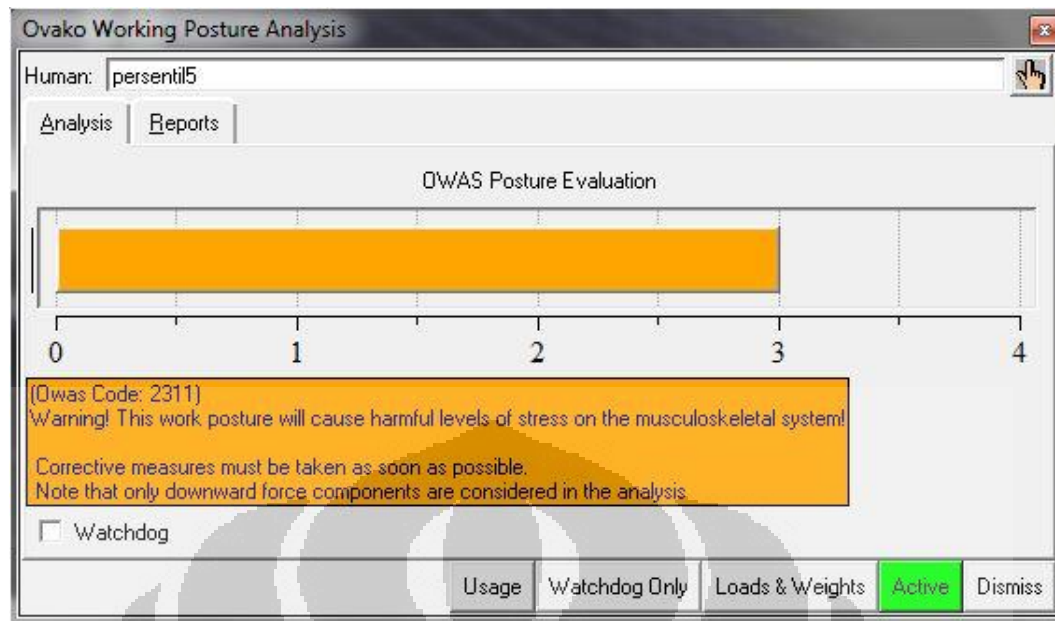
Angka ketiga : 4; posisi kaki berada dalam keadaan duduk

Angka keempat: 1; beban yang diterima adalah lebih kecil atau sama dengan 10 kg

Tabel 3.16 merupakan tabel yang menjelaskan untuk tiap angka yang terdapat pada kombinasi kode *OWAS* :

Tabel 3.16 Penjelasan Kode OWAS

Back:	Arms:	Legs:	Load/Strength:
1. straight	1. both below shoulder level	1. sitting	1. load less than or equal to 10kg
2. bent forward	2. one at or above shoulder level	2. standing with both legs straight	2. load of 10 to 20 kg
3. twisted	3. both at or above shoulder level	3. standing with one leg straight	3. load greater than 20 kg
4. bent and twisted		4. standing with both legs bent	
		5. standing with one leg bent	
		6. kneeling on one or both knees	
		7. walking	



Gambar 3.39 Tampilan Hasil Analisis OWAS

4. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

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

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

- Level 1: postur diterima jika tidak dipelihara atau berulang untuk waktu yang lama
- Level 2: Penyelidikan lebih lanjut diperlukan, mungkin memerlukan perubahan
- Level 3: Dibutuhkan investigasi dan perubahan
- Level 4: Investigasi dan perubahan dibutuhkan segera

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

Category	Item	Value
Body Group A Posture Rating	Upper arm	3
	Lower arm	2
	Wrist	1
	Wrist Twist	2
	Total	4
Body Group B Posture Rating	Neck	5
	Trunk	3
	Total	7
Muscle Use	Muscle Use	Normal, no extreme use
	Force/Load	< 2 kg intermittent load
	Arms	Not supported
Legs and Feet Rating	Legs and Feet Rating	Seated, Legs and feet well supported. Weight even.
	Grand Score	6
Action: Investigation and changes are required soon.		

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

Gambar 3.40 Tampilan Hasil Analisis RULA

Grand Score menunjukkan sejauh mana pekerja terpapar oleh faktor-faktor risiko diatas dan berdasarkan nilai tersebut juga akan diketahui saran yang perlu dilakukan. Pada gambar diatas, hasil analisis nilai RULA untuk konfigurasi 1A menunjukkan *grand score* sebesar 6. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk siswa dengan persentil 5 menggunakan desain meja dan kursi aktual membutuhkan investigasi dan perubahan secepatnya.

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

Dari data yang didapatkan dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) digabungkan ke dalam perhitungan memperoleh nilai keseluruhan postur duduk siswa yang disebut nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI ini

Universitas Indonesia

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

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

Keterangan : 3400 N = batas kekuatan tekanan yang dapat diterima low back
 4 = nilai maksimum index OWAS
 7 = level maksimum ketidaknyamanan tubuh bagian atas
 1,42 = *amplification factor*

Tabel 3.17 Rekapitulasi Nilai PEI Konfigurasi 1A

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
838	3	6	2,213613

Dengan memasukkan nilai-nilai dari ketiga metode *Task Analysis Toolkit* pada rumus diatas, maka akan diperoleh nilai PEI dari postur duduk konfigurasi 1A. Berikut ini adalah perhitungan nilai PEI tersebut :

$$PEI = (838N / 3400N) + 3/4 + (6/7 * 1.42) \\ = 2,213613$$

Hasil nilai PEI dari konfigurasi 1A ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil konfigurasi yang menggunakan desain kursi dan meja usulan (konfigurasi 2A hingga 5F) untuk mengevaluasi apakah desain kursi dan meja usulan memberikan hasil yang lebih baik

BAB 4 ANALISIS

Dalam bab ini akan dibahas tentang analisis dari ukuran kursi dan meja aktual yang dibandingkan dengan ukuran kursi dan meja usulan serta hasil pengujian data-data yang telah diolah menjadi berbagai konfigurasi postur duduk yang berbeda-beda pada bab sebelumnya. Konfigurasi postur duduk tersebut dibedakan berdasarkan desain meja dan kursi aktual maupun desain meja dan kursi usulan, hingga pada akhirnya diperoleh 26 macam konfigurasi yang harus dilakukan. Selanjutnya, akan dianalisis perbedaan nilai PEI yang diperoleh dari konfigurasi desain aktual dengan konfigurasi desain usulan dan dapat diketahui apakah desain usulan yang diberikan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan desain meja dan kursi aktual. Selain itu, nilai PEI yang diperoleh dari masing-masing hasil konfigurasi desain usulan pun akan dibandingkan satu dengan yang lain hingga memperoleh nilai PEI yang terbaik.

4.1. Analisis Ukuran Kursi dan Meja Aktual

Ada beberapa ketidaksesuaian dimensi kursi dan meja aktual dengan data antropometri siswa, maka dilakukan beberapa perbaikan untuk mendapatkan dimensi kursi dan meja sekolah yang ergonomis untuk siswa. Ukuran meja dan kursi usulan dihitung berdasarkan data antropometri siswa yang telah dibahas pada bab sebelumnya, pada bagian ini kita akan menganalisis ketidaksesuaian dari masing-masing variabel kursi dan meja aktual dibandingkan dengan ukuran kursi dan meja usulan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Perbandingan Ukuran Kursi Aktual dengan Desain Kursi Usulan (cm)

Kursi	Aktual	Min	Max	Desain usulan	Keterangan
Tinggi dudukan	42	35	40.3	38	Sesuai
Tinggi sandaran	40.5	33	42.1	42	Sesuai
Lebar dudukan	41	35.6	42.1	42	Sesuai

Tabel 4.1 Perbandingan Ukuran Kursi Aktual dengan Desain Kursi Usulan (cm)
(sambungan)

Kursi	Aktual	Min	Max	Desain usulan	Keterangan
Kedalaman dudukan	45	41	50.6	45	Sesuai
Sudut dudukan kursi	0°	5°	10°	5° dan 10°	Tidak sesuai
Sudut sandaran kursi	90°	100°	110	100° dan 110°	Tidak sesuai

Untuk dimensi tinggi dudukan dan kedalaman dudukan, desain usulan menggunakan nilai tengah dari nilai maksimum dan minimum untuk mencapai nilai tengah untuk tubuh dengan persentil 5 dan 95. Sedangkan untuk dimensi tinggi sandaran dan lebar dudukan digunakan nilai maksimal agar dapat mengakomodir tubuh siswa dengan persentil 5 maupun 95.

Tabel 4.2 Perbandingan Ukuran Meja Aktual dengan Desain Meja Usulan (cm)

Meja	Aktual	Min	Max	Desain usulan	Keterangan
Tinggi meja	72.5	60	70.7	66	Lebih tinggi
Tinggi sandaran kaki	10	4	13.5	7 sampai 11 (miring)	Sesuai
Lebar sandaran kaki	6	26	26	26	Terlalu sempit
Tinggi lantai-laci meja	56.5	57.2	66.7	62	Lebih rendah
Kemiringan permukaan	0°	10°	20°	10°, 15° dan 20°	Tidak sesuai

Tabel 4.2 merupakan perbandingan ukuran meja dan kursi aktual dengan hasil perhitungan dimensi minimum dan maksimum dari ukuran yang seharusnya bila dilihat dari aspek ergonomis menggunakan data antropometri. Ada ukuran yang sudah sesuai dengan seharusnya, ada juga yang belum sesuai. Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap buruknya postur duduk yang dibentuk oleh

siswa. Selanjutnya akan dianalisis postur duduk untuk 2 konfigurasi aktual yang dibuat untuk melihat sejauh mana kesalahan desain ini berpengaruh pada kesehatan *muskuloskeletal* siswa.

4.2. Analisis Postur Duduk dengan Desain Aktual

Postur duduk aktual ini diperoleh dari hasil pengamatan postur duduk dan pengukuran secara langsung yang dilakukan di SMP Negeri 88 Jakarta. Hasil dari analisis postur duduk aktual ini akan dibandingkan dengan postur duduk yang telah menggunakan desain kursi dan meja usulan. Hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan antara kondisi ergonomi postur duduk aktual dengan kondisi ergonomi postur duduk yang telah menggunakan desain kursi dan meja usulan.

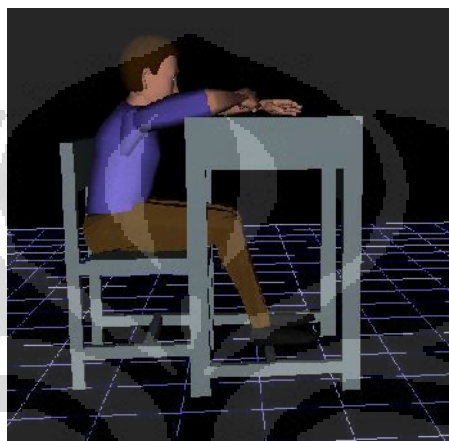
4.2.1. Analisis Persentil 5 dengan Desain Meja dan Kursi Aktual (Konfigurasi 1A)

Dalam konfigurasi ini, objek yang dianalisis adalah siswa dengan persentil 5. Sesuai data antropometri yang telah diperoleh, persentil 5 memiliki kriteria seperti pada Tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Rekapitulasi Data Antropometri Siswa dengan Persentil 5

Dimensi	Persentil 5 (cm)
Tinggi Bahu (TB)	38.544
Tinggi Sandaran Lengan (TSL)	15
Tinggi Lutut (TL)	45.1875
Tinggi Popliteal (TP)	34.975
Panjang Popliteal-Buttock (PB)	47.638
Panjang Telapak Kaki (PT)	23.896
Panjang Lengan Bawah (PLB)	38.184
Panjang Lengan Atas (PLA)	29.52
Lebar Bokong (LB)	24.088
Tinggi Badan (TBd)	144.88

Kursi dan meja yang digunakan sebagai *virtual environment* dalam konfigurasi ini merupakan ukuran aktual meja dan kursi yang digunakan di SMP Negeri 88 Jakarta. Postur duduk yang dibentuk dalam konfigurasi ini disesuaikan dengan hasil pengamatan terhadap postur duduk siswa aktual yang diamati langsung agar mendekati postur aslinya, dengan demikian hasil yang diperoleh diharapkan bisa secara mendekati keadaan nyata seperti pada Gambar 4.1 di bawah ini:



Gambar 4.1 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1A

Pada tahap awal analisis konfigurasi 1A ini, akan dilakukan analisa terhadap *Static Strength Prediction* untuk mengetahui apakah postur ini dapat diolah lebih lanjut. Dalam analisis awal ini kita akan menetapkan batasan ataupun persentase kapabilitas minimal untuk memastikan bahwa postur duduk siswa yang dibentuk dalam konfigurasi ini dapat dilakukan oleh populasi siswa lainnya dengan usia maupun ukuran-ukuran antropometri lainnya yang berbeda. Apabila konfigurasi ini tidak memenuhi batasan tersebut, maka konfigurasi tersebut tidak akan dapat dianalisis lebih lanjut karena secara teori postur duduk yang dibentuk tidak mungkin dilakukan oleh populasi siswa lainnya. Untuk konfigurasi postur duduk, hasil SSP menunjukkan persentase kapabilitas minimal sebesar 90% untuk mayoritas anggota tubuh, yang berarti postur tersebut akan dapat dilakukan oleh minimal 90% populasi. Hasil analisis SSP untuk postur duduk standar yang dimiliki oleh *software Jack* (Tabel 4.4) menunjukkan bahwa hasil pada bagian

Universitas Indonesia

kaki dan pergelangan kaki memiliki kapasitas hanya sebesar 81% dan 72%. Hal ini mengindikasikan bahwa selama nilai kapabilitas kaki dan pergelangan kaki berada diatas nilai tersebut, maka postur dapat dianalisis lebih lanjut dengan tiga metode berikutnya.

Tabel 4.4 *Capability Summary Chart* Postur Duduk Standar

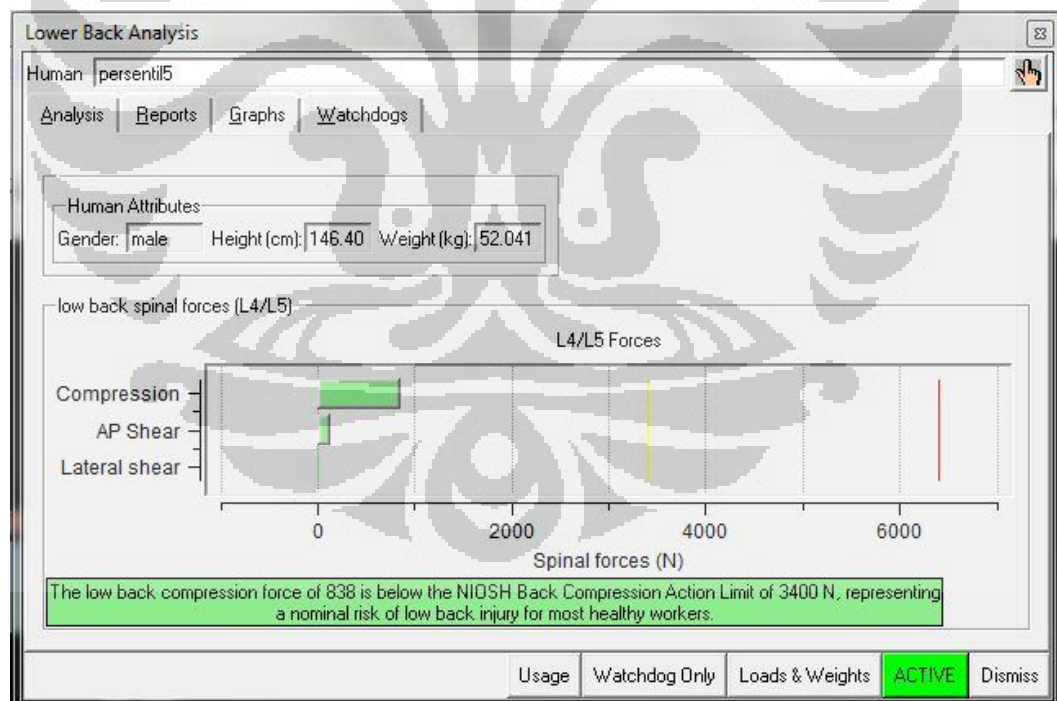
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-2	FLEXN	72	18	100	-2	FLEXN	78	19	100
	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	72	18	100	-2	ABDUCT	78	19	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-0	--	105	29	100	-0	--	113	31	100
	Humeral Rot	0	--	52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

Hasil dari analisis SSP untuk konfigurasi 1A dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk *elbow*, *shoulder*, *trunk*, *hip*, *knee* dan *ankle* seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi 1A tersebut dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.

Tabel 4.5 *Capability Summary Chart* Konfigurasi 1A

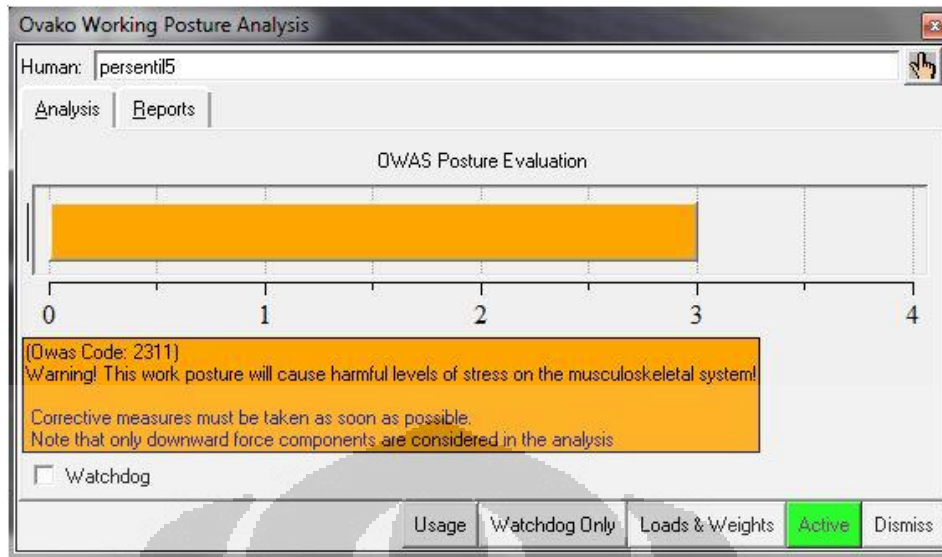
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	1	--	26	5	100	0	--	33	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-6	ABDUCT	59	15	100	-5	ABDUCT	61	15	100
	Rotation Bk/Fd	1	--	57	17	100	1	--	61	18	100
	Humeral Rot	-1	--	25	6	100	-2	LATERAL	32	7	100
Trunk	Flex/Ext	-35	EXTEN	455	143	100					
	Lateral Bending	-0	--	265	57	100					
	Rotation	-0	--	93	25	100					
	Hip	0	--	133	36	100	-0	--	241	97	99
	Knee	-0	--	165	58	100	0	--	165	58	100
	Ankle	-0	--	120	40	100	0	--	120	40	100

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

**Gambar 4.2** Grafik LBA Konfigurasi 1A

Berdasarkan *software Jack 6.1*, postur duduk pada konfigurasi 1A ini memberikan nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah sebesar 838 Newton (Gambar 4.2). Nilai tekanan ini terbentuk dari postur duduk siswa dengan tulang belakang yang agak membungkuk. Seperti dapat dilihat pada Gambar 4.1 bahwa siswa harus mendorong tubuhnya ke bagian depan kursi agar dapat menjangkau meja untuk melakukan kegiatan menulis sehingga punggung siswa berada dalam keadaan tidak ditopang oleh sandaran punggung. Karakteristik meja yang terlalu tinggi memaksa siswa untuk mengangkat tangannya dengan tinggi bisa mencapai permukaan meja tersebut. Postur duduk dimana tubuh didorong ke arah depan seperti ini menyebabkan sebagian besar berat tubuh siswa terkonsentrasi ke bagian depan dan akan ditumpu oleh tangan yang berada di atas meja sehingga tekanan pada tulang belakang, khususnya pada bagian ruas L4 dan L5 tidak terlalu besar. Selain itu siswa juga tidak membawa beban berat yang bisa menyebabkan tekanan yang besar pada tulang belakang. Nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah yang sebesar 838 Newton ini masih berada jauh dibawah batasan nilai beban aman yang dapat diterima oleh ruas-ruas tulang belakang yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 3400 Newton.

Selanjutnya perhitungan postur duduk pada konfigurasi 1A ini memberikan nilai *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* sebesar 3. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami dapat memberikan tekanan yang membahayakan bagi *musculoskeletal system* dan diperlukan perbaikan segera untuk memperbaiki postur duduk ini. Dari hasil konfigurasi yang diperoleh, kode OWAS untuk postur ini adalah 2311. Kode ini merupakan hasil penilaian postur pada 4 variabel yaitu punggung, tangan, kaki dan beban yang dialami.



Gambar 4.3 Grafik OWAS Konfigurasi 1A

Berikut ini adalah penjelasan mengenai kode OWAS 2311 untuk konfigurasi 1A :

- Angka pertama = 2, artinya tulang belakang berada dalam posisi membungkuk
- Angka kedua = 3, artinya kedua tangan berada lebih tinggi atau sejajar dengan bahu. Berdasarkan pengamatan penulis, saat siswa melakukan kegiatan menulis maka mereka akan mengangkat kedua tangannya dengan tinggi hingga sejajar ataupun bahkan lebih tinggi dengan bahu mereka. Hal ini diakibatkan oleh meja yang terlalu tinggi sehingga mengharuskan siswa mengangkat tangannya dengan tinggi untuk sampai ke permukaan meja agar bisa menulis dan menopang berat badan mereka yang terkonsentrasi ke bagian depan.
- Angka ketiga = 1, artinya posisi kaki berada dalam keadaan duduk
- Angka keempat = 1, berarti beban yang diterima oleh siswa adalah lebih kecil atau sama dengan 10 kg. Dalam hal ini, beban yang diterima oleh siswa hanyalah berupa pensil ataupun pulpen yang beratnya sangat ringan.

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

Field	Value
Job Title:	
Location:	
Comments:	
Job Number:	
Analyst:	
Date:	
Body Group A Posture Rating	
Upper arm:	3
Lower arm:	2
Wrist:	1
Wrist Twist:	2
Total:	4
Body Group B Posture Rating	
Neck:	5
Trunk:	3
Total:	7
Muscle Use:	Normal, no extreme use
Force/Load:	< 2 kg intermittent load
Arms:	Not supported
Legs and Feet Rating	
Seated, Legs and feet well supported. Weight even.	
Grand Score: 6	
Action: Investigation and changes are required soon.	
Update Analysis	
Usage Dismiss	

Gambar 4.4 Nilai RULA Konfigurasi 1A

Hasil perhitungan analisis menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) terhadap postur duduk untuk konfigurasi 1A dengan kaki tertumpu pada sandaran kaki dan tangan yang tertumpu pada meja memberikan *grand score* sebesar 6 seperti dapat dilihat pada gambar 4.4 diatas. Nilai ini merupakan hasil dari perhitungan dua kelompok anggota tubuh, yaitu kelompok A dan kelompok B. Kelompok A yang berada pada kolom sebelah kiri terdiri dari lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan. Sementara kelompok B yang berada pada kolom sebelah kiri terdiri dari leher, punggung dan kaki. Kelompok bagian tubuh A menghasilkan nilai masing-masing 3 untuk lengan atas, 2 untuk

lengan bawah, 1 untuk pergelangan tangan dan 2 untuk perputaran pergelangan tangan. Hal ini mengindikasikan bahwa posisi lengan atas harus segera diperbaiki karena pada postur duduk ini bagian lengan atas siswa mengangkat dengan cukup tinggi dan memiliki posisi kedepan dalam interval 45 hingga 90 derajat untuk melakukan kegiatan menulis diatas meja yang berada didepannya. Nilai sebesar 2 untuk lengan bawah dan sebesar 1 untuk pergelangan tangan menunjukkan bahwa kedua anggota tubuh ini masih berada pada posisi yang normal. Perputaran pergelangan tangan yang memiliki nilai sebesar 2 mengindikasikan bahwa pergelangan tangan masih dalam posisi yang cukup nyaman.

Sedangkan untuk kelompok bagian tubuh B, nilai yang diperoleh adalah 5 untuk leher dan 3 untuk batang tubuh. Hal ini dikarenakan tubuh siswa yang pendek menyebabkan leher harus mendongak untuk dapat melihat ke arah meja dengan baik. Lalu untuk bagian batang tubuh memiliki nilai 3 yang diakibatkan oleh tubuh siswa yang miring kearah depan untuk mendekati meja. Pada akhirnya hasil kalkulasi dari kedua bagian anggota tubuh ini memberikan *grand score* sebesar 6 yang berarti investigasi dan perbaikan terhadap postur kerja ini harus segera dilakukan.

Pada langkah terakhir dilakukan kalkulasi untuk memperoleh nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) berdasarkan nilai LBA, OWAS dan RULA yang telah diperoleh. Berdasarkan rumus 2.1 yang terdapat pada bab 2, nilai PEI untuk konfigurasi 1A ini adalah sebesar 2,213613.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1A

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
838	3	6	2,213613

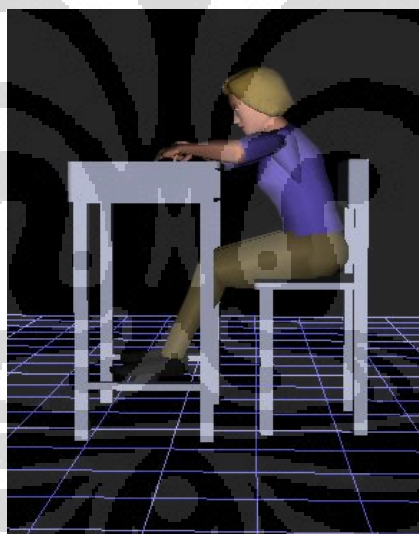
4.2.2. Analisis Persentil 95 dengan Desain Meja dan Kursi Aktual (Konfigurasi 1B)

Dalam konfigurasi ini, objek yang dianalisis adalah siswa dengan persentil 95, sedangkan kursi dan meja yang digunakan sebagai *virtual environment* dalam

konfigurasi ini masih merupakan desain aktual kursi dan meja yang digunakan di SMP Negeri 88 Jakarta. Sesuai data antropometri yang diperoleh, persentil 95 memiliki kriteria berikut ini :

Tabel 4.7 Rekapitulasi Data Antropometri Siswa dengan Persentil 95

Dimensi	Persentil 95
Tinggi Bahu (TB)	55.105
Tinggi Sandaran Lengan (TSL)	41.29923399
Tinggi Lutut (TL)	53.37
Tinggi Popliteal (TP)	44.86
Panjang Popliteal-Buttock (PB)	56.7715
Panjang Telapak Kaki (PT)	28.4
Panjang Lengan Bawah (PLB)	46
Panjang Lengan Atas (PLA)	36.241
Lebar Bokong (LB)	32.76
Tinggi Badan (TBd)	169.38



Gambar 4.5 Model Manusia Virtual Konfigurasi 1B

Seperti analisis konfigurasi 1A pada sebelumnya, tahap awal analisis konfigurasi 1B ini, akan dimulai dengan analisa terhadap *Static Strength Prediction*. Hasil dari analisis SSP untuk konfigurasi 1B dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kapabilitas untuk *elbow*,

shoulder, trunk, hip, knee dan *ankle* seluruhnya memiliki nilai diatas 90%. Dengan demikian, postur duduk dengan konfigurasi 1B tersebut dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode LBA, OWAS dan RULA.

Tabel 4.8 *Capability Summary Chart* Konfigurasi 1B

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-0	--	32	9	100	-0	--	36	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-5	ABDUCT	32	8	100	-4	ABDUCT	32	8	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	38	13	100	0	--	32	10	100
	Humeral Rot	-1	LATERAL	18	5	100	-1	LATERAL	18	5	100
Trunk	Flex/Ext	-37	EXTEN	307	106	99					
	Lateral Bending	0	--	206	50	100					
	Rotation	0	--	58	18	100					
Hip		0	--	77	26	100	-0	--	131	49	100
Knee		-0	--	105	36	100	0	--	105	36	100
Ankle		-0	--	76	21	100	0	--	76	21	100

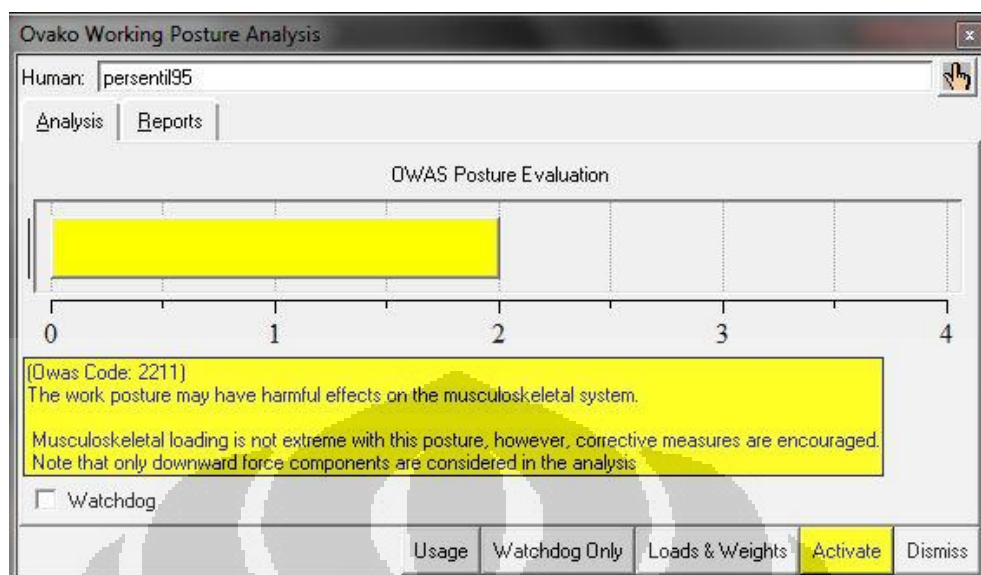
Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode *Lower Back Analysis* (LBA) yang memberikan hasil seperti Gambar 4.7 dibawah ini:



Gambar 4.6 Grafik LBA Konfigurasi 1B

Berdasarkan *software Jack 6.1*, postur duduk pada konfigurasi 1B ini memberikan nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah sebesar 905 Newton (Gambar 4.6). Nilai tekanan ini terbentuk dari postur duduk siswa dengan tulang belakang yang agak membungkuk. Pada konfigurasi 1B ini siswa tidak perlu mendorong tubuhnya ke bagian depan kursi untuk dapat menjangkau meja sehingga berat badan siswa sebagian besar ditumpu pada bagian bokong dan tulang belakang. Ditambah lagi posisi punggung yang tidak menyender akan menyebabkan beban yang ditumpu oleh tulang belakang, khususnya pada ruas L4 dan L5 menjadi lebih besar. Sama pada konfigurasi sebelumnya, pada konfigurasi ini siswa juga membawa beban berat yang bisa menyebabkan tekanan yang besar pada tulang belakang. Nilai tekanan kompresi pada tulang belakang bagian bawah yang sebesar 905 Newton ini masih berada jauh dibawah batasan nilai beban aman yang dapat diterima oleh ruas-ruas tulang belakang yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 3400 Newton.

Nilai OWAS pada perhitungan postur duduk konfigurasi 1B ini memberikan nilai sebesar 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dialami bisa memberikan efek yang buruk pada *musculoskeletal system*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.7, kode OWAS yang diperoleh untuk postur ini adalah 2211. Kode ini merupakan hasil penilaian postur pada 4 variabel yaitu punggung, tangan, kaki dan beban yang dialami.



Gambar 4.7 Grafik OWAS Konfigurasi 1B

Berikut ini adalah penjelasan mengenai kode OWAS 2211 untuk konfigurasi 1B:

- Angka pertama = 2, artinya tulang belakang berada dalam posisi membungkuk.
- Angka kedua = 2, artinya kedua tangan berada sejajar dengan bahu. Karena siswa pada konfigurasi 1B ini memiliki tubuh yang lebih tinggi maka mereka tidak perlu mengangkat tangannya lebih tinggi untuk menulis pada permukaan meja.
- Angka ketiga = 1, artinya posisi kaki berada dalam keadaan duduk.
- Angka keempat = 1, artinya beban yang diterima oleh siswa adalah lebih kecil atau sama dengan 10 kg.

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

Job Information	
Job Title:	[Empty Field]
Location:	[Empty Field]
Comments:	[Empty Field]
Job Number:	[Empty Field]
Analyst:	[Empty Field]
Date:	[Empty Field]

Body Group A Posture Rating		Body Group B Posture Rating	
Upper arm:	4	Neck:	2
Lower arm:	2	Trunk:	3
Wrist:	1	Total:	4
Wrist Twist:	2		
Total:	4		

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

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

Grand Score: 4

Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

Gambar 4.8 Nilai RULA Konfigurasi 1B

Hasil perhitungan analisis menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* terhadap postur duduk untuk konfigurasi 1B seperti pada Gambar 4.8 memberikan *grand score* sebesar 4. Postur duduk pada konfigurasi 1B ini juga memiliki karakteristik kaki tertumpu pada sandaran kaki dan tangan yang tertumpu pada meja seperti dapat dilihat pada Gambar 4.8 di atas. Kelompok bagian tubuh A menghasilkan nilai masing-masing 4 untuk lengan atas, 2 untuk lengan bawah, 1 untuk pergelangan tangan dan 2 untuk perputaran pergelangan tangan. Nilai sebesar 2 untuk lengan bawah dan sebesar 1 untuk pergelangan tangan menunjukkan bahwa kedua anggota tubuh ini masih berada pada posisi yang normal. Perputaran pergelangan tangan yang memiliki nilai sebesar 2

mengindikasikan bahwa pergelangan tangan masih dalam posisi yang cukup nyaman.

Sementara itu, nilai yang diperoleh untuk kelompok bagian tubuh B adalah 2 untuk leher dan 3 untuk batang tubuh. Pada postur ini, leher siswa berada pada keadaan cukup normal, tidak terlalu menunduk maupun mendongak. Nilai 3 untuk bagian batang tubuh diakibatkan oleh tubuh siswa yang agak miring kearah depan untuk mendekati meja. Pada akhirnya hasil kalkulasi dari kedua bagian anggota tubuh ini memberikan *grand score* sebesar 3 yang berarti dibutuhkan investigasi lebih lanjut dan memungkinkan perlu adanya perubahan terhadap postur ini

Nilai LBA, OWAS dan RULA yang tersebut selanjutnya dikalkulasi menggunakan rumus 2.1 pada bab 2 sebelumnya untuk memperoleh nilai *Posture Evaluation Index* (PEI). Nilai PEI untuk konfigurasi 1B ini adalah sebesar 1,57760504.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Nilai untuk Konfigurasi 1B

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
905	2	4	1,57760504

4.3. Analisis Postur Duduk dengan Desain Usulan

Setelah sebelumnya dilakukan analisis terhadap postur duduk aktual yang dibuat berdasarkan hasil pengamatan penulis pada kondisi sebenarnya, selanjutnya analisis dilakukan terhadap postur duduk yang sudah menggunakan desain meja dan kursi usulan. Dalam penelitian ini terdapat 12 konfigurasi yang dilakukan, masing-masing diujikan untuk siswa dengan persentil 5 dan 95. Ukuran desain kursi dan meja usulan pada bagian ini telah dihitung sesuai dengan antropometri tubuh anak, dengan adanya modifikasi pada bagian kemiringan sandaran kursi dan kemiringan permukaan meja. Kemiringan sandaran kursi dibuat dalam 2 macam modifikasi yaitu 100 dan 110 derajat. Kemiringan dudukan kursi dibuat dalam 2 macam yaitu 5 dan 10 derajat. Sementara untuk kemiringan permukaan meja

dibuat dalam 3 macam modifikasi yaitu 10, 15 dan 20 derajat. Rekapitulasi ke-24 konfigurasi usulan yang akan diujikan dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini:

Tabel 4.10 Rekapitulasi 24 Konfigurasi Usulan yang Akan Diujikan

No	Konfigurasi	Persentil	Kemiringan dudukan	Kemiringan sandaran	Kemiringan sandaran - Kemiringan Dudukan	Kemiringan permukaan meja
1	2A	5	5	100	95	10
2	2B	95	5	100	95	10
3	2C	5	5	100	95	15
4	2D	95	5	100	95	15
5	2E	5	5	100	95	20
6	2F	95	5	100	95	20
7	3A	5	5	110	105	10
8	3B	95	5	110	105	10
9	3C	5	5	110	105	15
10	3D	95	5	110	105	15
11	3E	5	5	110	105	20
12	3F	95	5	110	105	20
13	4A	5	10	100	90	10
14	4B	95	10	100	90	10
15	4C	5	10	100	90	15
16	4D	95	10	100	90	15
17	4E	5	10	100	90	20
18	4F	95	10	100	90	20
19	5A	5	10	110	100	10
20	5B	95	10	110	100	10
21	5C	5	10	110	100	15
22	5D	95	10	110	100	15
23	5E	5	10	110	100	20
24	5F	95	10	110	100	20

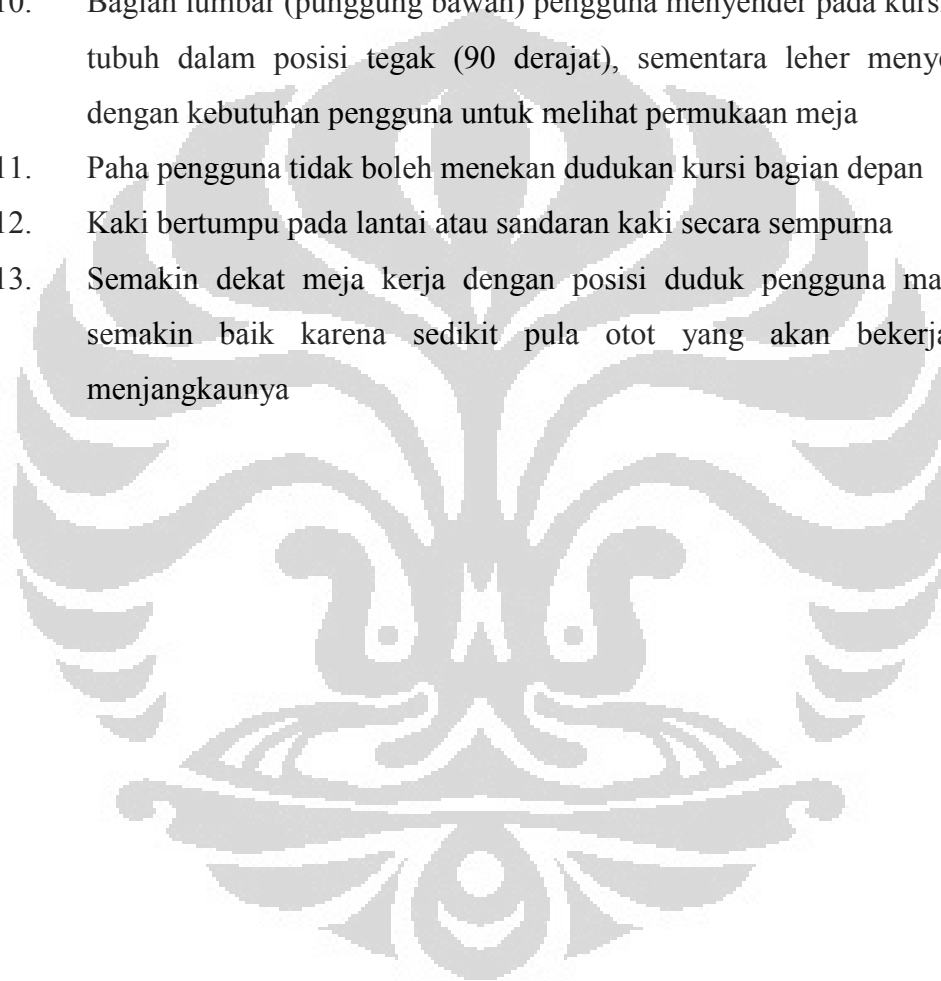
4.3.1. Analisis Postur Duduk Persentil 5 dengan Desain Usulan

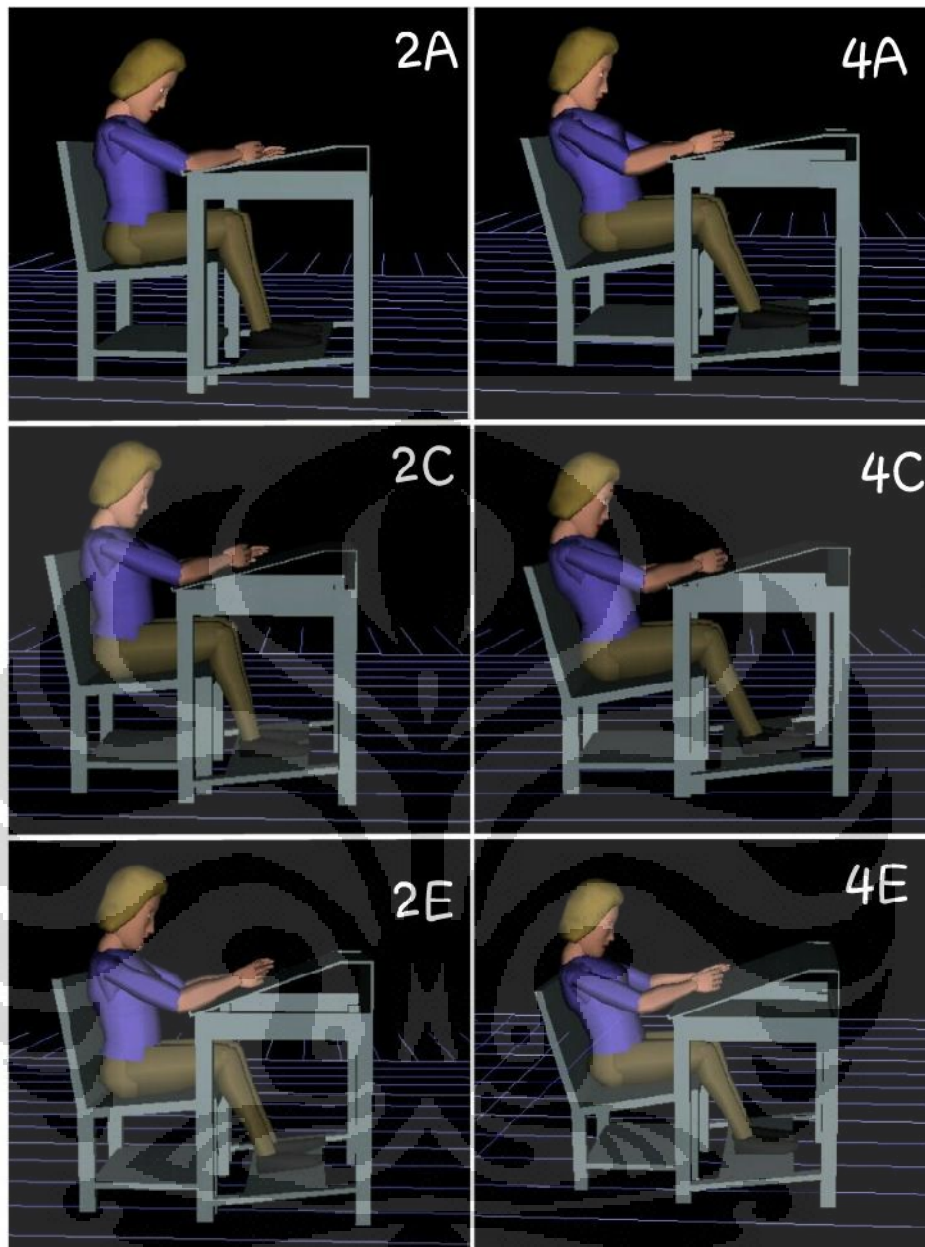
Dalam analisis ini terdapat 12 macam konfigurasi yang akan diujikan, yaitu konfigurasi 2A, 2C, 2E, 3A, 3C, 3E, 4A, 4C, 4E, 5A, 5C dan 5E. Objek yang di analisis dalam konfigurasi ini merupakan siswa dengan ukuran tubuh

Universitas Indonesia

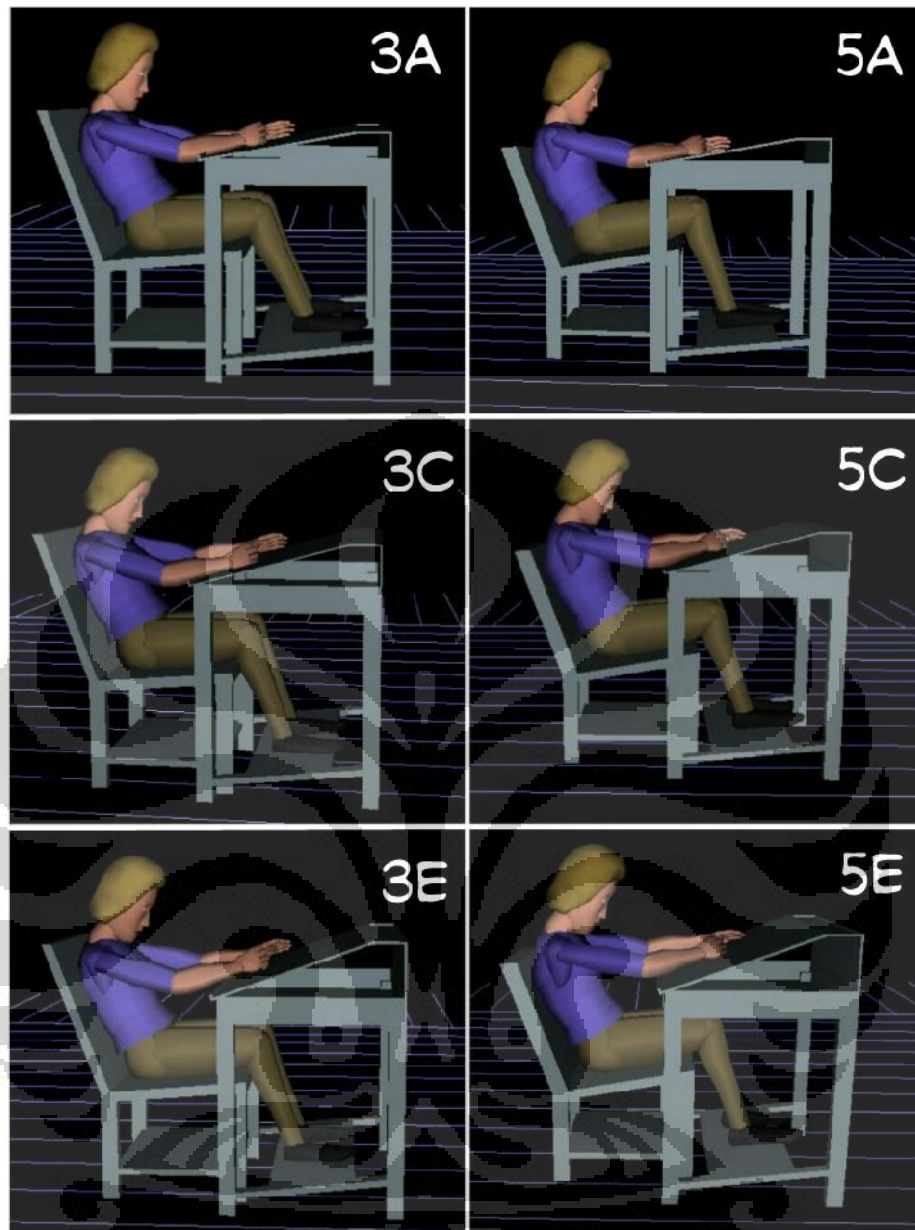
persentil 5. Postur duduk model manusia virtual dalam konfigurasi ini dibuat dengan mengikuti kaidah-kaidah postur duduk yang benar, diantaranya:

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





Gambar 4.9 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5
(Bagian 1)



Gambar 4.10 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5
(Bagian 2)

Tahap awal analisis konfigurasi postur duduk untuk desain usulan sama seperti tahap analisis postur duduk aktual sebelumnya yaitu dimulai dengan analisis hasil nilai SSP. Setelah dilakukan analisis SSP tersebut, ternyata kedua belas konfigurasi seluruhnya memiliki nilai SSP diatas 90 persen untuk seluruh

Universitas Indonesia

anggota tubuh. Dengan demikian, tahap analisis ini dapat kita lanjutkan dengan 3 metode selanjutnya, yaitu LBA, OWAS dan RULA hingga nantinya kita dapat menghitung nilai PEI sebagai hasil akhir analisis postur duduk yang bersangkutan. Tabel 4.11 di bawah ini menunjukkan nilai LBA, OWAS, RULA dan PEI untuk setiap konfigurasi yang diujikan pada siswa dengan persentil 5.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 5

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
2A	362	1	3	0.965042017
2C	353	1	3	0.962394958
2E	330	1	3	0.955630252
3A	318	2	5	1.607815126
3C	305	2	5	1.603991597
3E	300	2	5	1.602521008
4A	401	2	5	1.632226891
4C	392	2	5	1.629579832
4E	381	2	5	1.626344538
5A	290	1	3	0.943865546
5C	279	1	3	0.940630252
5E	270	1	3	0.937983193

Pada tabel hasil analisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada software Jack 6.1 diatas dapat kita lihat bahwa nilai PEI untuk konfigurasi 5E merupakan nilai paling kecil dan nilai PEI paling besar ada pada konfigurasi 4A. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa postur duduk paling baik adalah postur duduk pada konfigurasi 5E, sebaliknya postur duduk yang paling buruk dibentuk oleh konfigurasi 4A.

Untuk nilai LBA, konfigurasi 5E juga memberikan nilai yang paling kecil dan yang terbesar adalah pada konfigurasi 4A. Berdasarkan tabel diatas, maka terlihat bahwa nilai LBA semakin kecil saat sudut kemiringan kursi semakin besar. Hal ini dapat kita amati dari konfigurasi dengan sandaran sebesar 110 derajat yaitu 3A, 3C, 3E, 5A, 5C dan 5E memiliki nilai LBA lebih kecil dibandingkan konfigurasi lainnya dengan kemiringan sandaran sebesar 100

derajat. Kemiringan sandaran kursi yang makin besar akan menyebabkan sudut antara paha dengan batang tubuh menjadi lebih besar, sehingga bobot tubuh pengguna yang ditopang oleh sandaran tersebut menjadi semakin besar pula. Dengan demikian nilai LBA yang menunjukkan tekanan atau beban yang ditumpu oleh tulang belakang akan menjadi semakin kecil. Apabila sandaran kursi semakin tegak maka bobot tubuh siswa akan mengikuti gravitasi ke arah bawah, yang menyebabkan tekanan atau beban yang ditumpu oleh tulang belakang menjadi lebih besar.

Kemiringan dudukan kursi juga berpengaruh terhadap nilai LBA yang didapatkan. Kursi dengan kemiringan dudukan sebesar 10 derajat menghasilkan nilai LBA yang lebih kecil juga karena sekaligus membentuk sudut postur duduk siswa. Konfigurasi 5E dengan nilai PEI terkecil memiliki kemiringan sandaran sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan sebesar 10 derajat yang membuat postur duduk siswa berada pada posisi 100 derajat.

Sementara itu, kemiringan permukaan meja juga berpengaruh pada nilai LBA yang diperoleh. Hal ini dapat terlihat dari nilai LBA 2E yang lebih kecil dibandingkan nilai LBA 2A dan 2C, selain itu nilai LBA 3E lebih kecil dari nilai LBA 3C dan 3A, begitu seterusnya sampai konfigurasi ke-5. Dari perbandingan ini dapat dilihat bahwa konfigurasi dengan kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat menghasilkan nilai LBA yang lebih kecil dibandingkan konfigurasi dengan kemiringan permukaan meja sebesar 10 dan 15 derajat. Konfigurasi dengan kemiringan permukaan meja sebesar 10 derajat dan 15 derajat akan mengakibatkan leher pengguna memiliki kemiringan yang lebih besar ke arah depan (menunduk) untuk dapat melihat permukaan meja dengan baik. Semakin menunduk leher pengguna, maka akan semakin besar beban yang ditumpu olehnya. Seperti kita ketahui bahwa tulang leher juga merupakan bagian dari rangkaian tulang belakang manusia, dengan demikian beban yang lebih besar pada tulang leher secara langsung akan menimbulkan beban yang lebih besar juga pada tulang belakang. Hal inilah yang menyebabkan nilai LBA pada konfigurasi dengan kemiringan permukaan meja sebesar 10 dan 15 derajat menjadi lebih besar

dibandingkan nilai LBA pada konfigurasi dengan kemiringan permukaan meja 20 derajat, walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan.

Namun demikian, seluruh nilai LBA pada 12 konfigurasi ini masih berada jauh dibawah nilai NIOSH *Back Compression Action Limit* yaitu sebesar 3400 Newton dan juga lebih kecil dibandingkan nilai LBA pada konfigurasi aktual untuk persentil 5 yaitu sebesar 838 Newton pada konfigurasi 1A. Hal ini menunjukkan bahwa postur tubuh siswa yang dibentuk pada konfigurasi menggunakan desain usulan ini sudah lebih baik.

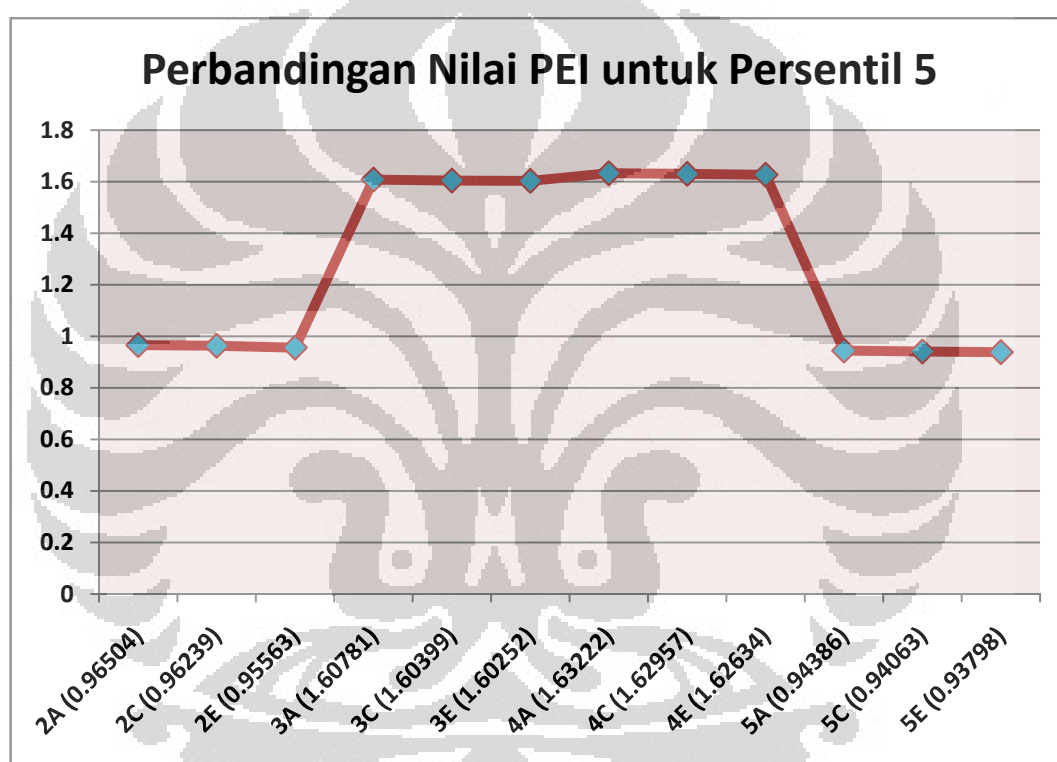
Selanjutnya, kita akan menganalisis nilai OWAS pada keduabelas konfigurasi menggunakan desain meja dan kursi usulan ini. Pada tabel 4.16 kita dapat melihat bahwa nilai OWAS untuk konfigurasi 2A, 2C, 2E dan 5A, 5C, 5E lebih kecil dari nilai OWAS konfigurasi lainnya, yaitu bernilai 1. Sudut antara paha dengan batang tubuh yang dibentuk oleh sudut kursi mempengaruhi besarnya nilai OWAS. Dalam hal ini, nilai OWAS terbaik berada pada sudut kursi sebesar 95 derajat dan 100 derajat. Sudut kursi 95 derajat dibentuk oleh kursi dengan kemiringan sandaran sebesar 100 derajat dan kemiringan dudukan sebesar 5 derajat (konfigurasi 2A, 2C, 2E), sedangkan sudut kursi 100 derajat dibentuk oleh kursi dengan kemiringan sandaran 110 derajat dan kemiringan dudukan 10 derajat (konfigurasi 5A, 5C, 5E). Namun demikian, seluruh nilai OWAS yang diperoleh pada keenam konfigurasi tersebut masih menunjukkan postur duduk yang tidak membahayakan. Untuk konfigurasi 2A, 2C, 2E dan 5A, 5C, 5E memiliki nilai OWAS 1, berarti postur duduk yang dibentuk sudah normal dan *natural*, sehingga tidak dibutuhkan tindakan perbaikan terhadap kedua postur ini. Sementara untuk konfigurasi 3A, 3C, 3E dan 4A, 4C, 4E memiliki nilai OWAS 2 yang berarti postur tubuh ini masih cukup baik dengan musculoskeletal loading yang tidak ekstrim, namun demikian ada usulan untuk melakukan tindakan perbaikan.

Tabel 4.12 Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 5

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

Hasil analisis RULA (Tabel 4.12) menunjukkan nilai yang berbeda-beda untuk tiap konfigurasi. Konfigurasi 2A, 2C, 2E dan 5A, 5C, 5E memberikan hasil nilai RULA yang paling kecil, yaitu 3. Sementara, untuk konfigurasi 3A, 3C, 3E dan 4A, 4C, 4E memiliki nilai RULA sebesar 5. Perbedaan ini diakibatkan oleh perbedaan kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan kursi, derajat sandaran kursi yang dibentuk oleh kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan kursi pada konfigurasi 2A, 2C, 2E adalah sebesar 95 derajat dan pada konfigurasi 5A, 5C, 5E memiliki nilai 100 derajat. Nilai ini berada di tengah dibanding konfigurasi lainnya. Derajat sandaran kursi yang dibentuk oleh kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan kursi pada konfigurasi 3A, 3C, 3E adalah sebesar 105 derajat dan pada konfigurasi 4A, 4C, 4E memiliki nilai 90 derajat. Perbedaan paling besar terutama dapat dilihat pada nilai RULA untuk bagian *trunk* (batang tubuh). Pada konfigurasi 2A, 2C, 2E dan 5A, 5C, 5E, bagian batang tubuh ini memiliki nilai 1, sedangkan pada keenam konfigurasi lainnya memiliki nilai 4. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun pada seluruh konfigurasi postur duduk ini, penulis memposisikan batang tubuh yang tegak untuk model manusia virtual namun ternyata bagian lumbar yang menyender pada kemiringan kursi yang berbeda-beda masih memberikan pengaruh terhadap nilai RULA. Dalam hal ini kemiringan sandaran kursi yang

lebih besar akan membuat sudut yang dibentuk oleh paha dan batang tubuh menjadi lebih besar sehingga menghasilkan nilai RULA yang semakin besar pula. Dengan demikian berdasarkan hasil analisis nilai RULA untuk keenam konfigurasi tersebut mengindikasikan bahwa postur duduk pada konfigurasi 2A, 2C, 2E dan 5A, 5C, 5E masih memerlukan investigasi lebih lanjut dan kemungkinan akan dibutuhkan perbaikan, sebaliknya untuk konfigurasi 3A, 3C, 3E dan 4A, 4C, 4E harus dilakukan investigasi dan perubahan segera karena postur tubuh yang dibentuk pada keempat konfigurasi ini cukup membahayakan.



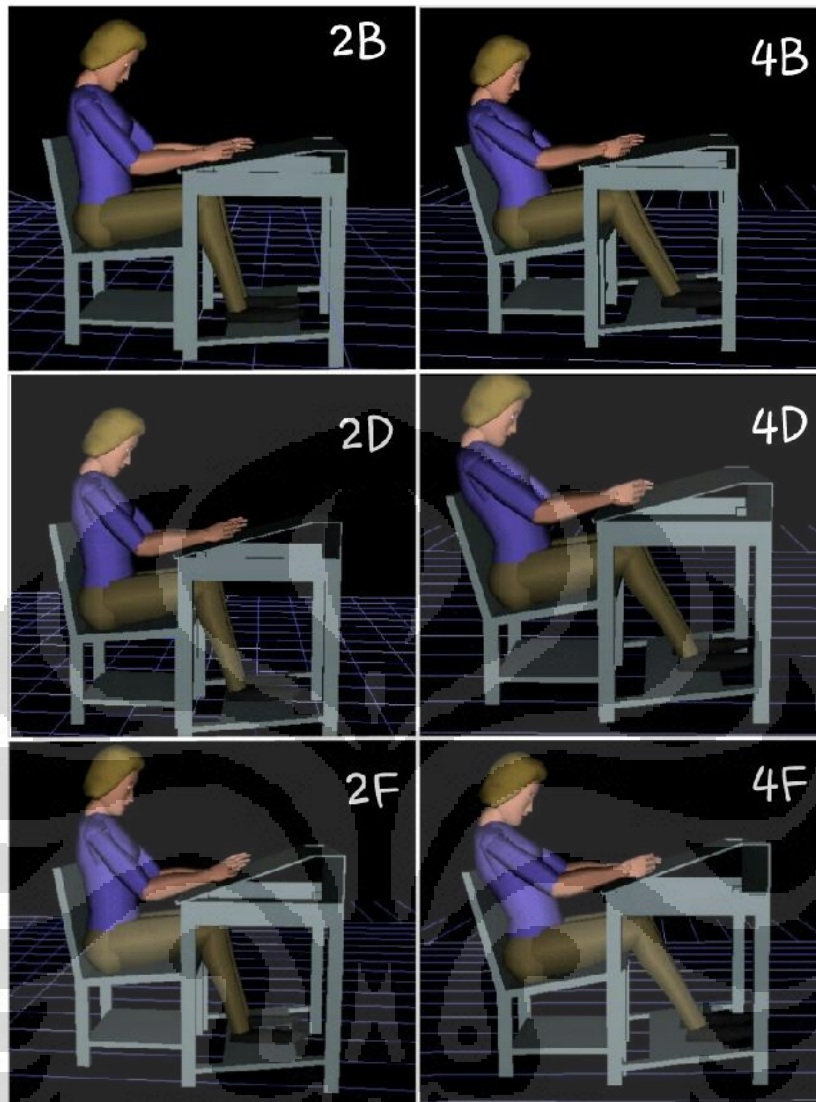
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Persentil 5

Grafik 4.11 di atas menunjukkan perbandingan nilai PEI yang diperoleh dari keduabelas konfigurasi menggunakan desain meja dan kursi usulan untuk siswa dengan persentil 5. Titik-titik biru pada grafik menunjukkan besarnya nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi. Dengan demikian dapat kita lihat bahwa pada bagian tengah grafik memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan bagian kanan

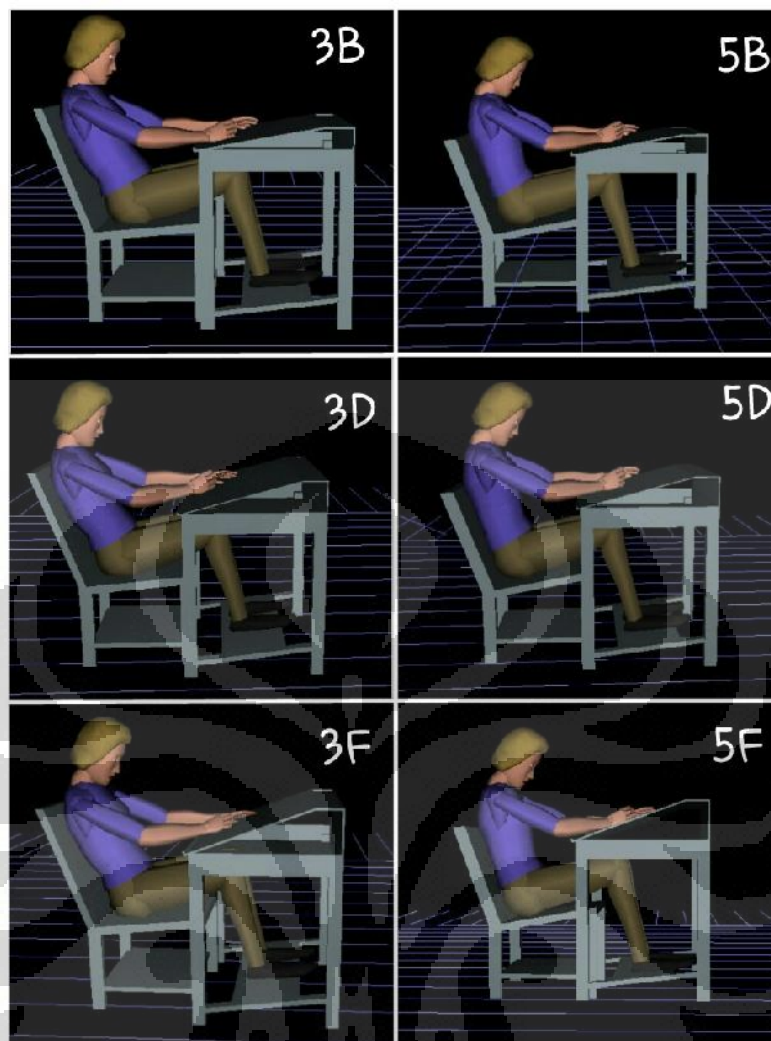
dan kiri. Konfigurasi 5E memiliki nilai PEI yang terbaik yaitu sebesar 0,93798 namun demikian nilai ini hanya berbeda sedikit dibandingkan nilai PEI untuk konfigurasi 5C sebesar 0,94063. Konfigurasi 5A, 2A, 2C dan 2E juga hanya memiliki perbedaan nilai PEI yang sangat sedikit. Hal ini disebabkan karena antara konfigurasi 5A, 5C dan 5E dan maupun konfigurasi 2A, 2C dan 2E masing-masing hanya memiliki perbedaan pada kemiringan permukaan meja sebesar 5 derajat, sehingga nilai PEI yang dihasilkan tidak berbeda jauh. Kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat memberikan hasil nilai PEI yang lebih baik dibandingkan dengan kemiringan permukaan meja 10 dan 15 derajat. Sementara itu, untuk pengaruh variable kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan terhadap nilai PEI terlihat bahwa sudut 100 derajat yang dibentuk dari kemiringan sandaran sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan 10 derajat serta sudut 95 derajat yang dibentuk dari kemiringan sandaran sebesar 100 derajat dan kemiringan dudukan sebesar 5 derajat memiliki nilai yang lebih baik, hal ini terlihat pada konfigurasi 2A, 2C, 2E dan 5A, 5C, 5E yang memiliki nilai PEI jauh lebih kecil dibandingkan enam konfigurasi lainnya. Sebagai kesimpulan, kombinasi terbaik berada pada konfigurasi 5E yaitu dengan kemiringan sandaran kursi sebesar 110 derajat, kemiringan dudukan sebesar 10 derajat dan kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat yang memberikan nilai PEI terbaik sebesar 0,93798.

4.3.2. Analisis Postur Duduk Persentil 95 dengan Desain Usulan

Dalam analisis yang terakhir ini juga terdapat 12 macam konfigurasi yang akan diujikan, yaitu konfigurasi 2B, 2D, 2F, 3B, 3D, 3F, 4B, 4D, 4F, 5B, 5D dan 5F. Objek yang di analisis dalam konfigurasi ini merupakan siswa dengan ukuran tubuh persentil 95. Postur duduk model manusia virtual dalam konfigurasi ini dibuat dengan mengikuti kaidah-kaidah postur duduk yang benar, sama seperti konfigurasi untuk persentil 5 yang telah dianalisis sebelumnya. Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 menunjukkan model manusia virtual untuk konfigurasi usulan pada persentil 95.



Gambar 4.12 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95
(Bagian 1)



Gambar 4.13 Model Manusia Virtual untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95
(Bagian 2)

Hasil dari analisis nilai SSP terhadap 12 konfigurasi diatas menghasilkan nilai diatas 90 persen untuk seluruh anggota tubuh pada masing-masing postur konfigurasi. Hal ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dibentuk akan dapat dilakukan oleh minimal 90 persen dari populasi yang diwakili. Maka selanjutnya kita dapat menganalisis keduabelas konfigurasi tersebut lebih lanjut dengan metode LBA, OWAS dan RULA untuk memperoleh nilai PEI sebagai hasil akhir dari analisis postur duduk ini.

Tabel 4.13 Rekapitulasi Nilai Konfigurasi Usulan Persentil 95

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
2B	376	1	3	0.969159664
2D	370	1	3	0.967394958
2F	355	1	3	0.962983193
3B	452	2	6	1.850084034
3D	444	2	6	1.847731092
3F	438	2	6	1.845966387
4B	489	2	5	1.658109244
4D	483	2	5	1.656344538
4F	474	2	5	1.653697479
5B	318	1	3	0.95210084
5D	309	1	3	0.949453782
5F	297	1	3	0.94592437

Analisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada software Jack 6.1 menghasilkan 3 buah nilai yang menggambarkan ergonomi postur duduk yang diujikan, seperti tertera pada tabel diatas, yaitu nilai LBA, OWAS, RULA. Kemudian penghitungan ketiga nilai tersebut menggunakan rumus nilai PEI akan menghasilkan sebuah nilai PEI untuk setiap postur duduk yang diujikan. Berdasarkan tabel diatas dapat kita lihat bahwa konfigurasi 5F menghasilkan nilai PEI yang terkecil dan nilai PEI terbesar terdapat pada konfigurasi 3B. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa postur duduk pada konfigurasi 5F merupakan postur duduk yang terbaik untuk siswa.

Analisis keenam metode diatas dengan metode LBA ternyata memberikan hasil yang sama seperti analisis LBA untuk persentil 5, yaitu konfigurasi dengan nomor 5 memberikan nilai LBA yang paling kecil. Pada hasil analisis persentil 5, konfigurasi 5E memiliki nilai LBA terkecil dan ternyata hasil analisis persentil 95 juga memberikan hasil bahwa konfigurasi 5F yang memiliki nilai LBA terkecil. Konfigurasi ini memiliki karakteristik kemiringan sandaran kursi sebesar 110 derajat, kemiringan dudukan sebesar 10 derajat dan kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat. Hasil yang sama dengan hasil analisis untuk konfigurasi persentil 5 juga ditunjukkan oleh nilai LBA yang nilainya berkaitan dengan besar

sudut yang dibentuk dari kemiringan sandaran kursi dan dudukan kursi. Hal ini jelas terlihat pada nilai hasil analisis LBA untuk konfigurasi 2B, 2D, 2F maupun konfigurasi 3B, 3D, 3F. Masing-masing konfigurasi tersebut memiliki perbedaan pada karakteristik sudut yang dibentuk dari kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan kursi. Dari tabel terlihat bahwa nilai LBA untuk konfigurasi 3B, 3D, 3F lebih besar jika dibandingkan dengan nilai LBA untuk konfigurasi 5B, 5D, 5F walaupun sama-sama memiliki kemiringan sandaran kursi sebesar 110 derajat. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan sudut dudukan kursi sehingga sudut kursi yang dibentuk menjadi berbeda. Untuk konfigurasi 5B, 5D, 5F sudut yang dibentuk adalah 100 derajat sedangkan untuk konfigurasi 3B, 3D, 3F sudut yang dibentuk adalah 105 derajat. Demikian juga, nilai LBA untuk konfigurasi 2A, 2D, 2F juga lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai LBA untuk konfigurasi 4B, 4D, 4F yang memiliki kemiringan sandaran kursi sama yaitu sebesar 100 derajat. Untuk konfigurasi 2A, 2D, 2F sudut yang dibentuk adalah 95 derajat sedangkan untuk konfigurasi 4B, 4D, 4F sudut yang dibentuk adalah 90 derajat. Hal ini juga dikarenakan adanya perbedaan sudut dudukan kursi sehingga sudut kursi yang dibentuk juga menjadi berbeda. Seperti yang telah dianalisis sebelumnya bahwa kemiringan sandaran kursi yang makin besar akan menyebabkan sudut antara paha dengan batang tubuh menjadi lebih besar, begitu pula sebaliknya, sehingga bobot tubuh pengguna yang menyender pada sandaran akan semakin banyak ditopang oleh sandaran tersebut. Besarnya bobot tubuh yang ditopang oleh sandaran tersebutlah yang menyebabkan nilai LBA akan menjadi semakin kecil, karena bobot tubuh yang ditopang oleh tulang belakang menjadi berkurang dan hanya memberikan tekanan yang kecil kepada tulang belakang. Sebaliknya, apabila sandaran kursi semakin tegak, yang berarti sudut antara paha dengan batang tubuh akan semakin kecil, maka bobot tubuh siswa akan berpusat pada bagian bokong dan tulang belakang bagian bawah yang menyebabkan nilai LBA akan semakin besar.

Di lain sisi, kemiringan permukaan meja juga ternyata mempengaruhi nilai LBA yang diperoleh. Dari tabel dapat diperhatikan bahwa nilai LBA 5F lebih

kecil dibandingkan nilai LBA 5B dan 5D, demikian juga nilai LBA 4F lebih kecil dari nilai LBA 4B dan 4D dan seterusnya. Dari ketiga perbandingan ini maka *trend* yang dapat dilihat adalah bahwa konfigurasi yang memiliki karakteristik kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat akan menghasilkan nilai LBA yang lebih kecil dibandingkan konfigurasi dengan karakteristik kemiringan permukaan meja sebesar 10 derajat. Postur duduk yang dibentuk oleh konfigurasi yang memiliki kemiringan permukaan meja sebesar 10 derajat akan mengakibatkan leher pengguna harus lebih menunduk ke arah depan agar bisa menulis dengan baik di atas meja. Seperti kita sudah ketahui bahwa semakin menunduk leher pengguna, maka akan semakin besar beban yang ditumpu olehnya. Sebagai sebuah susunan anatomi, tulang leher juga merupakan rangkaian dari tulang belakang, maka beban yang lebih besar pada tulang leher secara langsung juga akan memberikan beban yang lebih besar juga pada tulang belakang. Hal inilah yang kemudian menyebabkan nilai LBA pada konfigurasi yang memiliki karakteristik kemiringan permukaan meja sebesar 10 derajat menjadi sedikit lebih besar.

NIOSH *Back Compression Action Limit* memiliki nilai sebesar 3400 Newton untuk nilai beban maksimal yang dapat diterima oleh tulang belakang manusia. Seluruh nilai LBA yang dihasilkan dari analisis postur duduk dengan menggunakan desain usulan untuk persentil 95 ternyata memberikan nilai yang masih jauh dibatas batasan dari NIOSH tersebut. Selain itu, nilai LBA untuk keenam konfigurasi tersebut juga lebih kecil dibandingkan nilai LBA pada konfigurasi aktual untuk persentil 95 yaitu sebesar 905 Newton. Hal ini mengindikasikan bahwa postur tubuh siswa yang dibentuk pada konfigurasi menggunakan desain usulan ini sudah lebih baik.

Berdasarkan tabel diperoleh bahwa konfigurasi 2B, 2D, 2F dan 5B, 5D, 5F memiliki nilai OWAS sebesar 1, lebih kecil dibandingkan nilai OWAS untuk 6 konfigurasi lainnya. Apabila diperhatikan dari postur duduk yang dibentuk pada konfigurasi tersebut, maka dapat diartikan bahwa sudut antara paha dengan batang tubuh tidak boleh terlalu besar ataupun terlalu kecil karena akan berpengaruh

terhadap nilai OWAS. Sudut ini dibentuk dari kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan kursi. Nilai OWAS untuk duabelas konfigurasi tersebut yang berkisar antara 1 hingga 2 menandakan bahwa postur duduk yang dibentuk oleh duabelas konfigurasi tersebut masih cukup aman dan tidak memerlukan perubahan secara segera. Konfigurasi 2B, 2D, 2F dan 5B, 5D, 5F dengan nilai OWAS sebesar 1 memiliki postur duduk yang normal dan *natural*, sehingga tidak dibutuhkan tindakan perbaikan terhadap kedua postur ini. Sementara untuk keenam konfigurasi lainnya 3B, 3D, 3F dan 4B, 4D, 4F, yang memiliki nilai OWAS 2 berarti postur tubuh ini masih cukup baik dengan musculoskeletal loading yang tidak ekstrim, namun demikian ada usulan untuk melakukan tindakan perbaikan.

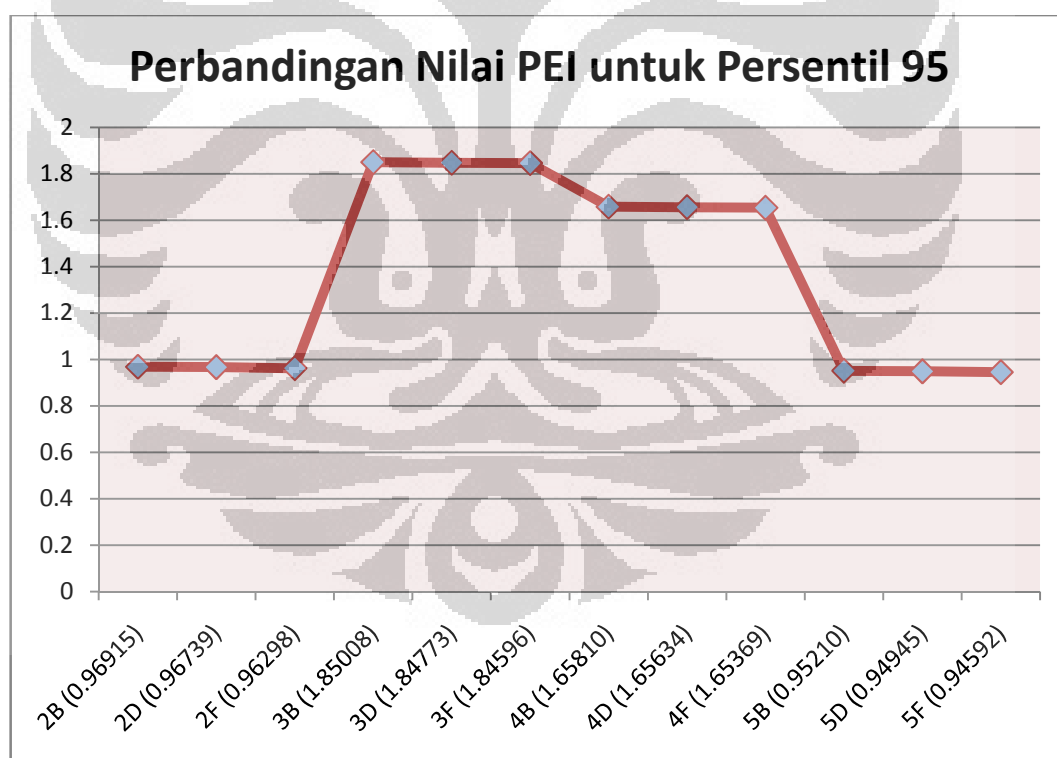
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai RULA untuk Konfigurasi Usulan Persentil 95

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

Hasil analisis RULA menunjukkan nilai yang berbeda-beda untuk tiap konfigurasi. Konfigurasi 2B, 2D, 2F dan 5B, 5D, 5F memberikan hasil nilai RULA sebesar 3, sementara konfigurasi 4B, 4D, 4F memiliki nilai RULA yang lebih besar, yaitu 5. Sedangkan, konfigurasi 3B, 3D, 3F memiliki nilai RULA yang paling besar yaitu . Sama seperti hasil analisis RULA untuk persentil 5, hasil ini juga menggambarkan bahwa sudut yang dibentuk oleh kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan dengan nilai 95 dan 100 derajat memberikan hasil nilai RULA yang lebih baik. Kedua hasil analisis nilai RULA untuk persentil 5 dan 95 menunjukkan bahwa sudut 100 derajat yang dibentuk oleh kemiringan

sandaran kursi sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan sebesar 10 derajat memberikan hasil nilai RULA yang paling kecil (paling baik). Namun terdapat sedikit perbedaan antara hasil analisis ini pada konfigurasi dengan sudut 95 derajat yang dibentuk dari kemiringan sandaran kursi 100 derajat dan kemiringan dudukan 5 derajat. Hasil analisis nilai RULA pada keduabelas konfigurasi untuk persentil 95 ini mengindikasikan bahwa postur duduk yang dibentuk pada konfigurasi 2B, 2D, 2F dan 5B, 5D, 5F masih memerlukan investigasi lebih lanjut dan terdapat kemungkinan akan dibutuhkan perbaikan kedepannya, sedangkan konfigurasi 3B, 3D, 3F dan 4B, 4D, 4F membutuhkan investigasi dan perubahan segera karena postur tubuh yang dibentuk pada keenam konfigurasi ini cukup membahayakan.

Gambar 4.14 di bawah ini merupakan grafik perbandingan nilai PEI yang dihasilkan oleh masing-masing konfigurasi pada siswa dengan ukuran tubuh persentil 95 yang menggunakan desain usulan kursi dan meja.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai PEI Konfigurasi Usulan Persentil 95

Grafik garis diatas menunjukkan perbandingan nilai PEI yang diperoleh dari keenam konfigurasi menggunakan desain meja dan kursi usulan untuk siswa dengan persentil 95. Titik-titik biru pada grafik mewakili nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi. Pada grafik tersebut dapat kita perhatikan bahwa nilai PEI untuk konfigurasi 5F adalah yang paling kecil dan nilai yang terbesar pada konfigurasi 3B. Konfigurasi 5F memiliki nilai PEI yang terbaik yaitu sebesar 0,94592. Nilai ini hanya sedikit lebih kecil dibandingkan nilai PEI untuk konfigurasi 5B dan 5D yaitu masing-masing sebesar 0,95210 dan 0,94945. Perbedaan nilai yang sangat kecil ini juga dapat terlihat pada perbandingan nilai PEI antara konfigurasi 2B, 2D, 2F dengan konfigurasi 5B, 5D, 5F. Dengan demikian, sama seperti hasil analisis nilai PEI untuk persentil 5, pada persentil 95 ini juga variable kemiringan permukaan meja tidak memberikan perbedaan nilai PEI yang signifikan, konfigurasi dengan karakteristik kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat tetap memberikan hasil nilai PEI yang lebih baik dibandingkan dengan kemiringan permukaan meja 10 dan 15 derajat. Sebaliknya, variabel kemiringan sandaran kursi dan kemiringan dudukan kursi yang membentuk sudut kursi memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai PEI, terlihat bahwa kemiringan sandaran kursi antara 95 dan 100 derajat memberikan nilai PEI yang lebih baik, yaitu seperti pada konfigurasi 2B, 2D, 2F dan 5B, 5D, 5F yang memiliki nilai PEI jauh lebih kecil dibandingkan 6 konfigurasi lainnya. Nilai PEI terbaik dari hasil analisis ini berada pada konfigurasi 5F yang memiliki karakteristik kemiringan sandaran kursi sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan 10 derajat sehingga membentuk sudut kursi menjadi 100 derajat serta kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat yang memberikan nilai PEI sebesar 0,94592.

4.4. Rekapitulasi Akhir Hasil Analisis PEI

Setelah dilakukan analisis dan perbandingan untuk masing-masing nilai PEI, baik pada kondisi aktual maupun pada kondisi yang menggunakan desain usulan, seluruh nilai hasil analisis ergonomi postur duduk ini direkapitulasi dalam sebuah tabel. Hasil rekapitulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.15 dibawah ini.

Universitas Indonesia

Tabel 4.15 Rekapitulasi Nilai PEI dari Seluruh Konfigurasi

Konfigurasi	Persentil	Kemiringan Dudukan Kursi	Kemiringan Sandaran Kursi	Kemiringan Permukaan Meja	LBA	OWAS	RULA	PEI
1A	0	0	90	0	838	3	6	2.21361345
1B	0	0	90	0	905	2	4	1.57760504
2A	5	5	100	10	362	1	3	0.96504202
2B	95	5	100	10	376	1	3	0.96915966
2C	5	5	100	15	353	1	3	0.96239496
2D	95	5	100	15	370	1	3	0.96739496
2E	5	5	100	20	330	1	3	0.95563025
2F	95	5	100	20	355	1	3	0.96298319
3A	5	5	110	10	318	2	5	1.60781513
3B	95	5	110	10	452	2	6	1.85008403
3C	5	5	110	15	305	2	5	1.6039916
3D	95	5	110	15	444	2	6	1.84773109
3E	5	5	110	20	300	2	5	1.60252101
3F	95	5	110	20	438	2	6	1.84596639
4A	5	10	100	10	401	2	5	1.63222689
4B	95	10	100	10	489	2	5	1.65810924
4C	5	10	100	15	392	2	5	1.62957983
4D	95	10	100	15	483	2	5	1.65634454
4E	5	10	100	20	381	2	5	1.62634454
4F	95	10	100	20	474	2	5	1.65369748

Tabel 4.15 Rekapitulasi Nilai PEI dari Seluruh Konfigurasi (Sambungan)

5A	5	10	110	10	290	1	3	0.94386555
5B	95	10	110	10	318	1	3	0.95210084
5C	5	10	110	15	279	1	3	0.94063025
5D	95	10	110	15	309	1	3	0.94945378
5E	5	10	110	20	270	1	3	0.93798319
5F	95	10	110	20	297	1	3	0.94592437



BAB 5

KESIMPULAN

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

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul “Evaluasi dan Perancangan Desain Usulan Meja dan Kursi Sekolah Menengah Pertama (SMP) yang Ergonomis dalam *Virtual Environment*” ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sampel siswa sebanyak 100 orang dari SMP Negeri 88 Jakarta pernah merasakan gangguan dan rasa sakit pada beberapa anggota tubuh mereka selama melakukan kegiatan belajar didalam kelas. Anggota tubuh yang paling banyak mengalami keluhan adalah leher (75%), pinggang/pinggul (69%) dan punggung bawah (61%).
2. Hasil analisa terhadap ukuran kursi dan meja yang digunakan di SMP Negeri 88 Jakarta menunjukkan bahwa pada beberapa ukuran dimensi kursi dan meja yang digunakan di sekolah ini tidak sesuai dengan ukuran tubuh siswa sehingga membentuk postur duduk yang buruk hingga mengakibatkan cedera pada tubuh siswa. Kesalahan desain yang terjadi diantaranya meja dan kursi terlalu tinggi, sandaran kaki pada kursi terlalu sempit, ruang di bawah meja terlalu sempit dan tidak sesuai kemiringan pada sandaran kursi, dudukan kursi maupun permukaan meja.
3. Nilai PEI dari hasil konfigurasi postur duduk untuk desain meja dan kursi aktual pada siswa dengan persentil 5 adalah sebesar 2,21361 sedangkan untuk persentil 95 adalah 1.57760.
4. Nilai PEI yang dihasilkan dari hasil konfigurasi postur duduk dengan menggunakan desain kursi dan meja usulan pada persentil 5, menunjukkan bahwa nilai PEI terbaik dihasilkan oleh konfigurasi 5E dengan

karakteristik kemiringan sandaran kursi 110 derajat, kemiringan dudukan kursi 10 derajat dan kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat.

5. Nilai PEI yang dihasilkan dari hasil konfigurasi postur duduk dengan menggunakan desain kursi dan meja usulan pada persentil 95, menunjukkan bahwa nilai PEI dihasilkan oleh konfigurasi 5F dengan karakteristik kemiringan sandaran kursi 110 derajat, kemiringan dudukan kursi 10 derajat dan kemiringan permukaan meja sebesar 20 derajat.
6. Kedua nilai PEI yang dihasilkan oleh masing-masing konfigurasi 5E dan 5F tersebut jauh lebih baik dibandingkan nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi aktual 1A dan 1B. Maka dengan demikian dapat disimpulkan bahwa desain usulan kursi dan meja pada konfigurasi 5E dan 5F sudah lebih baik dibandingkan desain kursi dan meja aktual, sehingga dapat membentuk postur duduk yang benar dan tidak mencederai tubuh siswa.
7. Perbandingan nilai PEI untuk konfigurasi postur duduk aktual dan konfigurasi postur duduk dengan desain meja dan kursi usulan memberikan hasil bahwa kombinasi kursi dan meja yang memberikan nilai PEI terbaik adalah kursi dengan sudut sebesar 100 derajat yang dibentuk oleh kemiringan sandaran sebesar 110 derajat dan kemiringan dudukan kursi sebesar 10 derajat serta meja terbaik adalah yang memiliki kemiringan permukaan 20 derajat.

5.2. Saran

Selain memperhatikan desain kursi dan meja yang digunakan, para siswa juga harus diajarkan posisi duduk yang benar. Tentunya akan menjadi sia-sia apabila desain kursi dan meja yang digunakan sudah tepat namun ternyata postur duduk yang dilakukan siswa masih salah. Kombinasi dari desain kursi dan meja yang tepat dengan postur duduk yang benar akan memberikan kenyamanan dan kesehatan musculoskeletal bagi para siswa. Posisi duduk yang benar ini akan menghindarkan siswa dari rasa cepat lelah ataupun kemungkinan cedera. Berikut ini akan dijelaskan kembali postur duduk yang benar untuk siswa : (Sumber : Dr. Dieter Breithecker, www.postureinstyle.com)

1. Kaki bagian bawah harus tegak lurus terhadap lantai, sementara posisi paha horizontal.

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

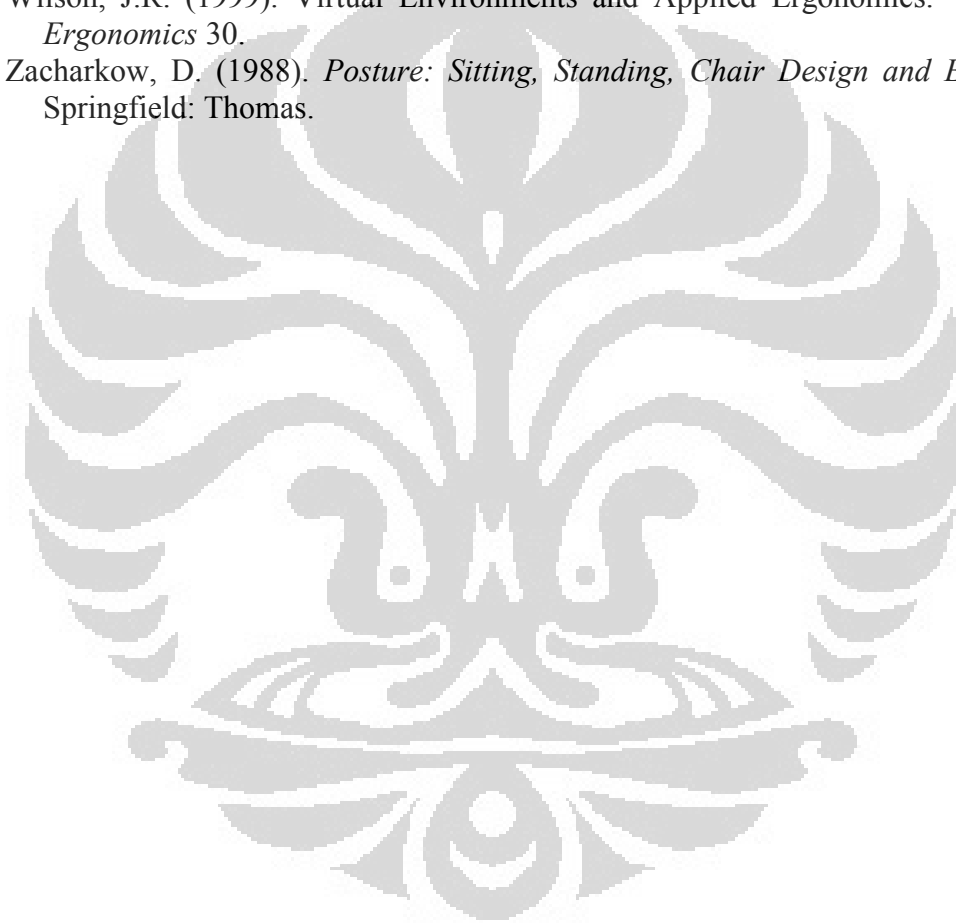
Pengembangan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan cara membuat desain kursi dan meja sekolah yang mempunyai fungsi *adjustable* dan turut mempertimbangkan material dan biaya yang optimal yang akan digunakan, juga akan lebih baik jika data antropometri terus di perbaharui dan diperbanyak pada saat ingin melakukan penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersson, G.B.J., Ortengren, R., Nachemson, A., Elfstrom, G., (1974). Lumbar disc pressure and myoelectric back muscle activity during sitting. I, Studies on an experimental chair. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 3, 104–14.
- Brown, C.R., Schaum, D.L.. (1980). *User-adjusted VDU parameters*. (Cited in Pheasant,2003).
- Bridger, R.S, (1995). *Introduction to Ergonomics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Choffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.
- Choffin, Don. B., *Localized Muscle Fatigue, Definition and Measurement*. *Journal of Occupational Medicine*. 1979: 346
- de Wall, M. Van Riel, M.P.J.M.. Snijders, C.J. (1991). The effect of sitting posture of a desk with 10 degrees inclination for reading and writing. *Ergonomics* 34(5), 576-584.
- Diep, Nguyen Bich. (2003). Evaluation of Fitness Between School Furniture and Children Body Size in Two Primary Schools in Haiphong, Vietnam.
- Franco, G. dan Fusetti, L. (2004). Bernardino Ramazzini's early observation of the link between musculoskeletal disorders and ergonomic factors. *Applied Ergonomics* 35, 67-70.
- Gouvali, K.M., Boudolos, K. (2006). Match between school furniture dimensions and children's anthropometry. *Applied Ergonomics* 37, 765–773.
- Grandjean, E. (1973) *Ergonomics of the Home*. London: Taylor & Francis.
- Grandjean, E., Nishiyama, K., Hunting, W., Piderman, M. (1984). A laboratory study on preferred and imposed settings of a VDT workstation. *Behaviour and Information Technology* 3, 289–304.
- Grimes, P., Legg, S., (2004). Musculoskeletal disorders (MSD) in students as a risk factor for adult MSD: a review of the multiple factors affecting posture, comfort and health in classroom environments. *Journal of the Human Environmental System* 7 (1), 1–9.
- Hedge, Allan. (2001). "RULA Employee Assessment Worksheet", Cornell University, <http://ergo.human.cornell.edu/Pub/AHquest/CURULA.pdf>. (Accessed in Saturday, April 09, 2011, 3:58:56 PM)
- Hedge, Allan. (2009). *Anthropometry and Workspace Design*, Cornell University. <http://ergo.human.cornell.edu/.../DEA3250pdfs/AnthroDesign.pdf>. (Accessed in Saturday, April 09, 2011, 9:32:24 AM)
- Helander, M.G., Czaja, S.J., Drury, C.G., Cary, J.M. (1987). An ergonomic evaluation of office chairs. *Office: Technology and People* 3, 247–262.
- Helander, Martin. (1997). *A Guide to the Ergonomics of Manufacturing*. London: Taylor & Francis.

- Helander, Martin. (2003). *A Guide to Human Factors and Ergonomics* (2nd ed). New York: Taylor & Francis.
- Hira, D.S.. (1980). An ergonomic appraisal of educational desks. *Ergonomics* 23 (3), 213-221.
- Kalawsky, R. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Karwowski, Waldemar. (1991). Complexity, Fuzziness, and Ergonomic Incompability Issues in The Control of Dynamic Work Environment. *Ergonomics* 34, 671-686.
- Kroemer, K.H.E. Kroemer, H.B. Kroemer-Elbert, K.E. (2001). *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Lueder, Rani. (2004). Ergonomics of Seated Movement : A Review of the Scientific Literature. Humanics ErgoSystems, Inc.
- Lueder, Rani, Rice, Valerie J. Berg, 2008. *Ergonomics for Children : Designing products and places for toddler to teens*. New York : Taylor & Francis.
- Lukman, Muhammad. (2008). Pengembangan Prototype Bangku Ergonomis untuk Murid Sekolah Dasar Kelas Satu dan Dua di Malang. Malang : UMM Malang.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Mandal, A.C. (1981). The seated man (Homo sedens): the seated work position, theory and practice. *Applied Ergonomics* 12, 19–26.
- Mandal, A.C (1984). The correct height of school furniture. *Physiotherapy* 70 (2), 48-53
- Mandal, A.C. (1996). Balanced Sitting Posture on Forward Sloping Seat. www.acmandal.com.
- Nowak, Ewa. (2000). Anthropometry of Children. In Karwowsky, Waldemar. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Vol.1*. (pp.246-256). London : Taylor & Francis.
- Oyewole, Samuel A., Haight, Joel M., Freivalds, Andris. (2010). The ergonomic design of classroom furniture/computer work station for first graders in the elementary school. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40, 437-447.
- Panagiotopoulou, G., Christoulas, K., Papanickolaou, A., Mandroukas, K. (2004). Classroom furniture dimensions and anthropometric measures in primary school. *Applied Ergonomics* 35, 121–128.
- Pheasant, Stephen. (1986) *Bodyspace*. London: Taylor and Francis.
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace : Anthropometry, Ergonomics and Design of Work*. London: Taylor & Francis.
- Putz-Anderson, Vern. (Ed.). (2005). *Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Disease of the Upper Limbs*. London: Taylor & Francis
- Sanders, Mark and Ernest McCormick. (1993). *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Suhardiono, (2005). Dampak Meja Kursi Sekolah yang Tidak Ergonomis Terhadap Kesehatan Anak Sekolah Dasar. *Jurnal Mutiara Kesehatan Indonesia* Vol.1.

- Suma'mur, P.K. (1982). *Ergonomi Untuk Produktivitas Kerja*. Jakarta: Yayasan Swabhawa Karya.
- Trevelyan F, C and S.C Legg (2004). *Back Pain in School Children. Where to from here?* Elsevier
- Tuttle, Neil Alan. (2000). *Seat Position and Contours for High School Chairs*. Gold Coast: Griffith University.
- UGS The PLM Company, E-Factory JACK. (2004). UGS Launches New Version of E-factory Jack, its Human Simulation and Ergonomics Analysis Software. 7 Maret 2009. <http://www.plm.automation.siemens.com>
- Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D'Cruz, M.D. & Eastgate, R.M. (1995). *Manufacturing Operations in Virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4, pp. 306–317.
- Wilson, J.R. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics.” *Applied Ergonomics* 30.
- Zacharkow, D. (1988). *Posture: Sitting, Standing, Chair Design and Exercise*. Springfield: Thomas.



Lampiran 1 Contoh Form Pengambilan Data Antropometri

No	Nama	L/P	Kelas	TB	TP	TL	Tpop	Ppop	PT	PLB	PLA	LB	Tba
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													

Lampiran 2 Kuisisioner Identifikasi Keluhan Musculoskeletal



KUISISIONER SKRIPSI

Nama : _____ Kelas : _____
 Usia : _____ L/P : _____

Berikut adalah pertanyaan yang berkaitan dalam pengambilan data penelitian yang akan dilakukan dan gambar di bawah ini menjelaskan bagian-bagian tubuh yang akan ditanyakan dalam kuisisioner. Isilah dengan ceklis (v) pada setiap kotak yang telah diberikan.

BAGIAN TUBUH	Apakah anda pernah merasakan sakit/ tidak nyaman pada saat duduk di kelas pada bagian-bagian tubuh ini?		Jika pernah, maka seberapa sakit/tidak nyamanah bagian tubuh tersebut?		
	Pernah	Tidak pernah	Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman
Leher					
Bahu					
Punggung atas					
Lengan atas					
Lengan bawah					
Punggung bawah					
Pergelangan tangan					
Pinggang/pinggul					
Palma					
Lutut					
Telepek kaki					

Apakah rasa sakit/ tidak nyaman tersebut mengganggu pekerjaan anda?

- Mengganggu
 Tidak mengganggu

Apakah kursi dan meja sekolah yang ada saat ini sudah nyaman?

- Nyaman
 Tidak nyaman

Lampiran 3 Foto Ketika Pengambilan Data



Kondisi Belajar Aktual dalam Kelas



Pengukuran Data Antropometri

Lampiran 4 Data Antropometri (dalam cm)

No	Nama	L/P	tinggi bahu	tinggi sandaran lengan	tinggi lutut	tinggi popliteal	panjang g popliteal-buttock	panjang g telapak kaki	panjang g lengan bawah	panjang lengan atas	lebar bokong	tinggi badan
1	Agnes	P	47	15	44	35	52	27	43	32	32	156
2	Mela	P	52	21	49	31	49.5	27.3	42	32.5	29	155
3	Natasya	p	50.1	19.8	48.6	41.1	50.6	26.7	41.1	31.7	26.2	154.1
4	Evita	P	52.2	20.1	49.6	40.1	50.2	25.6	43.2	33.9	29.6	158.5
5	Ninis	p	51.9	22.1	49.6	40.1	49.7	26.7	39.7	29.8	30.1	154.2
6	Vista Melly R	p	50.6	22.4	46.5	35.7	49.9	26.5	40.5	29.9	29	155.1
7	Akram	L	46.2	15.6	47.8	38.6	48.8	24.7	42.4	31.4	24.5	147
8	M ridho Safrudin	L	51.8	19	48.5	37.5	48.5	24	42	32	26.7	155
9	Hendri Prasetya	L	49.8	18.2	48	37.8	49.2	28	42.2	31.6	24.7	155
10	Triantomo	L	55.3	23.4	51.9	41.3	53.3	26.8	43	28.8	29	162

11	Aris	L	57.8	20.9	50.7	39.2	53.5	27.9	44.4	34.9	24.5	166
12	Antasena	L	54.2	18.7	50.2	42.2	52.6	26	43.8	35.9	26.5	164
13	Teguh Prasetyo	L	47.5	19	44	37.5	46	24.3	38.1	30	23.5	154
14	Lutfi Ardiansyah	L	55.3	21.3	49.5	39.1	53.6	25	43	34	28	162
15	M Ridho Ardiantroro	L	48.2	15.5	47	35.5	48.6	26.5	40.4	32.5	23.5	151
16	Dea Amalia	P	47.9	17.8	45.2	33.2	49.6	26	39.5	30.7	27.2	148
17	serly sarena	p	51.3	22.1	48.8	38.9	50	27.1	41.2	30.8	27.9	151.2
18	Norma Magfira	p	51.5	19.4	49.8	39.2	59.1	27.7	43.7	34.3	29.6	159.2
19	Ajeng Permatasari	P	51.1	18.5	48.1	38.1	54.7	27.5	40.8	32.6	32.4	155.5
20	Nur aulia Rahmawati	p	46.9	18.8	45.5	36.1	49.5	22.5	37.2	28.1	27.2	146.4
21	Farida Aulia	P	45.2	15.8	43.4	32.2	48.4	21.1	35.4	29.4	27.1	146.5
22	Wida Puji Astuti	p	47.6	17.2	46.5	37.7	48.3	25.2	39.6	30	26.6	155.5
23	Ulfa Fitri	p	49.2	18.8	45.5	38.9	47.8	23.8	39	30.4	24.1	150.6
24	Nanda Putri Utomo	p	45.6	16.8	47.4	37.5	47.6	25.8	40.5	30.8	27.2	149.1
25	Novia Tammamy	p	51.6	18.8	47.8	36.2	49.7	26.5	40	31.8	29.2	152.2

26	M. Raffi	L	49.7	19	52.7	41.7	56.8	28.1	44.6	33	29.5	166.2
27	Fitri Chairiah	p	48.1	16.6	46.2	36.8	48.5	25.5	39.6	31.2	25.1	147
28	Yayuk	p	53.6	19.6	48.6	38.7	53.5	27.7	43.4	33.3	33.6	157.5
29	Hayka Sasabila	p	48.7	18.7	46.1	38.5	51.9	27.5	40	30.8	28.2	152.5
30	Vera rahmadiyah	p	45.1	15.3	45.6	37.7	50	25.5	39.9	30.8	27.2	150.4
31	Winarsih	p	51.7	19.1	48.4	39.4	54.4	23.9	42.4	33.5	29.1	163
32	Monita Adewi Samudra	p	49.8	17.2	45.4	37.1	50.5	23.7	41.3	32.1	28.6	154.5
33	Muhammad Ibrahim	L	52.8	19.5	53.4	42.5	57.7	29.2	47.3	34.6	28.1	170
34	Nabila Huswatun Hasana	p	46.2	15	45.9	37.4	51	25	40.2	31	26.8	152.6
35	Nabila Septianti	p	50.1	17.2	47.3	37.8	52.1	24.8	42.5	33.2	27.3	158
36	Yasmin Anastasya	p	51	17.4	45.4	37.7	48.4	24.8	37.7	30.6	25.7	152.3
37	Indriadi Puspitasari	p	50	16.7	48.2	40.8	51	25.8	40.4	33.3	26.2	155.5
38	Tiara nabila	p	43.3	14.5	46.7	38.4	51.4	24.9	40.5	34.3	27.8	158
39	Indea Sewanti	p	46.1	14.7	45.3	35.9	49.8	25.3	37.4	30.2	24.6	148.5
40	Fitri Rumini	p	50.6	19.7	50	38.3	50.4	25.4	40.8	33.2	29.3	156.3

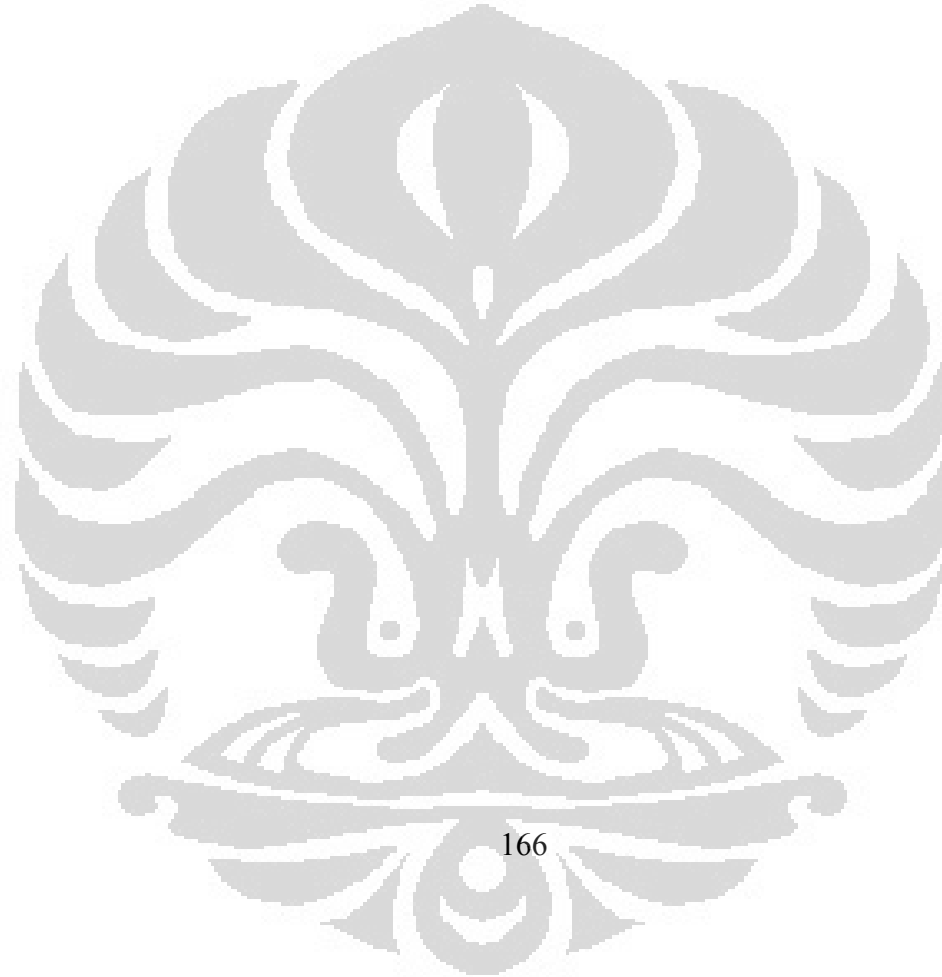
41	Rikurnia Rahayu	p	48.7	15.6	49.7	39.3	53	27.2	39.4	32.3	28.7	157
42	Yeni wuri	p	48.6	17.1	47.2	38	52.5	24.8	41	31.2	28	159.5
43	Novandari	P	53.3	21	47.1	36.2	51.8	23.3	40.4	32.3	27.5	156.3
44	Lavenia Rahmadina	P	52.2	21.8	51.2	37.3	54.7	26.7	44	31.4	32.8	162.3
45	Pety Melati Dwi	P	47.4	17.5	45.4	37.8	51	24.8	40.5	28.5	28.4	149.4
46	Tri Hastuti Septiarini	P	51	20.3	51	40.1	51.9	25.2	40.4	30.7	25.4	156.5
47	Puspa Irzalifa	P	50.5	19.2	49.6	39.8	52.9	26.8	44.2	31.3	29.4	163
48	Rokhyani	P	53.3	21.7	50.3	38.1	53.3	25.9	42	31.6	29.7	155.5
49	Firda Mujahidah	P	52.7	20.3	45.8	36.2	52	25.8	40.6	30.7	33.3	151.2
50	Amelia Nur Hasanah	P	51.6	17.8	47.7	38.8	53.9	25.8	39.4	32.1	30.6	155.4
51	Abizar Giffari	L	50	18.7	50.5	41.1	54.5	28.4	43.5	33.3	29.8	162.5
52	Rizky Aulia	L	55.2	21.6	49.6	38.7	53.8	28.3	43.3	34	29.4	163.5
53	Ryonanda Asyura	L	50.3	17.7	53	41.3	52.7	27.7	43.7	33.2	27.1	167
54	Muhammad Ilham	L	47	18	49.5	39.6	52	26.1	42.8	33.3	27.4	156
55	Ahmad Riyadhhi Farhan	L	46.3	15	47.2	38.6	51.3	26.8	40.4	31.2	24.9	155.5

56	Joppy Dwiprasetya	L	47.7	15.8	46.8	34	50.7	28	41	30.3	31.3	149
57	Fajar Maulana Rizki	L	49.5	17.3	49.6	40.3	50.5	27.6	44.1	33.3	26.6	167
58	Rangga Banyu Biru	L	49.1	18.2	51.1	41.8	58.8	27.9	46	36.6	27.3	170
59	M. Ibrahim	L	48.4	16.1	47.8	39.4	50.9	27.4	38.8	30.2	27.9	148.8
60	Rizki Ardiansyah	L	50	16.1	49.7	40.3	51.8	26	42.2	33.7	26.7	158.5
61	Aditya Khariawan	L	41.3	16	43.6	36	43.9	24.2	38.6	30.6	22.1	146.3
62	Rizky Surya Saputra	L	52.2	17.3	48.3	38	54.6	25	44.4	34.4	27.5	163.5
63	Fanny Kurnia	L	53.6	17.8	53.8	44.2	56.5	27.7	45.4	37.4	28.8	166.8
64	M. Arfian	L	46.6	16.7	47.2	38	48.2	25.6	39.8	30.6	25.1	150.3
65	Wahyu Pamungkas	L	49.1	16.5	47.3	39.4	50.3	28	42.2	31.3	25.1	151
66	M. Ibrahim	L	48.3	17.2	49.4	38.7	52.4	27.9	42.7	32.8	26.6	154.4
67	Mahalira Danti	P	48.2	16.2	46	35	51.7	27.2	38.6	32	28.2	149.8
68	Nungki Permatasari	P	51.1	20.1	47	37.6	50.8	24.8	40.4	31	28.3	155
69	Dewi Sekartini	P	53.2	17.8	49.4	38	55.6	26.5	44	35.6	30.5	162.6
70	Siska Anggraini Susanti	P	50.8	17.7	44.2	34	45.5	26	37.3	29.4	27.8	146.5

71	Devya Santy	P	46.6	16.3	45.5	35.8	50.9	25.8	40	30.8	29	147.5
72	Fanny Yulianingsih	P	52	19.5	47.6	37	50.4	26.6	42.4	32.5	30.5	153.2
73	Ayuningtyas Wigati	P	51	18.9	45.3	36.8	48.4	24.8	40.1	32.1	28.2	149
74	Daffa Widaad Effendi	P	52.8	19.5	46.6	37.3	53.8	26.8	40	33.3	26.2	153.6
75	Zahra Yuniar	P	48.2	17.2	47.2	38.1	50.5	25.7	42.7	32.8	29	152
76	Bimo Hilmi Dzaki	L	48	15.4	50	40.1	50	28	41	34.5	27.3	158
77	Farhan Fadhila	L	44.4	15.6	47	37.9	49.2	25.5	39.4	27.8	23.7	146.5
78	Pandu Nugraha Agung	L	55.9	18.3	46.7	40	51	24.8	43	32.1	24.5	157.3
79	Ahmad Dayrobby	L	50.1	18.3	54	45.4	54	28	46.6	34.7	28	169.5
80	Edo Nugraha	L	50.6	16.3	53.7	43.1	52.3	27	45.3	35.7	26.6	168.3
81	M. Rivaldi	L	44.4	16.2	45.4	36.5	47.6	25.3	39.1	30.3	23.8	146.5
82	Adrian Fattahkobar	L	50.5	17.6	49.6	39.1	49.9	25.5	41.8	31	25	154.5
83	William Rizki	L	52.5	17.6	49.3	38.5	51.1	26.5	42.7	30.8	27.3	156.5
84	Alawy Yusianto Putra	L	51.3	16.9	53.2	41.8	56.3	28.5	46.5	35.5	28.5	167.5
85	M. Aldy R	L	52.9	18	51	41.4	53	28	46	36.7	26.4	164.5

86	Aziz	L	55	18.7	52.1	42.5	55.5	28.5	45.8	36.3	28.5	172.5
87	Frisca Luciana	P	52.5	20.4	46.6	37	49.3	25	43.9	32.1	29	153.5
88	Aditya Ashary	L	50.5	19.5	49.3	39.1	49.9	25.1	41.8	31	25	154.7
89	Arya Pandhito	L	51.3	19.2	46.7	40.4	51.2	24.8	43	32.1	24.5	158
90	Bagas Dwi Prasetyo	L	51.1	18	47	37.2	51	24.8	42.4	31.4	28.3	155.3
91	Chandra Maulana	L	53.2	17.8	49.4	37.5	55.6	26.5	44	35.6	31	162.6
92	Gilang Rayhaqi	L	51.5	19.4	49.8	39.2	59.1	27.7	43.7	34.3	29.6	159
93	Muhammad Firdaus	L	51.1	17.5	48.1	38.1	54.8	27.5	42.3	32.1	32.4	155.5
94	Ardiyan	L	53.6	19.6	48.6	38.7	53.5	27.7	43.4	33.3	33.6	157.5
95	Julius Aditya Pratama Putra	L	49	18.7	46.1	39	51.9	28	42.7	30.8	28.2	153
96	Muhammad Farhan	L	45.9	15.3	45.6	37.7	50	25.5	39.9	30.8	28.1	150.4
97	Brigita Megantika	P	50.3	18.5	50.5	41.2	54.5	28.4	43.5	33.3	29.8	162.3
98	Heni Destiannisa	P	54.1	21.6	49.6	38.7	53.8	28.4	43.3	34	29.4	163.2
99	Nur Saharah	P	50.3	17.7	53.2	41.3	52.8	27.7	43.7	33.1	27.1	167

100	Sheila Marcel Agustin	P	45.5	15.3	45.6	37.7	50	26.1	39.9	31.2	27.2	152
-----	-----------------------	---	------	------	------	------	----	------	------	------	------	-----



166

Universitas Indonesia