



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN KURSI DAN GAWANGAN YANG
ERGONOMIS PADA PENGRAJIN BATIK TULIS DALAM
VIRTUAL ENVIRONMENT : STUDI KASUS PENGRAJIN
BATIK TULIS KAMPUNG LAWEYAN**

SKRIPSI

**RADITA TANAYA VIDYA HAPSARI
0706274956**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Radita Tanaya Vidya Hapsari

NPM : 0706274956

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Radita Tanaya Vidya Hapsari
NPM : 0706274956
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Perancangan Kursi dan Gawangan yang Ergonomis Pada Pengrajin Batik Tulis Dalam *Virtual Environment* : Studi Kasus Pengrajin Batik Tulis Kampung Laweyan

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Amalia Suzianti ()
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE ()
Penguji : Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE ()
Penguji : Ir. Armand Omar Moeis, ST., MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sebab hanya atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.. Shalawat dan salam penulis haturkan kepada junjungan, Nabi Muhammad SAW. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ing Amalia Suzianti selaku dosen pembimbing yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, arahan, semangat, dan kesabaran yang luar biasa dalam penyusunan skripsi ini
2. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE dan Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE., selaku dosen pembimbing *Ergonomic Centre* yang telah menyempatkan waktunya setiap minggu untuk memberikan bimbingan, saran, kritik, dan bantuan lainnya.
3. Bapak Ir. Rahmat Nurcahyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing akademis
4. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Industri UI yang telah memberikan pengetahuan dan bimbingannya sejak awal masuk kuliah.
5. Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri, Bu har, Mbak Willy, Mas Latief, Pak Mursyid, Mas Taufan, Mbak Iis serta karyawan lainnya.
6. Bapak Gunawan, Bapak Alpha selaku Ketua dan Wakil Pengembangan Industri Batik Tulis Laweyan, Solo. Serta staff kelurahan dan kecamatan Laweyan yang banyak membantu penulis.
7. Keluarga, Ayah dan Ibu tercinta yang selalu menjadi tempat berkeluh kesah, terima kasih atas segala kasih sayang, do'a, serta pengorbanan yang tak pernah habis. Terima kasih telah berjuang memberi kesempatan penulis menempuh kuliah di Universitas ini. Adik tercinta, Deby, Nadya dan Gea, terima kasih atas canda dan semangat yang tak pernah putus kalian berikan kepada penulis.

8. Keluarga Besar Anjar Suparwi dan Edy Sudarto. Alm. Kakek dan nenek tercinta, atas segala perhatian dan kasih sayang.
9. Sahabat penulis, Nurul Lativa yang tak henti mengirimkan pesan-pesan pemberi semangat. Semoga daftar impian-impian kita dapat tercapai sista.
10. Teman-teman OSIS SMASA 06-07, atas segala canda tawa yang selalu ada disaat penulis merasa jenuh.
11. Keluarga besar Komunitas Mahasiswa Situbondo Jabodetabek.
12. Heny, Malon, Ami, Wiwid, Detha, Aang, terima kasih untuk moment-moment indah yang pernah kita lalui. Semoga nantinya kebersamaan ini akan selalu ada.
13. Rekan seperjuangan, Eva, Tika, Yunita, terima kasih untuk 4 bulan perjuangan penyusunan skripsi ini.
14. Teman teman penghuni *ergonomic centre*, atas perjuangan yang hebat, Eva, Yunita, Bayu, Regina, Valen, Sherly, Ndoy, Ocha, Hilda, Babsq, Aang, Atse, Astri, Melissa, Malon, Chandra, Komjay, Satria, Landra, Yoga, Farouk, Andre, Ivan, Ferdi, Agung
15. Seluruh teman-teman tercinta Teknik Industri angkatan 2007 yang telah berjuang bersama selama empat tahun, berbagi kisah suka duka serta mimpi-mimpi di masa depan.
16. Seluruh rekan-rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam skripsi ini. Kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Depok, 21 Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Radita Tanaya Vidya Hapsari
NPM : 0706274956
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 :

Perancangan Kursi dan Gawangan yang Ergonomis Pada Pengrajin Batik Tulis Dalam *Virtual Environment* : Studi Kasus Pengrajin Batik Tulis Kampung Laweyan

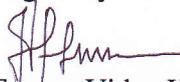
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Juni 2011

Yang menyatakan



(Radita Tanaya Vidya Hapsari)

ABSTRAK

Nama : Radita Tanaya Vidya Hapsari
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Perancangan Kursi dan Gawangan yang Ergonomis Pada Pengrajin Batik Tulis Dalam *Virtual Environment* : Studi Kasus Pengrajin Batik Tulis Kampung Laweyan

Postur kerja yang ergonomis akan mempengaruhi keselamatan, kesehatan dan produktivitas pekerja. Karakteristik pekerjaan membatik tulis berkaitan dengan postur kerja duduk selama lebih dari tujuh jam. Kondisi ini mengakibatkan pekerja berada pada postur kerja yang tidak alamiah dan bersifat statis sehingga beresiko menimbulkan gangguan muskuloskeletal. Penelitian ini mencoba mempelajari rangkaian kerja dan aspek ergonomi yang mempengaruhi postur kerja dalam membatik menggunakan metode simulasi pada *virtual environment*. Penyesuaian dilakukan dengan mendesain kursi dan gawangan yang ergonomis. Penilaian postur kerja dilakukan dengan mengevaluasi *Posture Evaluation Index* (PEI) yang terdiri dari penilaian LBA, OWAS dan RULA dari pada *task analysis toolkit software* Jack 6.1.

Kata Kunci :
Ergonomi, Produktivitas, Postur Kerja, *Virtual Environment*, *Posture Evaluation Index*.

ABSTRACT

Name : Radita Tanaya Vidya Hapsari
Study Program : Industrial Engineering
Title : Design of Ergonomic Chair and Gawangan for Handmade Batik
Workers in Virtual Environment : Case Study Handmade Batik
Workers Laweyan Village

Ergonomic working posture influence safety, health and productivity for workers. The characteristics of handmade batik work related to sitting posture for more than seven hours. This condition impact the awkward and static posture for workers which cause musculoskeletal disorders. This research tries to study the ergonomic aspect of work sequence which impact the working posture in batik work by using simulation method in virtual environment. The adjustment is created by designing ergonomic chair and gawangan. The evaluation of work posture is conducted by using Posture Evaluation Index (PEI) which integrates the score of LBA, RULA and OWAS by task analysis toolkit function from *software Jack 6.1*.

Keyword :
Ergonomic, Productivity, Working Posture, *Virtual Environment*, *Posture Evaluation Index*.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Keterkaitan Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
1.6 Metodologi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	9
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Ergonomi.....	11
2.2 <i>Ergonomic Workstation</i>	13
2.3 Antropometri	15
2.3.1 Pertimbangan Anthropometri dalam Desain	18
2.4 Work Related Musculoskeletal Disorder (WMSD)	19
2.5 <i>Virtual Environment</i>	23
2.6 <i>Software Jack</i>	25
2.7 <i>Postur Evaluation Index</i>	29
2.7.1 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	33
2.7.2 <i>Low Back Analysis (LBA)</i>	35
2.7.3. <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i>	37
2.7.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)</i>	41
2.8 Sikap dan Postur Kerja Duduk.....	44
2.8.1 Postur Duduk.....	44
2.8.2 Postur Leher dan Kepala	45
2.8.3 <i>Visual Field</i>	47
2.8.4 Area Kerja Pada Postur Kerja Duduk	49
2.9 Kursi.....	51
2.9.1 Pengukuran Antropometri Untuk Desain Kursi.....	52
2.9.2 Karakteristik Kursi.....	53
3. PENGUMPULAN DATA.....	58

3.1 Pengumpulan Data	58
3.1.1 Deskripsi Data	59
3.1.2 Data Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal Pekerja	59
3.1.3 Data Bentuk dan Dimensi Kursi, Gawangan dan Kompor Pengrajin Batik Tulis	65
3.1.3.1 Kursi Kerja	65
3.1.3.2 Gawangan	67
3.1.3.3 Kompor dan Wajan	69
3.1.3.4 Canting	70
3.1.4 Data Anthropometri Pekerja	71
3.1.4.1 Uji Kenormalan Data	74
3.1.4.2 Uji Realibilitas	75
3.1.4.3 Persentil Data Antropometri	75
3.1.5 Data Postur Kerja Pengrajin Batik Tulis	77
3.2 Perancangan Model	78
3.2.1 Pembuatan <i>Virtual Environment</i>	79
3.2.2 Pembuatan <i>Virtual human Modelling</i>	80
3.2.3 Penempatan <i>Virtual human</i> pada <i>Virtual Environment</i>	82
3.2.4 Pembuatan Tugas Kerja pada <i>Virtual Human</i>	84
3.2.5 Verifikasi dan Validasi Model	85
3.2.6 Analisis Data Menggunakan <i>Jack Task Analysis Toolkit</i> (TAT)	90
3.2.6.1 <i>Static Strength Prediction</i> (SSP)	90
3.2.6.2 <i>Lower Back Analysis</i> (LBA)	91
3.2.6.3 <i>Ovako Working Posture Analysis System</i> (OWAS)	92
3.2.6.4 <i>Rapid Upper Limber Analysis</i> (RULA)	92
3.2.6.5 Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI)	93
3.3 Pembuatan Model Usulan dan Penentuan Konfigurasi	93
3.3.1 Pembuatan Model Kursi	94
3.3.2 Pembuatan Model Gawangan Usulan	98
3.3.3 Pembuatan Model Meja Kompor Usulan	102
3.3.4 Penentuan Konfigurasi Model	104
4. ANALISIS	107
4.1 Analisis Kondisi Aktual	107
4.1.1 Analisis 1A1 dan Konfigurasi 1A2	107
4.1.1.1 Analisis Konfigurasi 1A1 dan 1A2- Postur Kerja Mencanting	109
4.1.1.2 Analisis Konfigurasi 1A1 dan 1A2- Postur Kerja Menjangkau	115
4.1.2 Analisis Konfigurasi 1B1 dan Konfigurasi 1B2	119
4.1.2.1 Analisis Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur kerja Mencanting	121
4.1.2.2 Analisis Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur kerja Menjangkau	125
4.2 Analisis Konfigurasi Usulan	130
4.2.1 Analisis Konfigurasi Membuat dengan Posisi Bersandar	134
4.2.1.1 Analisis Konfigurasi Membuat dengan Posisi Bersandar-	

Postur Kerja Mencanting.....	134
4.2.1.2 Analisis Konfigurasi Membatik dengan Posisi Bersandar- Postur Kerja Menjangkau	138
4.2.2 Analisis Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk	141
4.2.2.1 Analisis Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk- Postur Kerja Mencanting.....	141
4.2.2.2 Analisis Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk- Postur Kerja Menjangkau.....	144
4.2.3 Perbandingan Konfiguarsi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk.....	147
4.3 Perbandingan Konfiguarsi Aktual dengan Konfigurasi Usulan.....	149
4.3.1 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Pada Operasi Kerja Mencanting.....	149
4.3.1.1 Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar- Persentil 5 dan 95.....	149
4.3.1.2 Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk- Persentil 5 dan 95.....	152
4.3.2 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Pada Operasi Kerja Menjangkau.....	155
4.3.2.1 Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar- Persentil 5 dan 95	155
4.3.2.2 Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk- Persentil 5 dan 95	158
4.4 Rekapitulasi Hasil Akhir PEL.....	161
5. Kesimpulan.....	166
5.1 Kesimpulan.....	166
5.2 Saran	167
DAFTAR REFERENSI	168

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2	Diagram Alur Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 2.1	Disiplin dan Keahlian Yang Berkaitan Dengan Perancangan Stasiun Kerja.....	15
Gambar 2.2	Antropometri Tubuh Manusia.....	16
Gambar 2.3	Area Penelitian <i>Human Factors</i> Untuk <i>Virtual Environment</i>	24
Gambar 2.4	<i>Human Factors</i> Dalam <i>Virtual Environment</i>	24
Gambar 2.5	Lingkungan (<i>Environment</i>) pada <i>Software Jack</i>	26
Gambar 2.6	Model Manusia Jack 6.0 pada Persentil 95, 50 dan 5.....	27
Gambar 2.7	Diagram Alur Penggunaan Metode PEI.....	31
Gambar 2.8	Tampilan SSP pada <i>Software Jack</i>	35
Gambar 2.9	Otot dan Ligamen Penyusun Tulang Belakang Manusia.....	36
Gambar 2.10	Model Kode OWAS.....	38
Gambar 2.11	Klasifikasi Postur Punggung Metode OWAS.....	39
Gambar 2.12	Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas Metode OWAS....	39
Gambar 2.13	Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Bawah Metode OWAS	40
Gambar 2.14	Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Grup A.....	42
Gambar 2.15	Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Grup B.....	42
Gambar 2.16	Sudut-sudut Pada Postur Kerja.....	45
Gambar 2.17	Hubungan <i>Trunk Inclination</i> Terhadap Batas Waktu.....	46
Gambar 2.18	Wilayah Cakupan Mata.....	48
Gambar 2.19	<i>Frankurt Line</i> Pada Mata.....	48
Gambar 2.20	Daerah Pandangan Mata.....	49
Gambar 2.21	Jangkauan Normal dan Maksimum Secara Horizontal.....	50
Gambar 2.22	<i>Primary Work Envelope</i> dan <i>Secondary Work Envelope</i>	51
Gambar 2.23	Definisi Kenyamanan Kursi.....	52
Gambar 2.24	Pengukuran Antropometri Untuk Desain Kursi.....	52
Gambar 2.25	Dimensi Kursi.....	53
Gambar 2.26	<i>Forward Legroom</i>	57
Gambar 3.1	Isian Keluhan Muskuloskeletal Pekerja.....	60
Gambar 3.2	Grafik Level Frekuensi Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh.....	62
Gambar 3.3	Grafik Total Persentase Frekuensi Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh.....	63
Gambar 3.4	Grafik Tingkat Keparahan Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh.....	64
Gambar 3.5	Grafik Total Persentase Keparahan Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh.....	64
Gambar 3.6	Kursi Pengrajin Batik Tulis.....	66
Gambar 3.7	Gawangan Aktual.....	68
Gambar 3.8	Kompor dan Wajan Pembatik.....	70
Gambar 3.9	Canting.....	70
Gambar 3.10	Berbagai Postur Kerja Pembatik.....	78

Gambar 3.11 Diagram Alir Perancangan Model.....	79
Gambar 3.12 <i>Work Space</i> pada Tahap Awal <i>Software Jack</i>	80
Gambar 3.13 Kotak Dialog <i>Build Human</i>	81
Gambar 3.14 Contoh kotak Dialog <i>Advanced Human Scaling</i>	82
Gambar 3.15 Contoh Pembuatan Postur Tubuh dengan <i>Human Control</i>	83
Gambar 3.16 Contoh Pembuatan Postur Tubuh dengan <i>Adjust Joint</i>	84
Gambar 3.17 Tampilan Jendela Animasi	85
Gambar 3.18 Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri Virtual Human	86
Gambar 3.19 Uji Analisis Unit Durasi Waktu pada <i>Animation System</i>	86
Gambar 3.20 Penambahan Beban Ekstrim	88
Gambar 3.21 Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim	88
Gambar 3.22 Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim	89
Gambar 3.23 Grafik SSP Pekerja untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1.	91
Gambar 3.24 Nilai LBA Pekerja Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1.....	91
Gambar 3.25 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1.....	92
Gambar 3.26 Nilai LBA Pekerja Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1.....	92
Gambar 3.27 Tampilan dan Dimensi Kursi Usulan.....	98
Gambar 3.28 Ilustrasi Desain Gawangan Usulan	101
Gambar 3.29 Desain Usulan Gawangan Tampak Depan, Samping, dan Bawah.....	102
Gambar 3.30 Ilustrasi Desain Meja Kompur Usulan	104
Gambar 3.31 Desain Usulan Gawangan Tampak Samping dan Atas.....	104
Gambar 4.1 Rangkaian Gerakan Konfigurasi 1A1 yang Disimulasikan untuk Dianalisis.....	108
Gambar 4.2 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1 – Postur kerja Mencanting	109
Gambar 4.3 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2 – Postur Kerja Mencanting.....	110
Gambar 4.4 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1- Postur Kerja Mencanting	110
Gambar 4.5 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2- Postur kerja Mencanting.....	110
Gambar 4.6 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1 dan 1A2- Postur Kerja Mencanting.....	111
Gambar 4.7 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1- Postur Kerja Menjangkau.....	116
Gambar 4.8 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2- Postur Kerja Menjangkau.....	116
Gambar 4.9 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1 dan 1A2- Postur Kerja Menjangkau.....	116
Gambar 4.10 Perbandingan Nilai PEI Aktual Posisi Kerja Membatik dengan Kedua Kaki Tertekuk	119
Gambar 4.11 Rangkaian Gerakan Konfigurasi 1B1 yang Disimulasikan untuk Dianalisis.....	120
Gambar 4.12 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 – Postur Kerja Mencanting	121

Gambar 4.13 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2 – Postur Kerja Mencanting.....	121
Gambar 4.14 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1- Postur Kerja Mencanting.....	122
Gambar 4.15 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2- Postur Kerja Mencanting.....	122
Gambar 4.16 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur Kerja Menjangkau.....	123
Gambar 4.17 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1- Postur Kerja Menjangkau.....	126
Gambar 4.18 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2- Postur Kerja Menjangkau.....	126
Gambar 4.19 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur Kerja Menjangkau.....	127
Gambar 4.20 Perbandingan Nilai PEI Aktual Aktivitas Kerja Membatik dengan Kedua Kaki Terjulang Lurus.....	129
Gambar 4.21 Rangkaian Gerakan Konfigurasi Usulan yang Disimulasikan untuk Dianalisis.....	131
Gambar 4.22 Pengaruh Ketinggian Meja Kompor Terhadap Postur Kerja.....	132
Gambar 4.23 <i>Visual Field</i> pada <i>Virtual Human</i> 116	
Gambar 4.24 <i>Zone</i> Pada <i>Virtual Human</i>	133
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan PEI Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk	133
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan PEI Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk Pada Operasi Kerja Menjangkau-Persentil 5.....	148
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan PEI Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk Pada Operasi Kerja Menjangkau-Persentil 95.....	149
Gambar 4.28 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Bersandar- Operasi Kerja Mencanting	150
Gambar 4.29 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Bersandar-Operasi Kerja Mencanting.....	151
Gambar 4.30 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Mencanting.....	154
Gambar 4.31 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 95 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Mencanting.....	154
Gambar 4.32 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Bersandar-Operasi Kerja Menjangkau.....	157
Gambar 4.33 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 95 Pada Posisi Bersandar-Operasi Kerja Menjangkau.....	157
Gambar 4.34 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Menjangkau.....	160
Gambar 4.35 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 95 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Menjangkau.....	160

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Beban yang Diterima dalam Metode OWAS	40
Tabel 2.2	Pembobotan Nilai Pada OWAS	41
Tabel 2.3	Pembobotan Nilai pada RULA	43
Tabel 2.4	Kategori Sudut Kenyamanan Postur Kerja	46
Tabel 3.1	Data Antropometri Kursi Pengrajin Batik Tulis	67
Tabel 3.2	Data Antropometri Gawangan	69
Tabel 3.3	Data Antropometri Pengrajin Batik Tulis Laweyan	72
Tabel 3.4	Uji Normalitas Data Antropometri	74
Tabel 3.5	Hasil Uji Reabilitas Data.....	75
Tabel 3.6	Data Antropometri Pengrajin Batik Tulis Laweyan.....	76
Tabel 3.7	Data Antropometri Wanita Indonesia	77
Tabel 3.8	Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1	90
Tabel 3.9	Nilai Analisis Ergonomi untuk Konfigurasi Aktual 1B1.....	93
Tabel 3.10	Ketentuan Data Antropometri Untuk Ukuran Kursi.....	94
Tabel 3.11	Spesifikasi Kursi Usulan.....	97
Tabel 3.12	Spesifikasi Gawangan Usulan.....	101
Tabel 3.13	Rancangan Konfigurasi Aktivitas Kerja Membatik.....	106
Tabel 4.1	Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1- Postur kerja Mencanting	112
Tabel 4.2	Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2- Postur Kerja Mencanting	112
Tabel 4.3	Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1- Postur Kerja Mencanting	114
Tabel 4.4	Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2- Postur Kerja Mencanting	114
Tabel 4.5	Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1- Postur Kerja Menjangkau.....	117
Tabel 4.6	Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2- Postur Kerja Menjangkau.....	117
Tabel 4.7	Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1- Postur Kerja Menjangkau.....	118
Tabel 4.8	Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2- Postur Kerja Menjangkau.....	119
Tabel 4.9	Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur Kerja Mencanting	124
Tabel 4.10	Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1- Postur Kerja Mencanting	125
Tabel 4.11	Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2- Postur Kerja Mencanting	125
Tabel 4.12	Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur Kerja Menjangkau.....	128
Tabel 4.13	Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1- Postur kerja Menjangkau	129

Tabel 4.14 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2- Posisi Menjangkau	129
Tabel 4.15 Rekapitulasi Aktivitas Mencanting dengan Posisi Bersandar	135
Tabel 4.16 Rekapitulasi Skor RULA Aktivitas Mencanting dengan Posisi Bersandar	137
Tabel 4.17 Rekapitulasi Aktivitas Menjangkau dengan Posisi Bersandar	138
Tabel 4.18 Rekapitulasi Skor RULA Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Bersandar	140
Tabel 4.19 Rekapitulasi Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Membungkuk	142
Tabel 4.20 Rekapitulasi Skor RULA Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Membungkuk	143
Tabel 4.21 Rekapitulasi Postur Kerja Menjangkau dengan Posisi Membungkuk	144
Tabel 4.22 Rekapitulasi Skor RULA Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Membungkuk	146
Tabel 4.23 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 5- Operasi Kerja Mencanting	152
Tabel 4.24 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 95-Operasi Kerja Mencanting	152
Tabel 4.25 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 5-Operasi Kerja Mencanting	155
Tabel 4.26 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 95-Operasi Kerja Mencanting	155
Tabel 4.27 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 5-Operasi Kerja Menjangkau	158
Tabel 4.28 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 95-Operasi Kerja Menjangkau	158
Tabel 4.29 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 5-Operasi Kerja Menjangkau	161
Tabel 4.30 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 95-Operasi Kerja Menjangkau	161
Tabel 4.31 Rekapitulasi Nilai PEI Pada Postur Kerja Mencanting.....	162
Tabel 4.32 Rekapitulasi Nilai PEI Pada Postur Kerja Menjangkau.....	164

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada Era globalisasi saat ini, industri kecil menengah (IKM) dituntut untuk mampu meningkatkan kemampuannya agar terus mampu bersaing dan mempertahankan kelangsungan usahanya. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah meningkatkan produktivitas yang dimiliki agar selalu berada pada kondisi optimal. Tingkat produktivitas memiliki keterkaitan yang erat dengan kemampuan sumber daya manusia yang bekerja di dalamnya. Kemampuan pekerja untuk mempertahankan produktivitasnya tentunya harus didukung oleh beberapa faktor. Wignjosoebroto (2000) menyebutkan bahwa upaya meningkatkan produktivitas dan performa kerja dapat dicapai melalui:

- Pengembangan tata cara kerja (*work methods*) lebih efektif dan efisien terutama ditujukan untuk aktivitas operasional yang diperlukan dalam proses produksi.
- Pengaturan kondisi kerja lingkungan kerja yang lebih ergonomis sehingga mampu memberikan kenyamanan dalam arti fisik maupun sosial psikologis.
- Pemanfaatan dan pendayagunaan secara maksimal semua potensi sumber daya manusia secara terorganisir melalui analisis penugasan secara tepat.

Ergonomi merupakan suatu ilmu yang mempelajari anatomi interaksi antara manusia dalam kaitannya dengan peralatan maupun lingkungan kerja, dimana hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan untuk pekerja (Bridger, 1995). Ergonomi juga berfokus pada upaya peningkatan produktivitas dan kualitas sistem kerja dengan memperhatikan kemampuan dan keterbatasan dari manusia pada sistem kerja tersebut. Pada Industri Kecil Menengah (IKM), yang banyak mengandalkan tenaga kerja manusia, tinjauan aspek ergonomi menjadi sangat penting. Namun pada kondisi saat ini tinjauan aspek ergonomi seringkali diabaikan sehingga performa kerja yang dilakukan tidak optimal dan dapat mengganggu kenyamanan kerja yang berujung pada timbulnya penyakit dan keluhan kesehatan sehingga

dapat menyebabkan kerugian bagi IKM itu sendiri seperti terhambatnya proses produksi, kesalahan proses produksi akibat *human error*, tambahan biaya kompensasi bagi pekerja yang sakit, dan kerugian bagi perusahaan akibat munculnya kecelakaan kerja.

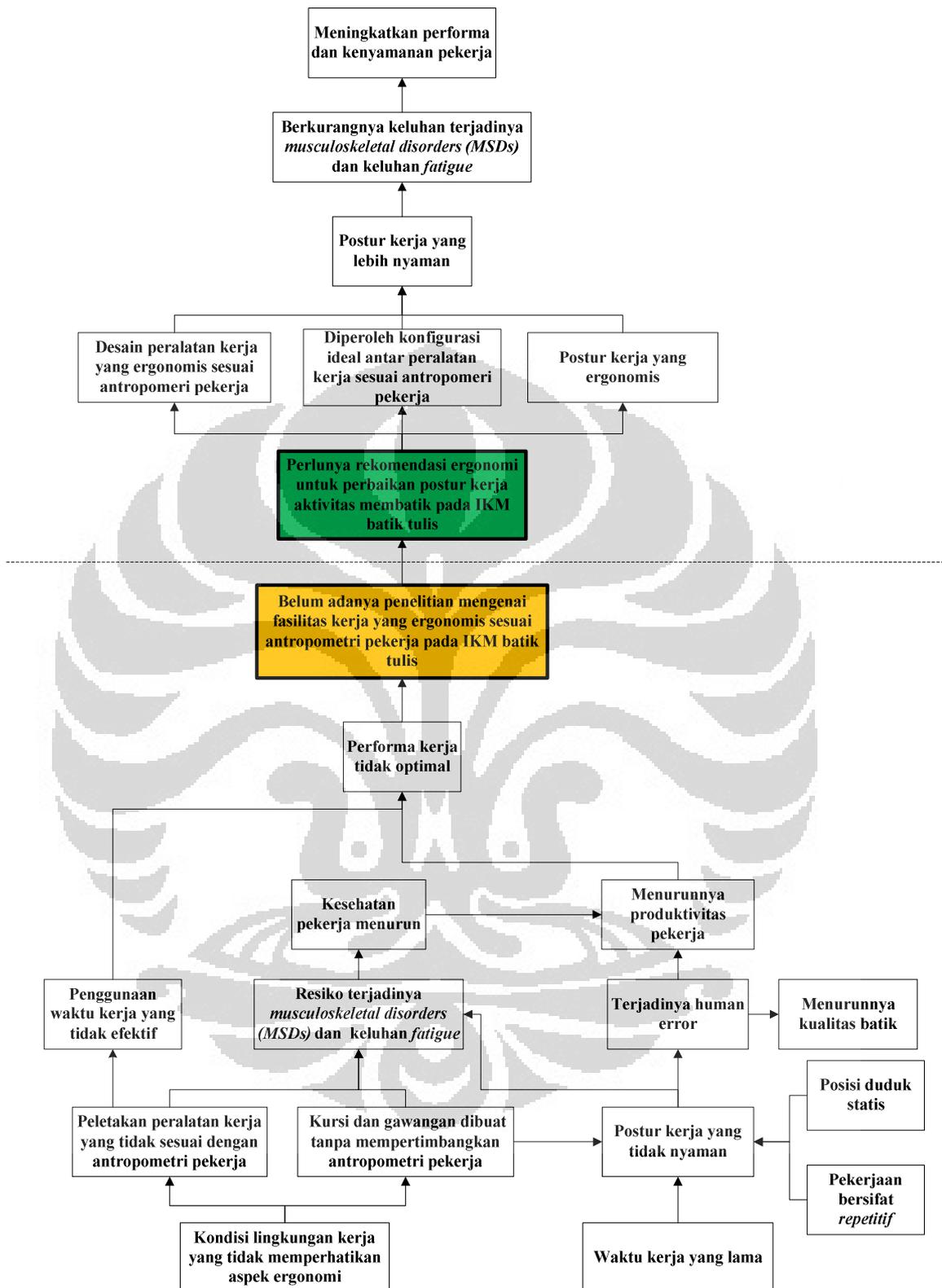
Sebagai ciri khas bangsa Indonesia, batik menjadi salah satu industri yang mendominasi IKM di Indonesia. Hampir di setiap propinsi di Indonesia memiliki industri kerajinan batik. Jawa Tengah merupakan salah satu daerah yang memiliki industri kerajinan batik terbesar di Indonesia dengan 4.169 IKM batik yang tersebar di 32 kabupaten (Dinkop UMKM Jateng, 2009). Permasalahan ergonomi dalam proses produksi pada IKM batik tulis seringkali dipengaruhi oleh postur kerja. Kegiatan membatik sendiri terdiri atas beberapa repetitif. Kegiatan repetitif meliputi aktivitas mencanting pada permukaan kain mori serta aktivitas menjangkau cairan “malam” pada kompor. Para pembatik tulis umumnya bekerja dengan cara duduk, dengan tempat duduk yang berbeda-beda, baik bentuk dan ukurannya. Umumnya, kursi yang digunakan merupakan kursi pendek yang disebut “dingklik”. Kursi jenis ini juga tidak memiliki sandaran punggung, sehingga untuk menopang beban batang tubuh, postur pekerja akan cenderung membungkuk. Desain kursi dan gawangan yang umumnya digunakan saat ini dibuat tanpa mempertimbangkan postur pekerja dan kaidah ergonomi sehingga kondisi kerja seperti ini memaksa pekerja selalu berada pada sikap dan posisi kerja yang tidak alamiah, berlangsung lama serta bersifat menetap/statis dan berpotensi menimbulkan ketidaknyaman kerja. Menurut Grandjean (1988) dan Pheasant (1991) sikap kerja yang statis dalam jangka waktu yang lama lebih cepat menimbulkan keluhan pada sistem muskuloskeletal. Keluhan ini dirasakan pada bagian-bagian otot skeletal yaitu meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang dan otot-otot bagian bawah. Prof. Allan Hedge (2009) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa postur duduk statis berpotensi menyebabkan terjadinya *musculoskeletal disorders (MSDs)* hingga 50% dengan resiko terbesar terjadi pada populasi dengan usia 20 hingga 45 tahun. Studi terkait mengenai resiko *musculoskeletal disorders (MSDs)* pada posisi duduk tanpa penopang punggung dan lengan juga dilakukan oleh Sondergaard, Olesen, Zee dan Madeleine (2010). Hasil studi menunjukkan jika terjadi kenaikan level *body*

posture discomfort (BPD) seiring bertambahnya waktu pada bagian tubuh seperti leher, bahu, punggung, paha, lengan, dan *popliteal*. Lebih lanjut, berdasarkan hasil penelitian pendahuluan oleh Widyaningsih (2010) menyebutkan bahwa sebagian besar pekerja batik tulis (67,7%) mengalami keluhan musculoskeletal terutama di leher, bahu kanan, dan pinggang bawah. Selain itu akibat ketidaknyaman tempat kerja tersebut dapat menyebabkan timbulnya kesalahan-kesalahan kerja akibat lingkungan kerja yang kurang memberikan keleluasaan bergerak bagi pekerjanya, dan tidak teraturnya sistem kerja dimana pekerja sering kali melakukan pekerjaan tidak sesuai urutan kerja akibat konsentrasi yang menurun karena lingkungan kerja yang tidak nyaman.

Pada penelitian ini, analisis ergonomi akan dilakukan untuk menentukan konfigurasi antar peralatan kerja meliputi ukuran serta desain kursi dan gawangan serta ketinggian meja kompor yang ideal terhadap postur pekerja secara simulasi pada *virtual environment*. Definisi ideal dalam penelitian ini berarti peralatan kerja yang digunakan mengurangi risiko ergonomi seperti timbulnya kelelahan atau penyakit akibat aktivitas kerja.

1.2 Keterkaitan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, dapat dibuat diagram keterkaitan masalah seperti terlihat pada **Gambar 1.1**. Diagram keterkaitan masalah ini akan memberikan gambaran secara keseluruhan mengenai hubungan dan interaksi antara sub-sub permasalahan yang melandasi penelitian ini.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah diatas, maka perlu dibahas analisa ergonomis terhadap postur kerja dan peralatan kerja yang digunakan pekerja batik tulis saat ini. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui tingkat resiko akan terjadinya *musculoskeletal disorders (MSDs)*. Selanjutnya analisa tersebut menjadi dasar menentukan desain kursi dan gawangan yang ergonomis sehingga pembatik terhindar dari resiko cedera serta dapat meningkatkan kenyamanan.

Fokus utama objek yang diamati adalah kesesuaian desain kursi dan gawangan yang digunakan terhadap postur kerja yang dialami selama melakukan aktivitas membatik. Penilaian terhadap postur kerja pembatik akan dijadikan acuan untuk menentukan desain kursi dan gawangan usulan serta konfigurasi ketinggian meja kompor yang ideal sebagai akibat dari perubahan desain kursi-gawangan yang diajukan. Dari hasil simulasi terhadap semua konfigurasi, akan dipilih konfigurasi yang memiliki nilai ergonomis tertinggi diantara berbagai karakteristik dan variabel yang ada.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan umum yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah merancang kursi dan gawangan serta menentukan ketinggian meja kompor yang sesuai dengan postur pekerja melalui pendekatan ergonomi untuk mengurangi keluhan *musculoskeletal disorders* serta meningkatkan kenyamanan kerja.

Tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengidentifikasi keluhan *musculoskeletal* yang dialami pekerja batik tulis.
- b. Menganalisa dan menilai serta mendapatkan skor dan level resiko postur kerja aktual melalui permodelan sistem kerja dengan metode PEI pada *virtual environment (Jack software)*.
- c. Menentukan model konfigurasi optimal pada aktivitas membatik melalui *virtual environment (Jack software)*.
- e. Merumuskan tindakan perbaikan yang mungkin dilakukan terhadap pekerja maupun peralatan kerja yang digunakan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

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

- a. Studi dilakukan pada pekerja di 5 IKM batik tulis Kampung Laweyan, Solo, Jawa Tengah dengan objek penelitian adalah wanita.
- b. Penelitian hanya dilakukan pada aktivitas membatik dengan menggunakan canting (batik tulis).
- c. Pengumpulan informasi dalam membuat model simulasi didapatkan melalui hasil pengamatan langsung, kuesioner dan wawancara yang dilakukan terhadap pengrajin batik tulis serta pemilik IKM.
- d. Pengolahan data dan model simulasi dibuat dengan menggunakan *task analysis toolkit* yang terdapat pada *software JackTM 6.1*.
- e. Model pemecahan masalah pada penelitian ini merupakan hasil rancangan konseptual pada *virtual environment* yang diperoleh dari hasil simulasi dan hanya berupa usulan perbaikan yang dapat diimplementasikan oleh IKM Batik Tulis, tidak sampai tahap mengimplementasi usulan yang diajukan.
- f. Desain yang diajukan pada hasil penelitian dibuat tanpa mempertimbangkan jenis bahan yang digunakan, biaya pembuatan serta mekanisme pembuatan.

1.6 Metodologi Penelitian

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

1. Tahap persiapan penelitian

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

2. Tahap pengumpulan data

Dalam tahap pengumpulan data dilakukan identifikasi dan pengumpulan data-data yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian. Data yang dibutuhkan diantaranya adalah data antropometri pembatik, postur duduk pembatik, ukuran kursi, gawangan serta peralatan lain yang berkaitan dengan interaksi kursigawangan yang digunakan. Selain itu, data keluhan gangguan fisik yang dialami pembatik selama aktivitas keraj juga dilakuakn. Pengumpulan data keluhan ini dilakukan dengan penyebaran kuesioner kepada pembatik.

3. Tahap pengolahan data

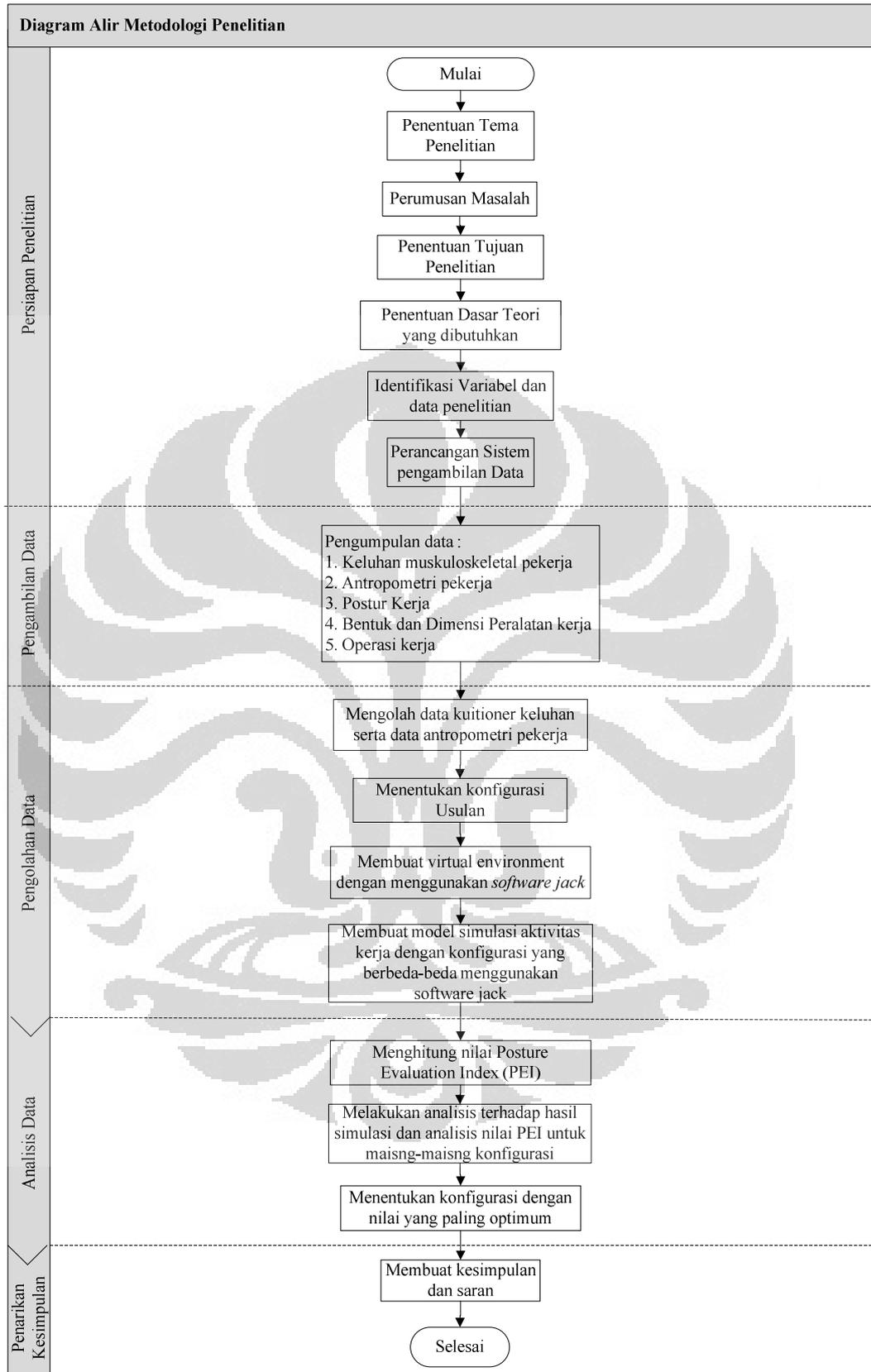
Tahap pengolahan data dilakukan setelah data yang dikumpulkan mencukupi. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software* ergonomi, Jack 6.1 dan Auto CAD 2007. Tahap pengolahan data diawali dengan pembuatan model menggunakan *software* Auto Cad 2007. Kemudian bentuk visual model yang telah dibuat dalam Auto Cad diterjemahkan ke dalam lingkungan *virtual* dalam *software* Jack 6.1. Dalam *software* Jack ini pula dibentuk model manusia berdasarkan data antropometri pembatik. Dari model manusia ini kemudian dibentuk postur duduk pembatik pada fasilitas kerja yang telah dimasukkan ke dalam *virtual environment software* Jack. Simulasi postur kerja akan dilakukan pada setiap konfigurasi yang telah dirancang, untuk kemudian dianalisis lebih lanjut.

4. Tahapan analisis data

Analisis dilakukan dengan cara pengolahan hasil simulasi yang dikeluarkan oleh *software* Jack sehingga diperoleh nilai *posture evaluation index* (PEI). Nilai PEI dipergunakan untuk menilai kualitas ergonomi postur kerja yang dihasilkan dari setiap konfigurasi, sehingga akan didapatkan usulan perbaikan yang paling ideal secara ergonomis untuk setiap aktivitas kerja yang ada.

5. Tahapan penarikan kesimpulan

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



Gambar 1.1 Diagram Alur Metodologi Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini dilakukan dengan mengikuti aturan sistematika penulisan yang baku sehingga memudahkan dalam proses penyusunan. Laporan penelitian ini terbagi ke dalam lima bab, yaitu : pendahuluan, landasan teori, pengumpulan dan pengolahan data, analisis dan kesimpulan.

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

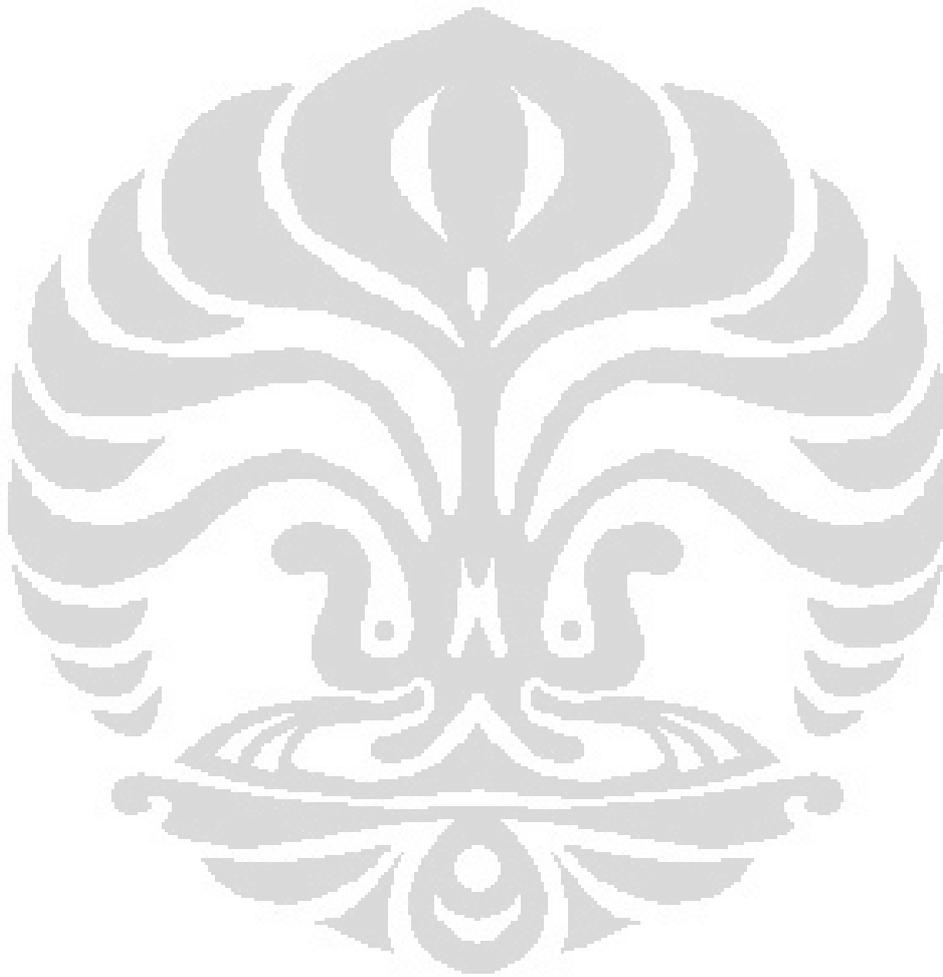
Bab 2 merupakan landasan teori yang menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian dalam skripsi ini, yaitu mengenai teori ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *software Jack TM*, *Posture Evaluation Index* (PEI) dan simulasi dengan menggunakan *virtual environment* dan *virtual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

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

Bab 4 adalah bab analisis. Bab ini menjelaskan tentang analisis dari data-data yang telah diolah pada bab sebelumnya yakni dari berbagai konfigurasi model yang disimulasikan akan dianalisa pengaruhnya terhadap nilai PEI sehingga lebih spesifik akan diperoleh variabel yang memiliki pengaruh terhadap nilai PEI. Pada akhir bab akan diperoleh konfigurasi yang paling optimal diantara

semua model untuk kemudian diperoleh desain kursi dan gawangan yang ideal bagi pembatik.

Bab 5 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

2.1 Ergonomi

Istilah “Ergonomi” berasal dari bahasa Latin, yaitu *Ergon* (kerja) dan *Nomos* (hukum), sehingga ergonomi dapat didefinisikan sebagai studi tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, *engineering*, manajemen, dan desain/perancangan. Ergonomi merupakan studi tentang manusia, fasilitas kerja dan lingkungan yang saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusia (Nurmianto, 2004). IEA (*International Ergonomic Association*) mendefinisikan ergonomi sebagai ilmu yang mempelajari anatomi dan aspek psikologi dari manusia dalam kaitannya dengan peralatan maupun lingkungan kerja, dimana hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan untuk pekerja. Lebih lanjut, IEA menjelaskan ergonomi sebagai ilmu yang berkontribusi pada desain dan evaluasi sebuah pekerjaan, tugas, produk, lingkungan, dan sistem dalam rangka membuat hal-hal tersebut sepadan dengan kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan manusia.

Maksud dan tujuan dari disiplin ergonomi adalah mendapatkan suatu pengetahuan yang utuh tentang permasalahan-permasalahan interaksi manusia dengan teknologi dan produk-produknya, sehingga dimungkinkan adanya suatu rancangan sistem manusia-manusia (teknologi) yang optimal. Dengan demikian disiplin ergonomi melihat permasalahan interaksi tersebut sebagai suatu sistem dengan pemecahan-pemecahan masalahnya melalui pendekatan sistem pula ((Wignjosoebroto, 2000).

Disiplin ilmu ergonomi pada aplikasinya 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, lambang 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.

Tarwaka, *et al* (2004) menyebutkan bahwa masalah ergonomi dapat dikategorikan ke dalam bermacam-macam grup yang berbeda, bergantung kepada wilayah spesifik dari efek tubuh seperti :

a. *Anthropometric*

Antropometri berhubungan dengan dimensi antara ruang geometri fungsional dengan tubuh manusia. Antropometri ini merupakan pengukuran dari dimensi tubuh secara linier, termasuk berat dan *volume*, jarak jangkauan, tinggi mata saat duduk, dan lain-lain. Masalah antropometri merupakan ketidaksesuaian antara dimensi terhadap desain ruang dan sarana kerja. Pemecahan masalah ini dengan memodifikasi desain dan menyesuaikan kenyamanan.

b. *Cognitive*

Masalah *cognitive* muncul ketika beban kerja berlebih atau berada di bawah kebutuhan proses. Keduanya dalam jangka waktu panjang maupun dalam jangka waktu pendek dapat menyebabkan ketegangan. Pada sisi lain fungsi ini tidak sepenuhnya berguna untuk pemeliharaan tingkat optimum. Pemecahan masalah ini dengan melengkapi fungsi manusia dengan fungsi mesin untuk meningkatkan performansi.

c. *Musculoskeletal*

Ketegangan otot dan sistem kerangka termasuk dalam kategori ini. Hal tersebut dapat menyebabkan insiden kecil atau trauma efek kumulatif. Pemecahan masalah ini terletak pada penyediaan bantuan performansi kerja atau mendesain kembali pekerjaan untuk menjaga agar kebutuhannya sesuai dengan batas kemampuan manusia.

d. *Cardiovaskular*

Masalah ini diakibatkan oleh ketegangan sistem sirkulasi, termasuk jantung. Jantung memompa lebih banyak darah ke otot untuk memenuhi tingginya permintaan oksigen. Pemecahan masalah ini dengan mendesain kembali pekerjaan untuk melindungi pekerja dan melakukan rotasi pekerjaan.

e. *Psychomotor*

Permasalahan dalam hal ini adalah ketegangan pada sistem *psychomotor*. Pemecahannya adalah dengan menegaskan kebutuhan pekerjaan untuk disesuaikan dengan kemampuan manusia dan menyediakan bantuan performansi pekerjaan.

2.2 *Ergonomic Workstation*

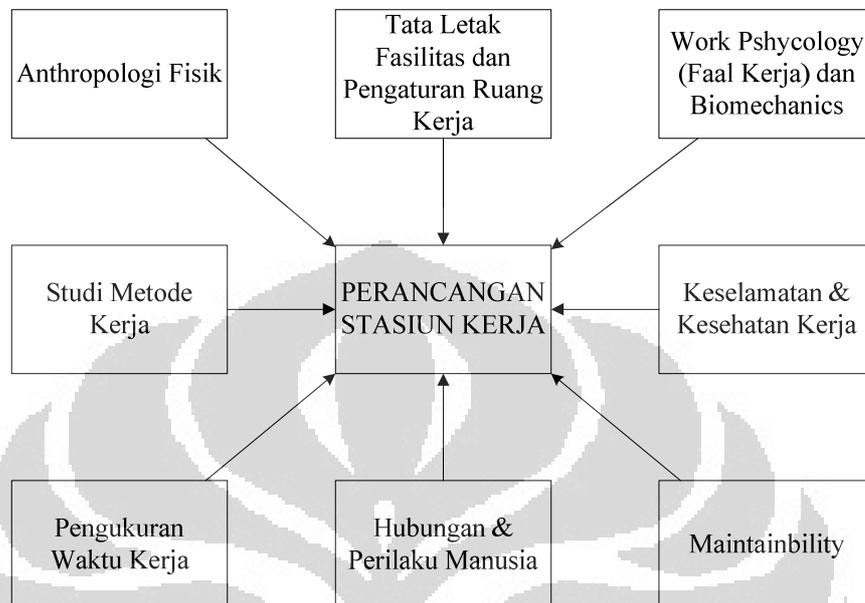
Secara ideal, perancangan stasiun kerja haruslah disesuaikan peranan dan fungsi pokok dari komponen-komponen sistem kerja yang terlibat, yaitu manusia, mesin/peralatan dan lingkungan fisik kerja. Ergonomi yang secara umum diartikan sebagai "*the study of work*" telah mampu membawa perubahan yang signifikan dalam mengimplementasikan konsep peningkatan produktivitas melalui efisiensi penggunaan tenaga kerja dan pembagian kerja berdasarkan spesialisasi-keahlian kerja manusia (Bridger, 1995; Sanders & McCormick, 1992). Konsep produktivitas yang terjadi dalam lini produksi di industri telah menggeser struktur ekonomi agraris yang berbasis pada kekayaan sumber daya alam untuk kemudian beranjak menuju ke struktur ekonomi produksi (industri) yang menekankan arti pentingnya nilai tambah (*added value*). Fokus dari apa yang telah diteliti, dikaji dan direkomendasikan oleh para pionir studi tentang kerja di industri ini yang selanjutnya dicatat sebagai awal dari era "*scientific management*" telah memberikan landasan kuat untuk menempatkan "*engineer as economist*" didalam perancangan sistem produksi. Dalam hal ini implementasi ergonomi industri berkisar pada 2 (dua) tema pokok yaitu (a) telaah mengenai "*interfaces*" manusia

dan di mesin dalam sebuah sistem kerja, dan (b) analisa sistem produksi (industri) untuk memperbaiki serta meningkatkan *performance* kerja yang ada.

Pendekatan ergonomi dalam perancangan stasiun dan/atau fasilitas kerja di industri telah menempatkan rancangan sistem kerja manusia-mesin yang awalnya serba rasional-mekanistik menjadi tampak lebih manusiawi. Disini faktor yang terkait dengan fisik (faal/fisiologi) maupun perilaku (psikologi) manusia baik secara individu pada saat berinteraksi dengan mesin dalam sebuah rancangan sistem manusia-mesin dan lingkungan kerja fisik akan dijadikan pertimbangan utama. Persoalan perancangan tata cara kerja di lini aktivitas produksi nampaknya juga akan terus terarah pada segala upaya untuk mengimplementasikan konsep "*human-centered engineered systems*" dalam perancangan teknologi produk maupun proses dengan mengkaitkan faktor manusia didalamnya. Pendekatan ergonomi yang dilakukan dalam perancangan sistem produksi di lantai produksi akan mampu menghasilkan sebuah rancangan sistem manusia-mesin yang sesuai dengan ekspektasi manusia pekerja atau tanpa menyebabkan beban kerja yang melebihi ambang batas (fisik maupun psikologis) manusia untuk menahannya. Dalam hal ini akan diaplikasikan segala macam informasi yang berkaitan dengan faktor manusia (kekuatan, kelemahan/keterbatasan) dalam perancangan sistem kerja yang meliputi perancangan produk (*man-made objects*), mesin & fasilitas kerja dan/atau lingkungan kerja fisik yang lebih efektif, aman, nyaman, sehat dan efisien.

Rekayasa manusia (*human engineering*) yang dilakukan terhadap sistem kerja tersebut diharapkan akan mampu (a) memperbaiki *performance* kerja manusia seperti menambah kecepatan kerja, ketelitian, keselamatan, kenyamanan dan mengurangi penggunaan enersi kerja yang berlebihan dan mengurangi kelelahan; (b) mengurangi waktu yang terbuang sia-sia untuk pelatihan dan meminimalkan kerusakan fasilitas kerja karena *human errors*; dan (c) meningkatkan "*functional effectiveness*" dan produktivitas kerja manusia dengan memperhatikan karakteristik manusia dalam desain sistem kerja (Suyatno, 1985; Wignjosoebroto, 2001). Spesifikasi rancangan stasiun kerja akan terkait erat dengan karakteristik fisik manusia (data antropometri) yang diukur baik melalui

metode pengukuran statik maupun dinamik yang akan berinteraksi dengan sistem kerja yang ada.



Gambar 2.1 Disiplin dan Keahlian Yang Berkaitan Dengan Perancangan Stasiun Kerja

Sumber : Wignjosoebroto.Sritomo, *Ergonomi Untuk Gerak dan Waktu*, 2000, Hal 74

2.3 Antropometri

Istilah antropometri berasal dari kata *anthro* yang berarti “manusia” dan *metri* yang berarti “ukuran”. Antropometri adalah studi tentang dimensi tubuh manusia (Pullat, 1992). Antropometri merupakan suatu ilmu yang secara khusus mempelajari tentang pengukuran tubuh manusia guna merumuskan perbedaan-perbedaan ukuran pada tiap individu ataupun kelompok dan lain sebagainya (Panero dan Zelnik, 2003). Data antropometri yang ada dibedakan menjadi dua kategori, antara lain (Pullat, 1992):

a. Dimensi struktural (statis)

Dimensi struktural ini mencakup pengukuran dimensi tubuh pada posisi tetap dan standar. Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap meliputi berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri, maupun duduk, ukuran kepala, tinggi atau panjang lutut berdiri maupun duduk, panjang lengan dan sebagainya.

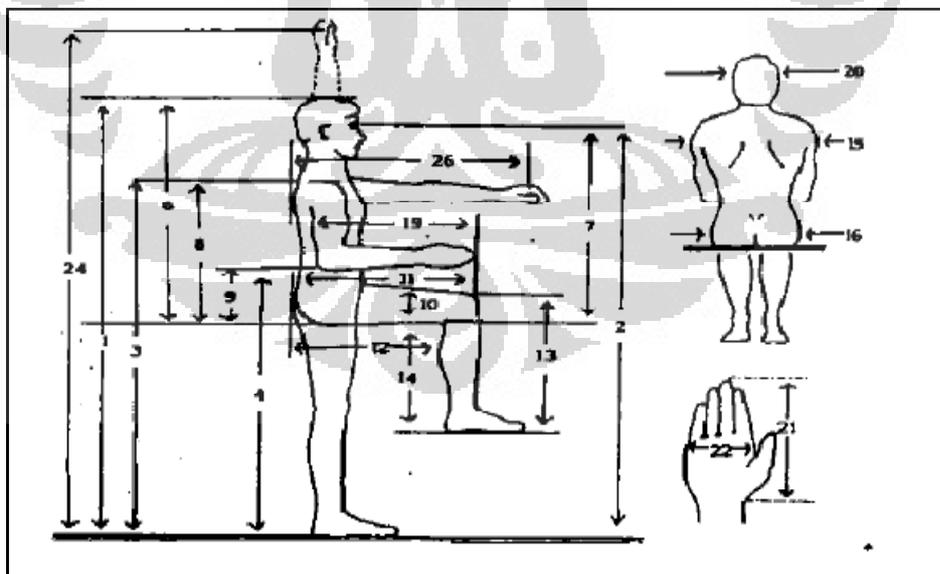
b. Dimensi fungsional (dinamis)

Dimensi fungsional mencakup pengukuran dimensi tubuh pada berbagai posisi atau sikap. Hal pokok yang ditekankan pada pengukuran dimensi fungsional tubuh ini adalah mendapatkan ukuran tubuh yang berkaitan dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu.

Data anthropometri dapat diaplikasikan dalam beberapa hal, antara lain (Wignjosoebroto, 1995) :

- a. Perancangan areal kerja
- b. Perancangan peralatan kerja seperti mesin, perkakas dan sebagainya
- c. Perancangan produk-produk konsumtif seperti pakaian, kursi/meja komputer, dan lain-lain
- d. Perancangan lingkungan kerja fisik

Pada penetapan dimensi ukuran produk yang akan dirancang akan disesuaikan dengan dimensi tubuh manusia yang akan menggunakannya. Pengukuran dimensi struktur tubuh yang biasa diambil dalam perancangan produk maupun fasilitas dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Antropometri Tubuh Manusia

1 : Dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak (dari lantai sampai dengan 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
- 6 : Tinggi tubuh dalam posisi duduk (di ukur dari alas tempat duduk pantat sampai dengan kepala).
- 7 : Tinggi mata dalam posisi duduk.
- 8 : Tinggi bahu dalam posisi duduk.
- 9 : Tinggi siku dalam posisi duduk (siku tegak lurus).
- 10 : Tebal atau lebar paha.
- 11 : Panjang paha yang di ukur dari pantat sampai dengan. ujung lutut.
- 12 : Panjang paha yang di ukur dari pantat sampai dengan bagian belakang dari lutut betis.
- 13 : Tinggi lutut yang bisa di ukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk.
- 14 : Tinggi tubuh dalam posisi duduk yang di ukur dari lantai sampai dengan paha.
- 15 : Lebar dari bahu (bisa di ukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk).
- 16 : Lebar pinggul ataupun pantat.
- 17 : Lebar dari dada dalam keadaan membusung (tidak tampak ditunjukkan dalam gambar).
- 18 : Lebar perut.
- 19 : Panjang siku yang di ukur dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus.
- 20 : Lebar kepala.
- 21 : Panjang tangan di ukur dari pergelangan sampai dengan ujung jari.
- 22 : Lebar telapak tangan.
- 23 : Lebar tangan dalam posisi tangan terbentang lebar kesamping kiri kanan.
- 24 : Tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak.
- 25 : Tinggi jangkauan tangan dalam posisi duduk tegak.
- 26 : Jarak jangkauan tangan yang terjulur kedepan di ukur dari bahu sampai dengan ujung jari tangan.

2.3.1 Pertimbangan Anthropometri dalam Desain

Setiap desain produk, baik produk yang sederhana maupun produk yang sangat kompleks harus berpedoman pada anthropometri pemakainya. Anthropometri adalah pengukuran dimensi tubuh atau karakteristik fisik tubuh lainnya yang relevan dengan desain tentang sesuatu yang dipakai orang. Pengaplikasian ergonomi dalam kaitannya dengan anthropometri dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Ergonomi berhadapan dengan manusia, mesin beserta sarana pendukung lainnya dan lingkungan kerja. Tujuan ergonomi disini adalah untuk menciptakan situasi terbaik pada pekerjaan sehingga kesehatan fisik dan mental manusia dapat terus dipelihara serta efisiensi, produktivitas dan kualitas produk dapat dihasilkan dengan optimal.
- b. Ergonomi berhadapan dengan karakteristik produk pabrik yang berhubungan dengan konsumen atau pemakai produk. Dalam menentukan ukuran stasiun kerja, alat kerja dan produk pendukung lainnya, data anthropometri manusia memegang peranan penting. Dengan mengetahui ukuran anthropometri manusia akan dapat dibuat suatu desain alat-alat kerja yang sepadan bagi manusia yang akan menggunakan, dengan harapan dapat menciptakan kenyamanan, kesehatan, keselamatan dan estetika kerja.

Dalam mengaplikasikan data antropometri terhadap suatu desain, perlu diperhatikan beberapa prosedur berikut (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 terkecil dapat mencapai (*reach dimension*) dan pengguna dengan ukuran terbesar dapat berada dalam kondisi tepat ukuran.
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 sebenarnya.

Dengan adanya variabilitas dimensi tubuh manusia, maka terdapat tiga prinsip dalam pemakaian data anthropometri agar produk yang dirancang dapat mengakomodasi ukuran tubuh dari populasi yang akan menggunakan produk tersebut, yaitu:

- a. Perancangan berdasar individu ekstrim

Prinsip ini digunakan apabila diharapkan fasilitas yang dirancang dapat dipakai dengan nyaman oleh sebagian besar orang-orang yang memakainya. Perancangan ini dapat dibagi dua yaitu yang pertama perancangan dengan data nilai persentil tinggi (90%, 95%, atau 99%). Misalnya untuk merancang tinggi pintu dipakai tinggi manusia dengan persentil 99% ditambah dengan kelonggaran. Yang kedua, perancangan fasilitas dengan data persentil kecil atau rendah (10%, 5%, atau 1%). Misalnya untuk menentukan tinggi tombol lampu digunakan persentil 5 yang berarti 5% dari populasi tidak dapat menjangkaunya.

- b. Perancangan fasilitas yang bisa disesuaikan (*adjustable*)

Prinsip ini digunakan untuk merancang suatu fasilitas agar dapat dipakai dengan nyaman oleh semua orang yang mungkin memerlukannya. Dalam prinsip ini biasanya dipakai data anthropometri dengan rentang persentil 5% sampai 95%. Contoh penerapan prinsip ini adalah perancangan kursi kemudi mobil yang bisa dimaju-mundurkan dan diatur kemiringan sandarannya.

- c. Perancangan fasilitas berdasar harga rata-rata

Pemakainya Prinsip ini hanya digunakan apabila perancangan berdasar harga ekstrim tidak mungkin dilaksanakan dan tidak layak jika kita menggunakan prinsip perancangan fasilitas yang bisa disesuaikan.

2.4 Work Related Musculoskeletal Disorder (WMSD)

Keluhan muskuloskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu

yang lama, akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan hingga mengakibatkan kerusakan inilah yang disebut keluhan *musculoskeletal disorders* (MSDs). *Work Related Musculoskeletal Disorder (WMSD)* disebut juga sebagai *Repetitive Motion Injury (RMI)* atau *Cumulative Trauma Disorder (CTD)*. *Repetitive Motion Injury (RMI)* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1717 di Italia oleh Ramazzini yang mendeskripsikannya sebagai akibat dari gerakan tangan berulang-ulang dengan postur tubuh terbatas dan tekanan mental yang berlebihan yang dilakukan oleh juru tulis (Franco dan Fusetti, 2004)

Secara garis besar keluhan otot dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

1. Keluhan sementara (*reversible*), yaitu keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun demikian keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan.
2. Keluhan menetap (*persistent*), yaitu keluhan otot yang bersifat menetap. Walaupun pembebanan kerja telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot masih terus berlanjut.

Studi tentang MSDs pada berbagai jenis industri telah banyak dilakukan dan hasil studi menunjukkan bahwa bagian otot yang sering dikeluhkan adalah otot rangka (skeletal) yang meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang dan otot-otot bagian bawah. Keluhan otot skeletal pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Apabila kontraksi otot melebihi 20 %, maka peredaran darah ke otot berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang menyebabkan timbulnya rasa nyeri otot.

Peter Vi menjelaskan bahwa terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya keluhan otot skeletal, yaitu:

Faktor primer :

- a. Peregangan otot yang berlebihan

Peregangan otot yang berlebihan pada umumnya sering dikeluhkan oleh pekerja dimana aktivitas kerjanya menuntut pengerahan tenaga yang besar seperti aktivitas mengangkat, mendorong, menarik dan menahan beban yang

berat. Peregangan otot yang berlebihan ini terjadi karena pengerahan tenaga yang diperlukan melampaui kekuatan optimum otot.

b. Aktivitas berulang

Yaitu suatu pekerjaan yang dilakukan secara berulang-ulang. Keluhan otot terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja secara terus menerus tanpa memperoleh kesempatan untuk relaksasi.

c. Sikap kerja tidak alamiah

Merupakan sikap kerja yang menyebabkan posisi bagian-bagian tubuh bergerak menjauhi posisi alamiah, misalnya pergerakan tangan terangkat, punggung terlalu membungkuk, kepala terangkat, dan sebagainya. Sikap kerja tidak alamiah ini pada umumnya karena karakteristik tuntutan tugas, alat kerja dan stasiun kerja tidak sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan pekerja. Di Indonesia, sikap kerja alamiah ini lebih banyak disebabkan oleh adanya ketidaksesuaian antara dimensi alat dan stasiun kerja dengan ukuran tubuh pekerja. Sebagai negara berkembang, Indonesia masih tergantung pada perkembangan teknologi negara-negara maju khususnya dalam pengadaan peralatan industri.

Faktor sekunder:

a. Tekanan

Terjadi langsung pada jaringan otot yang lunak. Sebagai contoh, pada saat tangan harus memegang alat, maka jaringan otot tangan yang lunak akan menerima tekanan langsung dari pegangan alat, dan apabila hal ini sering terjadi, dapat menyebabkan rasa nyeri otot yang menetap.

b. Mikrolimat

Paparan suhu dingin yang berlebihan dapat menurunkan kelincahan, kepekaan dan kekuatan pekerja menjadi lamban, sulit bergerak yang disertai dengan menurunnya kekutan otot. Demikian juga dengan paparan udara yang panas. Beda suhu lingkungan dengan suhu tubuh yang terlampau besar menyebabkan sebagian energi yang ada dalam tubuh akan dimanfaatkan oleh tubuh untuk beradaptasi dengan lingkungan tersebut. Apabila hal ini tidak diimbangi dengan pasokan energi yang cukup, maka akan terjadi kekurangan suplai energi ke otot. Sebagai akibatnya, peredaran darah kurang lancar, suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme karbohidrat

terhambat dan terjadi penimbunan asam laktat yang dapat menimbulkan rasa nyeri otot.

c. Getaran

Dengan frekuensi tinggi akan menyebabkan kontraksi otot bertambah. Kontraksi statis ini menyebabkan peredaran darah tidak lancar, penimbunan asam laktat meningkat dan akhirnya timbul rasa nyeri otot

Selain penyebab primer dan sekunder diatas, keluhan muskuloskeletal juga diakibatkan oleh berbagai kombinasi seperti berikut :

a. Umur

Keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 25-65 tahun. Keluhan pertama biasanya dirasakan pada umur 35 tahun dan tingkat keluhan akan terus meningkat sejalan dengan bertambahnya umur. Hal ini terjadi karena pada umur setengah baya, kekuatan dan ketahanan otot mulai menurun sehingga resiko terjadinya keluhan otot meningkat.

b. Jenis kelamin,

Secara fisiologis kemampuan otot wanita memang lebih rendah dari pada pria. Kekuatan otot wanita hanya sekitar dua pertiga dari kekuatan otot pria. Khususnya untuk otot lengan, punggung dan kaki.

c. Kebiasaan merokok

Kebiasaan merokok yang lama dan tingginya frekuensi merokok menyebabkan tingginya keluhan otot yang dirasakan. Hubungan yang signifikan antara kebiasaan merokok dengan keluhan otot pinggang, khususnya untuk pekerjaan yang memerlukan pengerahan otot.

d. Kesegaran jasmani.

Bagi yang dalam kesehariannya melakukan pekerjaan yang memerlukan pengerahan tenaga yang besar, di sisi lain tidak mempunyai waktu yang cukup untuk istirahat, hampir dapat dipastikan akan mengalamia keluhan otot. Tingkat kesegaran tubuh yang rendah akan mempertinggi risiko terjadinya keluhan otot. Keluhan otot akan meningkat sejalan dengan bertambahnya aktifitas fisik.

e. Kekuatan fisik.

Adanya peningkatan keluhan punggung yang tajam pada pekerja yang melakukan tugas yang menuntut kekuatan melebihi batas kekuatan otot pekerja. Namun untuk pekerjaan-pekerjaan yang tidak memerlukan

pengerahan tenaga, maka faktor kekuatan fisik kurang relevan terhadap resiko keluhan otot skeletal.

f. Ukuran tubuh (antropometri).

Vessy *et al* menyatakan bahwa wanita yang gemuk mempunyai risiko terjadinya keluhan (pada bagian otot kaki) dua kali lipat dibandingkan wanita kurus. Apabila dicermati, keluhan otot skeletal yang terkait dengan ukuran tubuh lebih disebabkan oleh kondisi keseimbangan struktur rangka di dalam menerima beban.

2.5 *Virtual Environment*

Virtual environment (VE) adalah suatu representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer sehingga memungkinkan penggunaanya untuk dapat berinteraksi dengan lingkungan sintetis yang memiliki kemiripan dengan lingkungan nyata (Kalawsky, 1993). Simulasi dalam lingkungan *virtual* harus dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*human virtual*) berada pada lokasi yang baru, berinteraksi dengan objek dan lingkungan, serta mendapat respon balik yang tepat dari objek yang mereka manipulasi.

Suatu *Virtual Environment* memiliki atribut sebagai berikut (Wilson et al. 1995) :

- Lingkungan yang dihasilkan melalui komputer
- Lingkungan atau partisipan yang terlibat bersifat tiga dimensi
- Partisipan memiliki kemampuan untuk terlibat dalam *virtual environment*
- Partisipan dapat menjalankan *Virtual environment*
- Perilaku objek dalam *virtual environment* sesuai dengan perilaku pada lingkungan nyata.

Virtual Environment juga dapat didefinisikan sebagai suatu lingkungan artifisial yang diciptakan oleh komputer dan digunakan secara *real-time*. Lingkungan artifisial ini dapat berupa sebuah model tiga dimensi yang berisi kumpulan data yang kompleks. Pengguna dapat memanipulasi *Virtual Human* yang berada di dalam VE untuk berinteraksi dengan lingkungan dan objek yang ada pada lingkungan *virtual* tersebut. *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

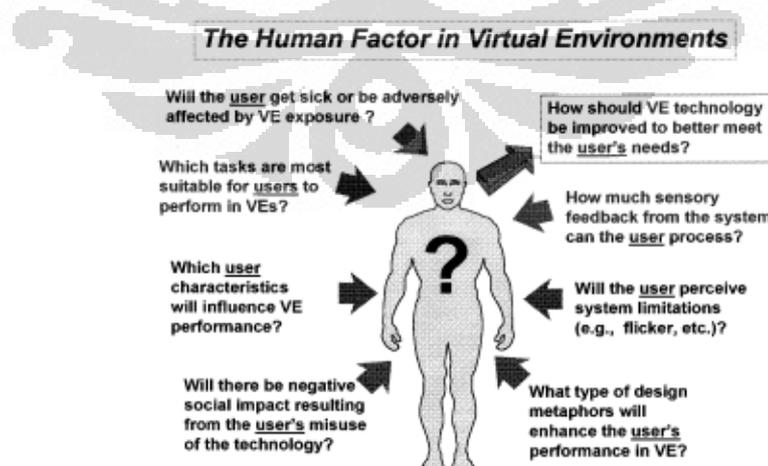
proses kerja, dan melihat bagaimana beban kerja yang dirasakan pekerja ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu.



Gambar 2.3 Area Penelitian *Human Factors* Untuk *Virtual Environment*

Sumber : Stanney, *et al*, *Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature*, Massachusetts Institute of Technology, 1998

Dalam kaitannya dengan *human factor*, *virtual environment* merupakan sarana yang tepat untuk mempermudah evaluasi terhadap suatu objek. Melalui *virtual environment* maka suatu produk dan proses dapat diselesaikan dengan cepat serta rendah biaya mengingat kemampuan dalam virtual environment yang dapat mengevaluasi dengan cepat sebagaimana pernyataan Wann dan Mon-Williams (1996) bahwa tujuan dari *virtual environment* adalah meminimalisasi proses pembelajaran untuk mengoperasikan sesuatu dengan memaksimalkan informasi yang diterima.



Gambar 2.4 Human Factors Dalam *Virtual Environment*

Sumber : Stanney, *et al*, *Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature*, Massachusetts Institute of Technology, 1998

Aplikasi *Virtual Environment* dalam *human factor*, terutama bagi kesehatan dan keselamatan kerja memiliki manfaat sebagai berikut :

- Penilaian ergonomis tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja.
- Pelatihan teknisi pemeliharaan, misalnya untuk bekerja di lingkungan yang berbahaya.
- Perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi.
- Pelatihan umum untuk industri, termasuk prosedur untuk pergerakan material dan penggunaan mesin pelindung.
- Diagnosa kesalahan dan perbaikan yang dibutuhkan.

2.6 *Software Jack*

Software Jack 6.0, merupakan suatu *software* ergonomi 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 mereka manipulasi. 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 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.

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.
- Memosisikan 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.

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

1. Membangun sebuah *virtual environment*.

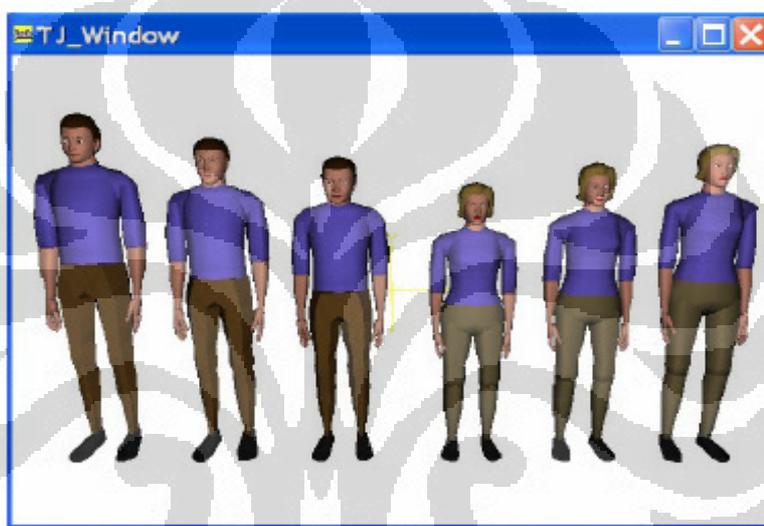
Membangun *virtual environment* dilakukan dengan cara mengimpor komponen – komponen benda kerja yang membangun *virtual environment* dari *Auto Cad* ke dalam layar simulasi Jack dan kemudian memosisikan sesuai kondisi aktual.



Gambar 2.5 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.
3. Memposisikan manusia *virtual* di dalam *virtual environment* tersebut.
Jack memungkinkan pengguna untuk membuat postur dengan menggunakan model empiris, kinematika, atau manipulasi persendian secara langsung.



Gambar 2.6 Model Manusia Jack 6.0 pada Persentil 95, 50 dan 5

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.65

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 diputar ulang sehingga peninjauan dan analisa terhadap gerakan menjadi lebih mudah. Hasil animasi juga dapat diekspor dalam bentuk video.
5. Menganalisa performa *virtual human* secara *real time* ketika melakukan tugas yang diberikan dengan menggunakan TAT.
Tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* secara *real time* memberikan dampak atau reaksi terhadap tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh

bagian tubuh *virtual human* tersebut. Oleh karena hal tersebut selama animasi dijalankan, TAT secara bersamaan diaktifkan untuk membantu dalam mengevaluasi performa dari *virtual human* tersebut.

Di dalam *Software Jack* terdapat 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 desain kerja di dunia industri. *Task Analysis Toolkit* (TAT) akan sangat berguna, terutama ketika seorang designer ingin mengembangkan model desain tempat kerja dan operasi pekerjaan dalam suatu lingkungan kerja karena *Task Analysis Toolkit* (TAT) akan memberikan gambaran nilai interaksi diantara variabel tersebut. 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 9 *tools* analisis ergonomi yang dapat digunakan, yaitu:

1. *Low Back Spinal Force Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu.

2. *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.

3. *NIOSH Lifting Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi pekerjaan yang melibatkan proses pengangkatan suatu benda, dan penilaian dilakukan berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh NIOSH.

4. *Predetermined Time Analysis*

Digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*.

5. *Rapid Upper Limb Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan pada tubuh bagian atas.

6. *Metabolic Energy Expenditure*

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.

7. *Manual Handling Limit*

Digunakan untuk menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan suatu operasi kerja.

8. *Fatigue/ Recovery Time Analysis*

Digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan.

9. *Ovako Working Posture Analysis System*

Digunakan untuk memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja.

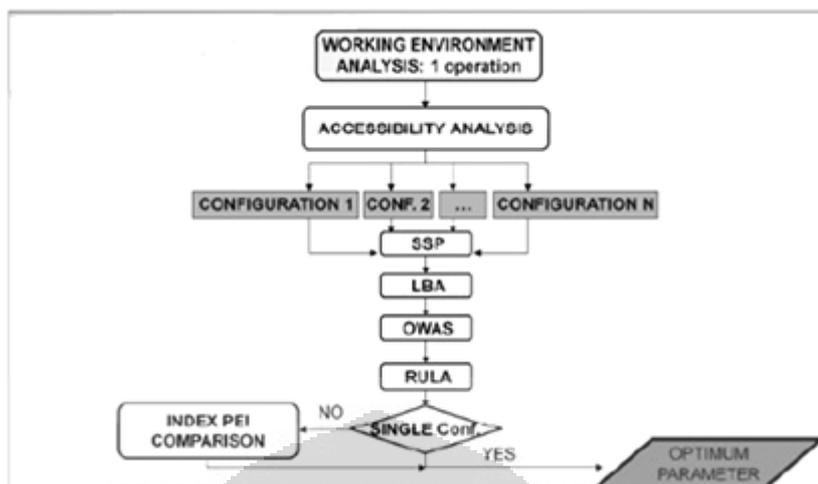
2.7 *Posture Evaluation Index*

Dalam melakukan perbaikan terhadap lingkungan kerja, permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana mendesain lingkungan kerja yang dapat mengakomodasi kenyamanan dan keamanan pekerja dengan perbedaan ukuran tubuh yang beragam. Untuk itu, dibutuhkan suatu metode yang dapat menganalisis tingkat performa dan optimalisasi kenyamanan secara ergonomi pada *virtual human* dalam melakukan tugas yang diberikan. Metode ini dibutuhkan untuk dapat memberikan analisis yang menyeluruh dan didasarkan dari hasil integrasi dari berbagai nilai ergonomi. *Postur Evaluation Index (PEI)*

merupakan metode yang dikembangkan berdasarkan alat ukur penilaian kerja (*Task Analysis Toolkit*) dari sebuah aplikasi bernama *JACK software* (Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006). PEI akan menghasilkan satu nilai tunggal yang digunakan untuk menilai kualitas dari postur kerja tunggal dengan mengintegrasikan nilai LBA (*Low Back Analysis*), OWAS (*Ovako Working Posture Analysis*), dan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*), Tujuan dari metode PEI adalah untuk menetapkan optimasi secara ergonomi pada sebuah operasi yang berada di sebuah area kerja.

Definisi PEI dan penggunaan LBA, OWAS dan RULA adalah berdasarkan konsep faktor risiko dari operasi kerja. Suatu operasi kerja memiliki lima faktor risiko, yaitu: repetisi (*repetition*), frekuensi (*frequency*), postur (*posture*), usaha (*effort*), dan waktu pemulihan (*recovery time*). Berdasar pada faktor resiko tersebut, maka hal-hal yang perlu diperhatikan ketika menganalisis suatu postur adalah evaluasi kekuatan kompresi terhadap L4 dan L5 lumbar disks (penentuan I1 berdasarkan skor LBA), evaluasi tingkat ketidaknyamanan postur kerja (penentuan I2 berdasarkan skor OWAS), dan evaluasi tingkat kelelahan dari tubuh bagian atas.

Dalam Metode *Posture Evaluation Index* (PEI), penilaian optimal diantara solusi perbaikan yang dihasilkan dari kombinasi antara postur kerja dan lingkungan pada suatu operasi dapat dihasilkan dengan lebih mudah sehingga perbaikan berkelanjutan untuk menghasilkan model yang benar-benar menggambarkan kondisi kerja aktual dan hasil yang optimal bisa didapatkan. Berdasarkan kondisi aktual tersebut selanjutnya dapat dianalisa resiko-resiko cedera apa saja yang dapat dialami pekerja. Gambar 2.7 ini menunjukkan diagram alur dari pendekatan yang menggunakan metode PEI.



Gambar 2.7 Diagram Alur Penggunaan Metode PEI

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

Secara garis besar berdasarkan Gambar 2.7, terdapat 7 tahapan atau fase yang harus dilalui antara lain:

- Fase Satu : Analisa Lingkungan Kerja
 Pada fase pertama ini merupakan tahap menganalisis kondisi lingkungan kerja dan mempertimbangkan kemungkinan alternatif gerakan kerja operator (seperti alternatif rute, postur, dan kecepatan kerja). Dalam simulasi model lingkungan *virtual*, diperlukan melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternatif gerakan, untuk memverifikasi kelayakan tugas yang dilakukan operator. Parameter lain yang dapat di modifikasi adalah jarak dimensi objek – objek kerja yang mempengaruhi postur kerja *virtual human*.
- Fase Dua : Analisa Kemampuan Menjangkau dan Mengakses
 Perancangan tempat kerja memerlukan studi pendahuluan mengenai aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang di luar kemampuan kerja dan jangkauan operator pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Jikai analisis lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas konfigurasi telah menunjukkan kondisi –

kondisi yang sesuai dengan kondisi dan limitasi manusia, maka fase berikutnya dari tahapan PEI baru dapat dilanjutkan.

- Fase Tiga : *Static Strength Prediction (SSP)*
Static Strength Prediction adalah *tools* yang dapat memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan. Operasi pekerjaan yang memiliki nilai skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut.
- Fase Empat : *Low Back Analysis (LBA)*
Low Back Analysis (LBA) merupakan *tools* yang digunakan untuk mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia berdasarkan postur dan beban yang dikenakan saat melakukan suatu operasi kerja. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu 3400 N.
- Fase Lima : *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*
Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) merupakan metode sederhana untuk mengetahui tingkat kenyamanan dari suatu postur kerja serta untuk memberikan informasi mengenai tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Tingkat penilaian ini berdasarkan pada postur dan observasi rangkaian kerja operator yang disimulasikan. Nilai OWAS yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan maksimum yang ada pada OWAS yaitu 4.
- Fase Enam : *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*
RULA (Rapid Upper Limb Assessment) adalah *tools* untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas serta untuk mengidentifikasi risiko cedera atau gangguan pada tubuh bagian atas. Nilai RULA yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimum RULA yaitu 7.
- Fase Tujuh : *PEI Evaluation*
 PEI merupakan hasil integrasi dari nilai LBA, OWAS, dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. PEI mengintegrasikan ketiga nilai ini dengan menjumlahkan tiga variabel dimensional I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 merupakan perbandingan antara skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia. Nilai batas aman yang digunakan dalam metode ini

merujuk pada nilai yang dikeluarkan oleh NIOSH yaitu sebesar 3400 N. Sebelum melanjutkan pada perhitungan selanjutnya, perlu diyakini bahwa nilai I_1 harus lebih kecil dari 1. $I_1 > 1$ menunjukkan kegiatan kerja dalam simulasi tidak valid. Variabel I_2 merupakan perbandingan nilai OWAS dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4. Sedangkan nilai I_3 merupakan perbandingan nilai RULA dengan indeks batas maksimum tingkat kenyamanan RULA sebesar 7. Khusus untuk I_3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* “ mr ”.

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

Dimana :

I_1 = LBA/3400

I_2 = OWAS/4

I_3 = RULA/7

Keterangan :

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

4 = nilai *maximum index* OWAS

7 = level *maximum* ketidaknyamanan tubuh bagian atas

mr = koefisien amplifikasi = 1.42

Perbedaan antar nilai PEI yang dihasilkan pada masing – masing *critical posture* yang ditinjau, menunjukkan bahwa semakin kecil nilai PEI, semakin tinggi tingkat kenyamanan dan semakin rendah resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manuasia yang melakukan postur tersebut. Sebaliknya semakin tinggi nilai PEI, semakin rendah tingkat kenyamanan dan semakin tinggi resiko keluhan kesehatan yang dapat didertita oleh manusia. Sehingga suatu postur kerja dikatakan optimal jika memiliki nilai PEI paling rendah.

2.7.1 Static Strength Prediction (SSP)

Static Strength Prediction merupakan metode peninjauan yang berfokus pada penelitian ergonomi pada sebuah rangkaian kerja yang memiliki karakteristik tertentu dimana pekerjaan yang dilakukan membutuhkan kekuatan dan gerakan tersendiri dari pekerja dengan berbagai gender, umur, dan tinggi tertentu (Siemens PLM Software, 2008).

Prinsip dasar SSP adalah sebagai berikut (Choffin, *et al*, 2003) :

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

SSP digunakan untuk mengevaluasi persentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Analisis kapabilitas yang dilakukan SSP didasarkan pada pertimbangan postur, tenaga yang dibutuhkan, dan antropometri.

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

- Membantu menganalisa pekerjaan yang berhubungan dengan penanganan material yang meliputi: pengangkatan barang, penurunan barang, mendorong, dan menarik, yang membutuhkan pergerakan pada pinggang, serta gerakan tangan dan gaya yang kompleks
- Memperkirakan persentase pekerja wanita dan pria yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan yang telah ditentukan
- Mengevaluasi pekerjaan secara langsung (real time) dengan cara Mengidentifikasi postur-postur kerja tertentu yang membutuhkan karakteristik kekuatan yang melebihi batas beban ideal, maupun melebihi batas kemampuan pekerja

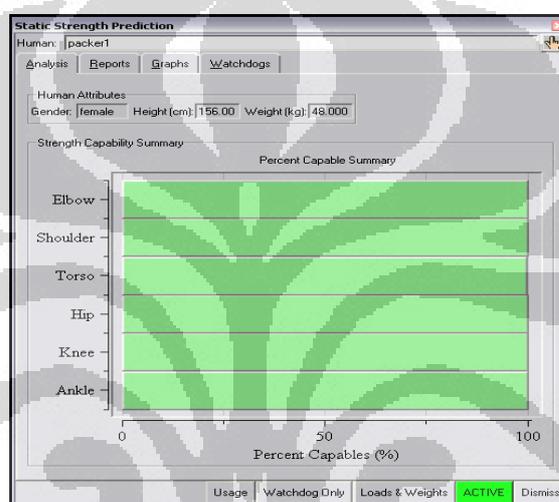
Perhitungan nilai SSP menggunakan suatu konsep yang disebut dengan konsep biomekanika. Cara kerja konsep biomekanika tersebut adalah dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit (fungsi tulang) dan bergerak (fungsi otot). Pergerakan otot akan membuat tulang untuk cenderung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

$$M_j = S_j \dots\dots\dots(2.2)$$

Mj dalam formula di atas adalah gaya eksternal di setiap persendian dan Sj adalah gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Besarnya nilai dari Mj 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 2.8**



Gambar 2. 8 Tampilan SSP pada *Software* Jack

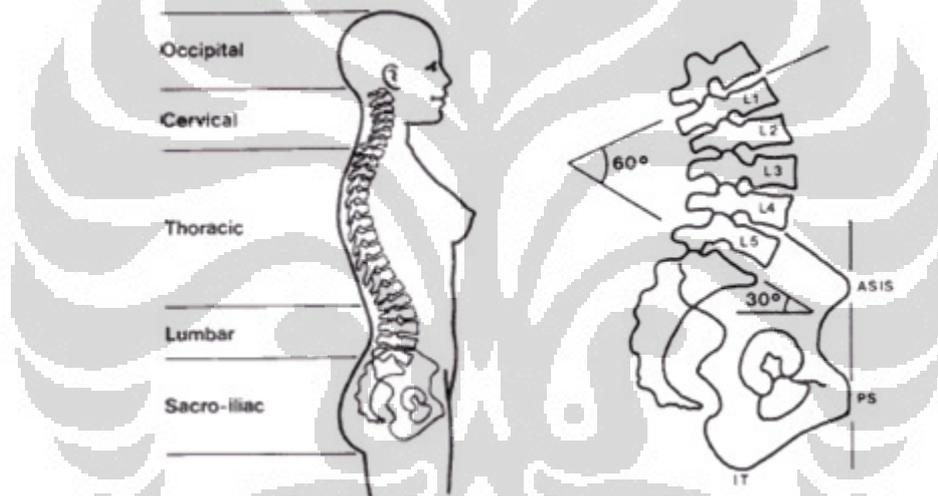
Sumber: *Jack Training Manual*, 2008, hal.12

2.7.2 Low Back Analysis (LBA)

Low Back Analysis (LBA) merupakan metode untuk mengevaluasi tekanan yang bekerja pada bagian tulang belakang manusia, dalam berbagai macam postur kerja dan kondisi pembebanan. 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. *Low Back Analysis* (LBA) memberikan informasi yang berhubungan dengan tekanan dan kekuatan pada L4 dan L5 *lumbar disk*; momen reaksi yang terjadi pada L4 dan L5 *lumbar disk*; dan tingkat aktivitas dari otot tubuh untuk menyeimbangkan momen yang diterima oleh tulang belakang (Gironimo, Monacella & Patalano, 2004). Lebih detail, LBA

menghitung tekanan pada *vertebral disc* L4/L5 dan membandingkannya dengan batas tekanan pada standar NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) yakni sebesar 3400 N.

Selain informasi mengenai tekanan pada *vertebral disc* L4/L5, hasil LBA juga akan memberikan informasi mengenai Momen-reaksi (torsi) yang terjadi pada bidang *axial, sagittal, dan lateral* L4 dan L5 bagian lumbal tulang belakang sebagai hasil representasi efek yang diterima oleh tubuh bagian atas terhadap berat yang ditopangnya. Selain itu, informasi mengenai aktivitas yang terjadi pada otot tubuh ketika untuk menyeimbangkan momen pada tulang belakang juga dapat dihasilkan.



Gambar 2.9 Otot dan Ligamen Penyusun Tulang Belakang Manusia
(kiri) Posisi L4/L5 pada Daerah Lumbar (kanan)

Sumber : Pheasant, S. (2003). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and Design of Work*, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, hal 69-70

Hasil yang diperoleh dari analisis LBA dapat dijadikan acuan untuk penentuan hal-hal sebagai berikut :

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

Kalkulasi gaya tekan dan tegangan yang terjadi pada ruas lumbar 4 (L4) dan lumbar 5 (L5) dari tulang belakang manusia serta perbandingan gaya tersebut dengan batas nilai beban ideal yang dikeluarkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (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):

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

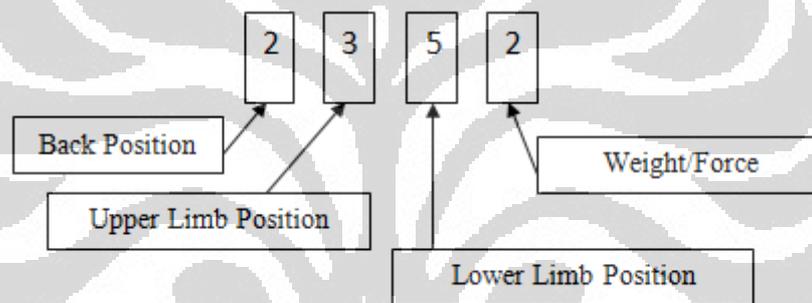
- RWL = *recommended weight limit* (batas beban yang direkomendasikan)
- LC = beban konstan
- HM = faktor "*Horizontal Multiplier*",
- VM = faktor "*Vertical Multiplier*",
- DM = faktor "*Distance Multiplier*" atau faktor pengali jarak,
- FM = faktor "*Frequency Multiplier*" atau faktor pengali frekuensi,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

2.7.3 *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS)

OWAS (*Ovako Working Postures Analysis System*) adalah suatu metode untuk mengevaluasi beban postur (*postural load*) selama bekerja. Metode OWAS didasarkan pada sebuah klasifikasi yang sederhana dan sistematis dari postur kerja yang dikombinasikan dengan pengamatan dari tugas selama bekerja. Metode OWAS pertama kali dilakukan untuk menganalisis postur kerja pada industri baja. Metode ini telah digunakan dalam penelitian dan pembangunan di Finlandia, Swedia, Jerman, Belanda, India dan Australia. Metode ini dapat diterapkan pada suatu area:

1. Pembangunan stasiun kerja (*work place*) atau sebuah metode kerja untuk mengurangi beban gangguan otot (*musculoskeletal*) agar lebih nyaman dan lebih produktif.
2. Pengukuran ergonomi untuk beban postur
3. Pelayanan kesehatan yang mengalami sakit dalam suatu pekerjaan
4. Riset dan pembangunan

Hasil penilaian pada OWAS akan menentukan tingkat kepentingan atau urgensi untuk dilakukannya perbaikan terhadap rancangan stasiun kerja. Selain itu berdasarkan nilai OWAS dapat ditentukan tindakan perbaikan dari postur kerja yang ada. Penggunaan metode OWAS dalam menganalisis kenyamanan hanya ditekankan pada evaluasi beberapa faktor antara lain postur kerja yang dialami punggung, lengan, kaki, dan besarnya beban yang harus ditopang oleh tubuh. Selanjutnya, hasil analisis pada masing-masing postur akan ditampilkan dalam 4 digit kode (Gambar 2.10). Angka pertama dalam kode menjelaskan postur kerja bagian *back* (tulang punggung), digit kedua menjelaskan bagian *upper limb*, digit ketiga menjelaskan bagian *lower limb* serta digit keempat menjelaskan beban yang diterima selama melaksanakan aktivitas kerja.



Gambar 2.10 Model Kode OWAS

Penjelasan mengenai tingkatan kode digit pada masing-masing postur dijelaskan sebagai berikut :

1. Postur bagian Punggung (*Back Position*)

Angka pertama dari kode OWAS menjelaskan postur bagian punggung manusia. Posisi ini diklasifikasikan ke dalam 4 jenis posisi seperti pada Gambar 2.11.



Kode	Posisi Punggung
1	Lurus/netral
2	Bungkuk ke depan/belakang
3	Memutar (twist)/cenderung ke samping
4	Membungkuk (bent) dan memutar (twist)

Gambar 2.11 Klasifikasi Postur Punggung Metode OWAS

Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomis and Human Factor*, 2001, hal.3299, telah diolah kembali

2. Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas (*Upper Limb Position*)

Angka kedua dari kode OWAS menjelaskan postur tungkai bagian tubuh atas . Posisi ini diklasifikasikan ke dalam 3 jenis posisi seperti pada Gambar 2.12.



Kode	Posisi Tangan
1	Kedua tangan di bawah bahu
2	Satu tangan berada pada atau di atas bahu
3	Kedua tangan berada pada atay di atas bahu

Gambar 2.12 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Atas Metode OWAS

Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomis and Human Factor*, 2001, hal.3299, telah diolah kembali

3. Posisi Tungkai Tubuh Bagian Bawah (*Lower Limb Position*)

Angka ketiga dari kode OWAS menjelaskan postur bagian punggung manusia. Posisi ini diklasifikasikan ke dalam 7 jenis posisi seperti pada Gambar 2.13.



Kode	Posisi 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

Gambar 2.13 Klasifikasi Postur Tungkai Bagian Tubuh Bawah Metode OWAS

Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomis and Human Factor*, 2001, hal.3299, telah diolah kembali

4. Beban yang diterima/Gaya yang dikerjakan (*Weight/Force*)

Angka keempat dari kode OWAS menjelaskan besarnya beban yang diterima atau gaya yang dikerjakan oleh seseorang ketika melakukan sebuah pekerjaan. Terdapat tiga jenis klasifikasi beban, yakni beban kurang dari 10 kg; diantara 10 kg hingga 20 kg; lebih dari 20 kg (**Tabel 2.1**).

Tabel 2.1 Klasifikasi Beban yang Diterima dalam Metode OWAS

Kode	Beban
1	Kurang dari atau sama dengan 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 2.2**.

Universitas Indonesia

Tabel 2.2 Pembobotan Nilai Pada OWAS

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

Sumber: *Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002*

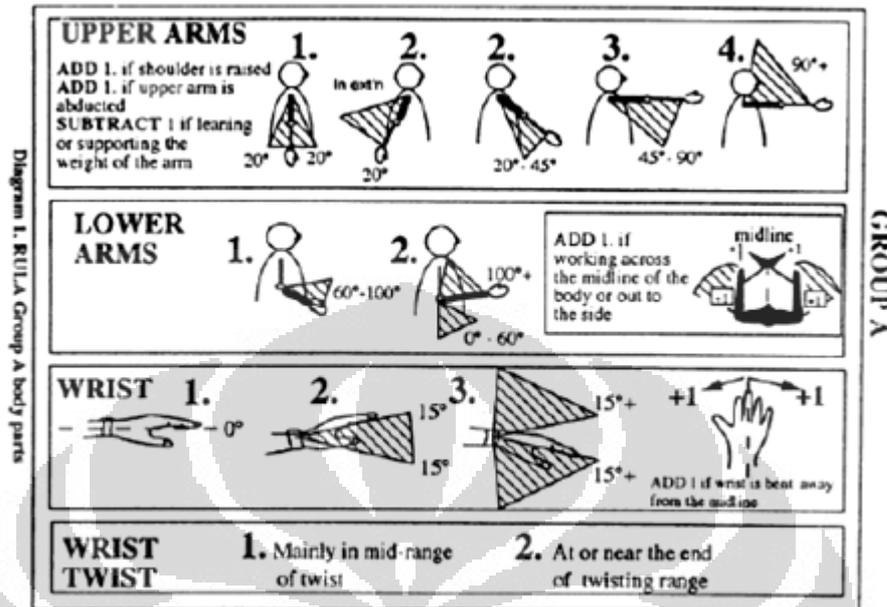
2.7.4 Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)

RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) merupakan suatu metode penelitian untuk menginvestigasi gangguan pada anggota badan bagian atas. Metode ini tidak membutuhkan peralatan spesial dalam penetapan penilaian postur leher, punggung, dan lengan atas. Setiap pergerakan diberi dengan skor yang telah ditetapkan. RULA dikembangkan sebagai suatu metode untuk mendeteksi postur kerja yang merupakan factor resiko (*risk factors*). Metode ini didesain untuk menilai para pekerja dan mengetahui beban *musculoskeletal* yang kemungkinan dapat menimbulkan gangguan pada anggota badan atas. Metode RULA menggunakan diagram dari postur tubuh dan tabel skor dalam menetapkan evaluasi faktor resiko. Faktor resiko yang telah diinvestigasi dijelaskan oleh McPhee sebagai faktor beban eksternal yaitu jumlah pergerakan, kerja otot statik, tenaga, penentuan postur kerja oleh peralatan, dan waktu kerja tanpa istirahat. Pada dasarnya, metode RULA memiliki fungsi penggunaan sebagai berikut :

- Mengukur resiko cedera pada tubuh bagian atas terhadap postur kerja dan penggunaan otot, berat beban, durasi, serta frekuensi kerja.
- Menempatkan suatu skor penilaian yang mengindikasikan derajat intervensi yang dibutuhkan untuk mengurangi risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas.

Dalam metode RULA, untuk mempermudah penilaiannya maka tubuh dibagi atas 2 segmen yaitu grup A dan grup B. Grup A, (Gambar 2.14) terdiri atas

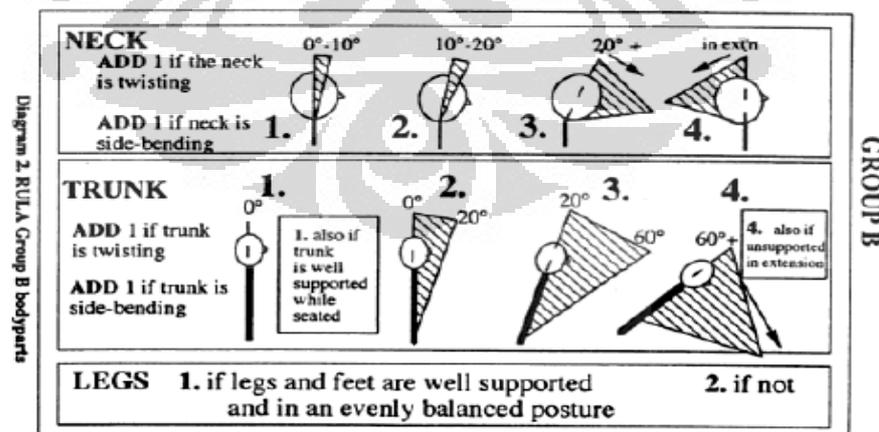
lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*lower arm*), dan pergelangan tangan (*wrist*).



Gambar 2.14 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Grup A

Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, 2001, hal.1462

Grup B terdiri dari leher (*neck*), punggung (*trunk*), dan kaki (*legs*). Berikut ini adalah penilaian postur kerja berdasarkan metode RULA.



Gambar 2.15 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Grup B

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

Untuk menghasilkan suatu nilai tunggal yang menunjukkan bobot resiko yang akan diterima oleh tubuh bagian atas secara keseluruhan akibat operasi kerja yang dilakukan, maka setiap nilai yang dihasilkan kemudian diintegrasikan dengan faktor pembebanan dan jenis tugas yang dilakukan. Hasil pembobotan nilai pada RULA ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Pembobotan Nilai pada RULA

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

Sumber: *Siemens PLM Software Inc., 2008*

Berdasarkan **Tabel 2.3**, semakin tinggi nilai yang dihasilkan, semakin besar resiko pekerjaan terhadap kesehatan. Penilaian pada RULA diatas, menurut Occhipinti and Colombini (1999), berdasarkan pada beberapa faktor berikut :

1. Pengulangan (frekuensi)

Menampilkan kejadian yang diulang dalam waktu tertentu, dan dilakukan dengan cara yang sama untuk setiap pengulangan. Semakin tinggi frekuensi pekerjaan tersebut, semakin tinggi pula resiko cedera yang bisa terjadi

2. Gaya

Gaya atau tenaga menjelaskan usaha yang dilakukan untuk melakukan suatu kegiatan atau suatu urutan aksi. Kebutuhan untuk memperbesar gaya selama pekerjaan dilakukan berhubungan pergerakan atau pertahanan posisi akan kegiatan tersebut. Sedangkan penggunaan gaya berhubungan dengan aksi statis atau aksi dinamis yang harus dilakukan dalam kegiatan tersebut.

3. Postur dan tipe pergerakan

Postur dan tipe pergerakan pada anggota tubuh bagian atas yang saling menyesuaikan agar dapat melakukan satu urutan aksi teknis sehingga menciptakan satu putaran kegiatan.

4. *Recovery period*

Periode waktu ini berada diantara putaran kegiatan. Periode waktu ini meliputi waktu berhentinya kegiatan setelah dilakukan satu putaran penuh, dimana metabolisme dan mekanisme otot kembali ke keadaan awal, yaitu ketika otot sedang tidak bekerja. Kurangnya melakukan *recovery period* ini dapat meningkatkan resiko cedera bagi operator.

5. Faktor resiko tambahan

Faktor ini disebut sebagai faktor tambahan bukan karena tidak sama penting dengan faktor yang lain, namun faktor ini tidak selalu ada pada setiap pekerjaan. Hal ini sangat bergantung dengan jenis pekerjaan apa yang dilakukan, mekanisme pekerjaan itu sendiri, lingkungan tempat pekerjaan itu dilakukan dan bentuk organisasi yang terbentuk untuk membantu terlaksananya pekerjaan tersebut.

2.8 Sikap dan Postur Kerja Duduk

Postur kerja duduk memerlukan energi yang lebih sedikit jika dibandingkan postur kerja berdiri. Namun sikap duduk yang salah akan menyebabkan terjadinya permasalahan pada punggung. Pekerja dengan sikap duduk yang salah akan mengalami tekanan yang lebih besar pada bagian tulang belakang dibandingkan pekerja dalam posisi berdiri. Jika diasumsikan tekanan sebesar 100%, maka cara duduk yang tegang atau kaku (*erect posture*) dapat menyebabkan tekanan tersebut mencapai 140% dan cara duduk yang dilakukan dengan membungkuk kedepan dapat meningkatkan tekanan hingga 190%.

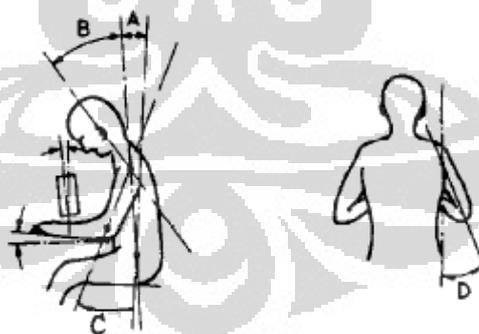
2.8.1 Postur Duduk

Postur duduk berkaitan dengan kondisi punggung manusia, terutama daerah ruas L4 dan L5 yang berada pada daerah lumbar punggung bawah. Postur duduk yang lama beresiko menyebabkan terjadinya *low back pain*. Postur kerja yang baik seringkali dikaitkan dengan postur duduk tegak dengan kemiringan antara batang tubuh dan paha sebesar 90 derajat. Namun postur duduk seperti ini dapat berpeluang menyebabkan tulang punggung merosot ke depan (Mandal, 1981,1991). Kondisi tersebut dikarenakan beban statis yang diberikan oleh leher dan kepala ke arah bawah. Selain itu, postur duduk tegak merupakan postur duduk duduk yang statis, berlawanan dengan karakteristik tubuh manusia yang selalu

berubah-ubah sehingga postur duduk tegak dalam waktu yang lama dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada tulang punggung, beresiko menekan bagian tulang lunak dan tulang rawan dari tulang punggung, reduksi metabolisme, defisiensi dalam sirkulasi darah, serta akumulasi dari cairan ekstraselular di kaki bagian bawah (Kroemer *et al*, 2001)

2.8.2 Postur Leher dan Kepala

Studi mengenai pengaruh postur kerja yang tidak nyaman terhadap penyebab utama terjadinya musculoskeletal disorder pada bagian leher-kepala serta batang tubuh pekerja dalam posisi duduk telah banyak dilakukan (Chaffin, 1973; Lee *et al*, 1986; Schuldt *et al*, 1986). Postur kerja duduk, terutama untuk pekerjaan yang dilakukan dalam posisi duduk statis selama waktu kerja, gerakan repetitif, serta melibatkan aspek *visual* akan mempengaruhi postur leher-kepala dan batang tubuh. Postur kerja yang buruk dan tidak nyaman berpengaruh terhadap menurunnya efisiensi dari performance kerja (Corlett, 1981; Bhatnager *et al*, 1985). Untuk itu, pemahaman mengenai penerapan postur kerja yang memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pekerja sangatlah dibutuhkan yakni dengan cara mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi postur yang dialami pekerja untuk jenis pekerjaan tertentu.



Gambar 2.16 Sudut-sudut Pada Postur Kerja

Sumber : Li', Guangyan, et al. (1995). Factors affecting posture for machine sewing tasks. *Applied Ergonomics* vol 26 no.1 pp 35-46.

Keterangan :

A = Trunk flexion

B = Head/neck flexion

C = Upper arm flexion

D = Upper arm abduction

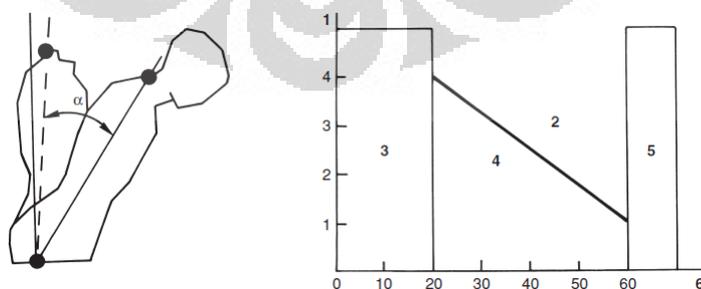
Berdasarkan penelitian mengenai posisi kerja yang lebih memberikan kenyamanan kepada pekerja (Kilbom *et al*, 1985; Keyserling, 1986; Leonard and Keyserling, 1989) serta penelitian mengenai penerapan posisi leher-kepala terhadap pekerja garmen (penjahit) yang dilakukan Li, et al, (1995) menyimpulkan 3 kategori terhadap sudut leher-kepala, (head-leg flexion), trunk flexion dan inclination dan upper flexion (**Tabel 2.4**)

Tabel 2.4 Kategori Sudut Kenyamanan Postur Kerja

		Neutral	Mild	Severe
Trunk flexion		0-20°	21-30°	>30°
Head/neck flexion		0-20°	21-45°	>45°
Left/right upper arm	Flexion	0-30°	31-60°	>60°
	Abduction	0-30°	31-60°	>60°

Sumber : Li', Guangyan, et al. (1995). *Factors affecting posture for machine sewing tasks. Applied Ergonomics* vol 26 no.1 pp 35-46.

Dalam ISO 11226 mengenai evaluasi postur kerja statis menyebutkan jika posisi *trunk inclination* berkaitan dengan lama waktu yang digunakan untuk melakukan suatu jenis pekerjaan. Untuk pekerjaan dengan posisi statis selama 5 menit, posisi *trunk inclination* yang diizinkan adalah 0 hingga 20 derajat. Untuk pekerjaan dengan posisi statis selama 1 hingga 4 menit, posisi *trunk inclination* yang diizinkan adalah 20 hingga 60 derajat. Batasan posisi ini berkaitan dengan keluhan yang akan ditimbulkan dari posisi statis yang dialami seperti keluhan pada leher dan bahu yang akan meningkat.



Gambar 2.17 Hubungan *Trunk Inclination* Terhadap Batas Waktu untuk Postur Statis

Sumber : ISO 11226, 2000.

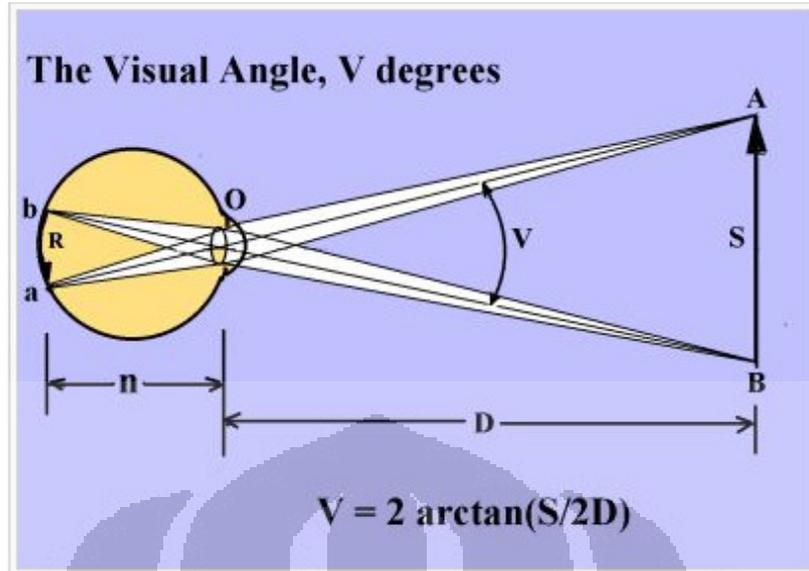
2.8.3 Visual Field

Kenyamanan merupakan salah satu faktor utama yang dibutuhkan pada saat pekerja melakukan pekerjaan yang berhubungan dengan pandangan mata. Kenyamanan memandang biasanya dikaitkan dengan jarak pandang mata terhadap objek yang diamati. Memandang objek terlalu dekat dapat menyebabkan terjadinya kelelahan mata yang disebut “*eyestrain*” dengan gejala pandangan menjadi kabur dan pusing. Untuk itu dibutuhkan jarak yang tepat untuk memandang suatu objek.

Pheasant (2003) menyebutkan jika jarak 350 mm hingga 400 mm dianggap mencukupi untuk pekerjaan yang membutuhkan jarak pandang dekat seperti menjahit atau merakit komponen yang berukuran kecil. Untuk beberapa kondisi, umumnya jarak yang dibutuhkan adalah 500 mm. Menurut studi Grandjean et al (1984), jarak pandang mata yang baik adalah sebesar 760 mm, dari range 610 mm hingga 930 mm. Brown dan Schuam (1980) menyatakan 624 mm sebagai jarak yang optimum.

Dalam melaksanakan pekerjaan yang membutuhkan ketelitian mata, akan sangat dipengaruhi oleh area mata dalam memandang. Mata memiliki daerah pandangan yang disebut *visual field*. Ketika mata memandang suatu objek, maka mata akan fokus terhadap area tengah dari *visual field* yang disebut *foveal vision* sehingga bagian ini merupakan bagian yang paling sensitif. Aktivitas yang membutuhkan pandangan mata akan membuat foveal regions dari kedua mata bergerak terpusat beriringan selama melakukan tugasnya dan lensa mata akan berakomodasi agar dapat fokus pada jarak tertentu. Dalam kondisi normal, daerah *visual field* adalah sebesar 55 derajat ke arah pandangan atas dengan batasan daerah jangkauan warna sebesar 30 derajat, sementara pada arah pandangan bawah, daerah *visual field* ini sebesar 70 derajat dengan dengan batasan daerah jangkauan warna sebesar 40 derajat. Sementara itu, untuk menentukan cakupan wilayah yang dapat dijangkau mata (S) seperti pada gambar 2.18 dapat dilakukan dengan persamaan 2.4 sebagai berikut :

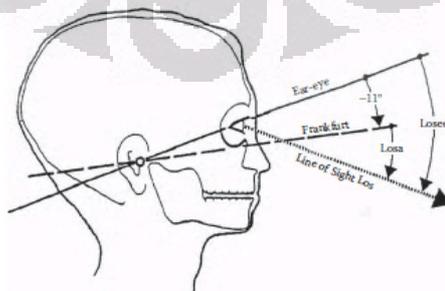
$$V = 2 \arctan\left(\frac{S}{2D}\right) \dots \dots \dots (2.4)$$



Gambar 2.18 Wilayah Cakupan Mata

Source : Kaiser, Peter K. Calculation of Visual Angle. *The Joy of Visual Perception: A Web Book*. York University

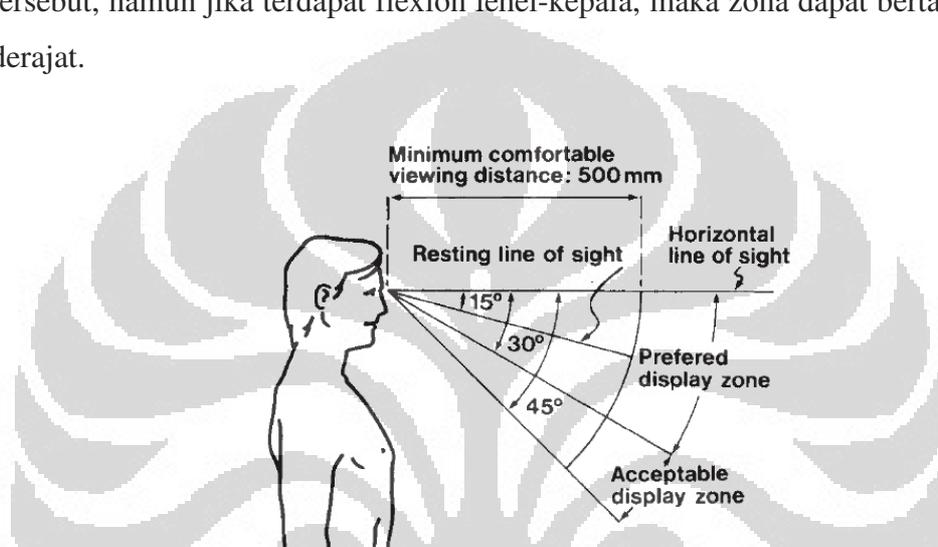
Mata memiliki titik yang dapat bergerak ke arah atas sejauh 48 derajat dan ke arah bawah sejauh 66 derajat tanpa disertai gerakan kepala dan leher (Taylor, 1973). Dalam studinya mengenai visual fatigue, Weston (1953) menyarankan jika pergerakan mata ke arah bawah dibatasi sejauh 24 hingga 27 derajat. Melebihi tersebut, maka kepala dan leher akan cenderung menunduk ke arah depan dan otot-otot leher akan terbebani untuk menyokong berat dari kepala. Hill dan Kroemer (1986) menemukan jika dalam postur duduk dengan kondisi memandang objek yang berjarak 50 hingga 100 cm, maka sudut memandang yang dianjurkan sebesar 29 derajat dibawah frankurt line (**Gambar 2.19**)



Gambar 2.19 Frankurt Line Pada Mata

Sumber : Anshell, J, Visual Ergonomics Handbook, Taylor & Francais, London, 2005, hal 31

Dalam studinya mengenai operator VDU, Geandjan *et al* (1984) menyatakan bila sudut penglihatan yang direkomendasikan adalah sebesar 9 derajat ke arah bawah dari garis horizontal. Sementara Brown dan Schaum (1980), dengan penelitian serupa menemukan bila sudut yang dianjurkan sebesar 18 derajat. Berdasarkan kedua pendapat tersebut, dapat disimpulkan jika zona yang baik untuk memandang (preferred zone) adalah sebesar 30 derajat kearah bawah dari garis horizontal, dimana garis pandangan optimum berada di tengah zona tersebut, namun jika terdapat flexion lehel-kepala, maka zona dapat bertambah 15 derajat.



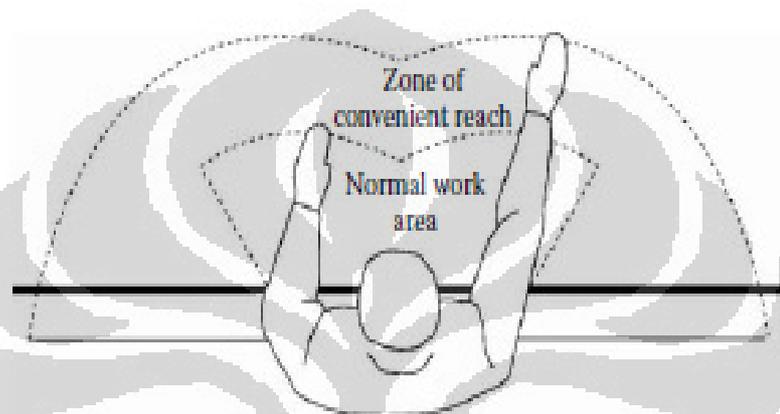
Gambar 2.20 Daerah Pandangan Mata

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

2.8.4 Area Kerja Pada Postur Kerja Duduk

Dalam penentuan batasan daerah kerja, dikenal batasan vertikal dan horisontal. Batasan vertikal berkaitan dengan batasan jangkauan secara vertikal seperti kasus menjangkau papan-papan kontrol sedangkan batasan horisontal merupakan batasan jangkauan benda kerja dan peralatan lainnya yang disusun pada permukaan horisontal. Batasan untuk menjangkau semakin meningkat jika operator mengendalikan beberapa macam gerakan tubuh. Sebagai contoh, ketika operator duduk yang menghindari gangguan keseimbangan pada saat menjangkau. Barnes (1980) mendefinisikan batasan daerah kerja sebagai daerah kerja “normal” dan daerah kerja “maksimum” dengan batasan yang ditentukan oleh ruas tengah jari (mid points of fingers), sebagai berikut :

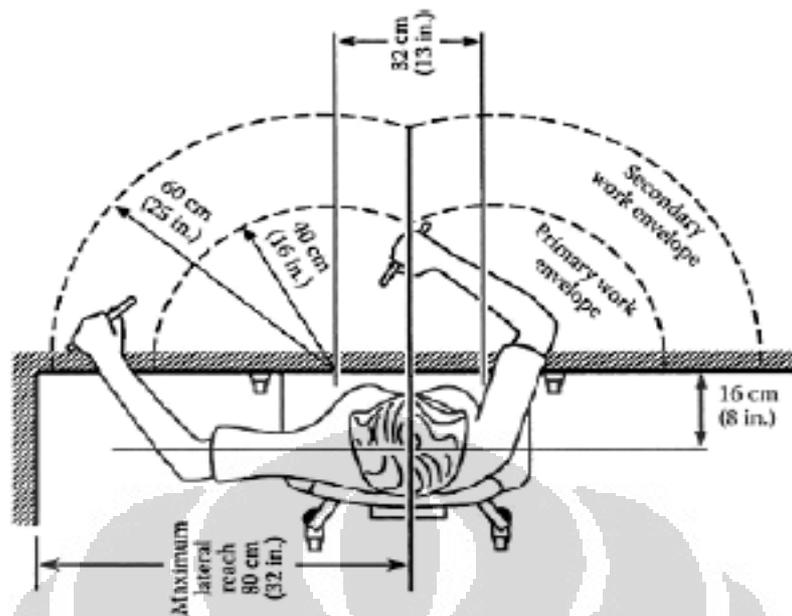
- a. Daerah Normal
Merupakan daerah yang terjadi ketika lengan bawah berputar pada bidang horisontal dengan posisi siku yang tetap.
- b. Daerah maksimum
Merupakan daerah yang terjadi ketika lengan direntangkan keluar dan diputar sekitar bahu. Daerah ini biasanya digunakan untuk menentukan batas daerah maksimal yang mampu dijangkau oleh operator.



Gambar 2.21 Jangkauan Normal dan Maksimum Secara Horizontal

Sumber : McKeown and Twiss, 2004

Helander (1943) menyebutkan jika dalam melakukan aktivitas menjangkau dibedakan atas dua gerakan yakni *primary movement* dan *secondary movement*, sehingga daerah jangkauan juga dibedakan atas *primary workt envelope* dan *secondary work envelope*. Untuk benda-benda yang sering digunakan dan bersifat utama diletakkan pada *primary work envelope*, sedangkan benda-benda yang tidak sering digunakan diletakkan pada *secondary work envelope* (**Gambar 2.22**).



Gambar 2.22 *Primary Work Envelope dan Secondary Work Envelope*

Sumber : Helander, Martin, *A Guide to Human Factor and Ergonomics*, 1943

2.9 Kursi

Postur kerja duduk membutuhkan kursi untuk menunjang aktivitasnya. Tujuan dari penggunaan kursi adalah memberikan kestabilan dalam menyokong postur tubuh pengguna, meliputi :

- a. Memberikan kenyamanan selama periode penggunaan
- b. Memberikan Kepuasan fisiologis
- c. Menyesuaikan dengan aktivitas yang dilakukan.

Aktivitas duduk di kursi dalam waktu yang lama dapat menyebabkan ketidaknyamanan, terlebih lagi jika kursi yang digunakan tidak sesuai dengan karakteristik pengguna, lama penggunaan dan jenis pekerjaan yang dilakukan. Untuk itu, definisi kenyamanan pada penggunaan kursi tergantung pada interaksi yang melibatkan karakteristik kursi, karakteristik pengguna serta karakteristik pekerjaan.

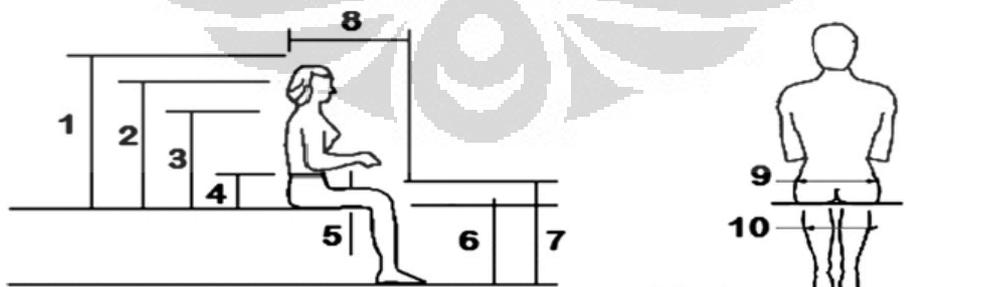
Seat characteristics <ul style="list-style-type: none"> ▪ seat dimensions ▪ seat angles ▪ seat profile ▪ upholstery 	User characteristics <ul style="list-style-type: none"> ▪ body dimensions ▪ body aches and pains ▪ circulation ▪ state of mind
Task characteristics <ul style="list-style-type: none"> ▪ duration ▪ visual demands ▪ physical demands <ul style="list-style-type: none"> — hands — feet ▪ mental demands 	

Gambar 2.23 Definisi Kenyamanan Kursi

Sumber : Pheasant. S, Bodyspace : Anthropometry. Ergonomic and the design of Work, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003

2.9.1 Pengukuran Antropometri Untuk Desain Kursi

Dalam pembuatan kursi diperlukan data antropometri tertentu dari bagian tubuh manusia. Hal ini berkaitan dengan kondisi posisi duduk yang akan menjadi berbeda jika dibandingkan pada saat kondisi berdiri. Pada saat kondisi duduk, beberapa anggota tubuh memiliki ukuran yang lebih besar seperti akibat adanya komposisi lemak yang lebih terakumulasi ketika duduk. Sebagai contoh bagian pinggul yang menjadi lebih besar ketika berada pada kondisi duduk sehingga dibutuhkan data antropometri yang lebih khusus. Oyewole (2010) menyebutkan jika pengukuran data antropometri posisi duduk yang dibutuhkan dalam merancang suatu furniture adalah sebagai berikut :



1	Siting Height
2	Eye Height
3	Shoulder Height
4	Elbow Rest Height
5	Thigh Clearance

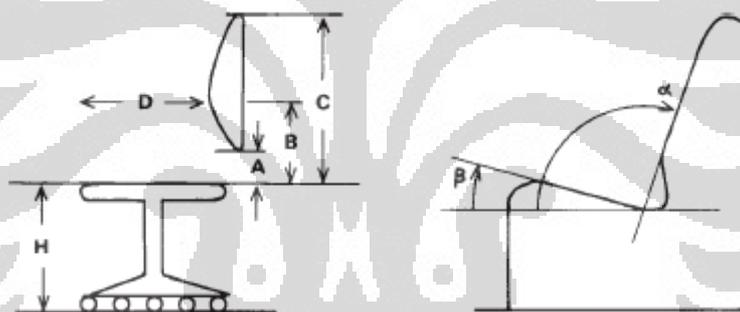
6	Popliteal Height (Stool Height)
7	Knee Height
8	Buttock-Popliteal Height
9	Hip Breadth
10	Knee to Knee Breadth

Gambar 2.24 Pengukuran Antropometri Untuk Desain Kursi

Sumber : Oyewole, et al, *The ergonomic design of classroom furniture/computer work station for first graders in the elementary school*, International Journal of Industrial Ergonomics 40, 2010

2.9.2 Karakteristik Kursi

Karakteristik Kursi sebagai salah satu faktor yang berkaitan dengan definisi kenyamanan ditentukan oleh beberapa faktor sebagai berikut (Bridger, 1995).



Gambar 2.25 Dimensi Kursi

Sumber : Pheasant. S, *Bodyspace : Anthropometry. Ergonomic and the design of Work*, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, hal 75

a. Ketinggian Dudukan Kursi

Ketinggian kursi merupakan ketinggian dudukan kursi diukur dari lantai. Dimensi ketinggian dudukan kursi akan berpengaruh terhadap posisi kaki karena dengan semakin berkurangnya ketinggian kursi akan menyebabkan posisi kaki cenderung terjulur kearah depan. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya *flexion* pada ruas-ruas batang tubuh serta pengguna akan merasa kesulitan dalam mengubah posisi duduk-berdiri karena semakin besarnya gaya gravitasi yang dialami. Dalam menentukan ketinggian kursi yang optimal, umumnya digunakan ketinggian *popliteal* manusia dalam posisi duduk (Corlett and Clark, 1995; Dul

and Weerdmeester, 1998; Helander, 1997; Occhipinti et al., 1993; Oxford, 1969). Penggunaan data antropometri wanita dengan persentil 5 digunakan dengan pertimbangan bahwa posisi duduk yang baik adalah jika kaki dapat berpijak untuk membantu menopang tubuh.

b. Lebar Dudukan Kursi

Bagian lebar dudukan kursi harus mampu untuk menopang bagian pinggul sehingga memungkinkan pengguna untuk mudah melakukan pergerakan ke samping perpindahan dari posisi duduk ke posisi berdiri. Untuk itu, lebar dudukan kursi harus cukup besar untuk menopang pengguna dengan hip breath terbesar (Evans et al., 1988; Helander, 1997; Occhipinti et al., 1993; Orborne, 1996; Sanders and McCormick, 1993). Data antropometri yang sesuai untuk dimensi ini adalah data antropometri wanita dengan persentil 95 karena jika dibandingkan dengan pria, ukuran hip breath wanita umumnya lebih besar. Modifikasi persamaan yang berkaitan dengan penentuan dimensi lebar dudukan kursi ditentukan sebesar minimal 10% dan maksimal 30% lebih dari ukuran hip breath terbesar (Persamaan 2.5)

$$\text{Hip Breath} \leq \text{Lebar Kursi} \leq 1.30 \text{ Hip Breath} \dots\dots\dots 2.5$$

c. Kedalaman Dudukan Kursi

Penentuan kedalaman dudukan kursi berkaitan dengan kemampuan punggung untuk bersandar pada sandaran kursi secara efektif. Kedalaman kursi yang terlalu panjang menyebabkan pengguna tidak dapat bersandar dengan efektif, selain itu kaki secara alami akan menjuntai kebawah karena sendi lutut yang tidak berada pada ujung dudukan kursi. Data antropometri yang ideal untuk digunakan adalah data antropometri wanita dengan persentil 5 bagian *popliteal buttock*.

d. Kemiringan Dudukan Kursi

Sudut kemiringan dudukan kursi membantu pengguna untuk mendapatkan posisi yang nyaman ketika berinteraksi dengan sandaran kursi

ataupun meja. Kemiringan dudukan kursi juga akan berpengaruh terhadap *trunk angle* serta kemudahan pengguna untuk duduk dan berdiri. Bendix and Biering-Sorensen (1983) menyebutkan jika kemiringan dudukan kursi sebesar 5° dapat memberikan kenyamanan lebih dibandingkan derajat kemiringan lainnya. Sedangkan Pheasant (2003) menyebutkan kemiringan $5-10^\circ$ sebagai sudut kemiringan dudukan yang paling sesuai digunakan.

e. Sandaran Kursi

Sandaran kursi berguna untuk menyokong berat dari batang tubuh manusia. Semakin tinggi sandaran, semakin besar beban dari batang tubuh yang mampu ditopang. Beberapa dasar antropometri tubuh digunakan untuk menentukan tinggi sandaran kursi yang ideal. Gouvali dan Boudolos (2005) merumuskan persamaan bahwa ketinggian sandaran kursi yang baik adalah 60-80% dari tinggi bahu dalam posisi duduk. Pendapat lainnya mengatakan bahwa ketinggian sandaran kursi haruslah dibawah tulang belikat (Evans et al., 1988; Osborne, 1996; Shih et al., 1966) agar memudahkan pergerakan batang tubuh dan lengan (Karvonen et al., 1962; Khalil et al., 1993). Dalam aplikasinya, terdapat kondisi dimana pertimbangan seperti kemudahan mobilitas dari bahu merupakan faktor yang harus diperhatikan. Untuk itu, terdapat tiga jenis sandaran yang umumnya digunakan :

- *Low-level backrest*

Sandaran tipe ini dapat memberikan kemudahan bagi bahu untuk bergerak. Selain itu, sandaran ini dapat memberikan sokongan yang baik pada bagian lumbar dan lower-thoracic (Pheasant, 2003). Namun kelemahan dari sandaran tipe ini adalah ketidakmampuan untuk menopang punggung secara penuh hingga punggung bagian atas bila desain sandaran kursi memiliki kemiringan lebih dari 110° .

- *Medium-level backrest*

Medium-level backrest dapat memberikan sokongan yang lebih baik dibandingkan *Low-level backrest* karena mampu menyokong bagian punggung atas dan bahu. Untuk membuat sandaran yang mampu

mencakup variasi ukuran tubuh manusia, digunakan data antropometri bagian pria dengan persentil 95 bagian *sitting acrominal*.

- *High-level backrest*

High-level backrest akan memberikan sokongan menyeluruh pada bagian punggung hingga kepala leher dan kepala. Untuk membuat sandaran tipe ini dan mampu mencakup variasi ukuran tubuh manusia, digunakan data antropometri bagian pria dengan persentil 95 bagian *sitting height*.

f. Kemiringan Sandaran Punggung

Semakin meningkatnya kemiringan punggung, maka semakin besar proporsi berat batang tubuh yang dapat disokong, selain itu tekanan yang terjadi antara batang tubuh dan pelvis akan berkurang. Namun peningkatan kemiringan sandaran punggung juga akan meningkatkan terjadinya gejala lordosis pada tulang punggung pengguna serta menyebabkan pengguna merasa kesulitan untuk melakukan perpindahan postur dari posisi duduk-berdiri ataupun sebaliknya.

Penentuan kemiringan sandaran umumnya berkaitan dengan kemiringan dudukan kursi. Pheasant (2003) merekomendasikan sudut kemiringan optimal sebesar 100° - 110° . Untuk desain sandaran tipe low-medium level, kemiringan lebih dari 110° tidak dianjurkan karena dapat menyebabkan bagian tubuh bagian atas menjadi tidak stabil, terutama jika digunakan oleh pengguna lanjut usia.

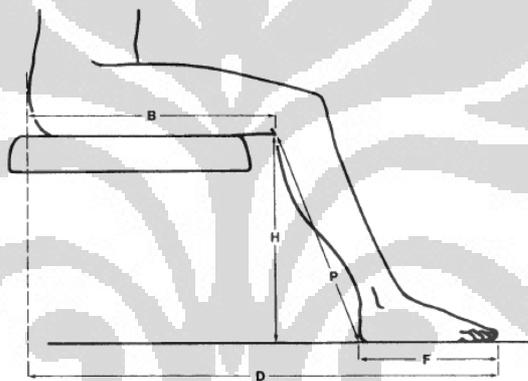
g. Sandaran Tangan

Sandaran tangan merupakan komponen tambahan yang dapat mendukung postur. Sandaran tangan berguna untuk membantu pengguna ketika akan berdiri dari posisi duduk ataupun sebaliknya. Sandaran tangan harus mampu menyokong bagian lengan bawah namun tidak mencederai bagian tulang siku yang memiliki bagian saraf sensitif, untuk itu, disarankan terdapat jarak antara sandaran kursi dengan sandaran tangan sebesar 100 mm. Jika kursi digunakan dengan meja maka sebaiknya digunakan jarak 350 mm dari sandaran punggung (Pheasant, 2003). Rekomendasi tinggi sandaran tangan dari permukaan dudukan kursi ditentukan berdasarkan ketinggian *elbow sitting height*. Persentil manusia yang digunakan adalah wanita dengan persentil 5.

h. *Leg room* dan Pijakan Kaki (*Foot Rest*)

Leg room merupakan area yang memungkinkan pengguna untuk dapat memposisikan kaki. Dalam aplikasinya, manusia cenderung memposisikan kaki dengan membentuk sudut 90° dan terjulur (sudut kaki-paha lebih dari 90°) terutama jika dudukan kursi lebih rendah dari *popliteal height* pengguna. Area ketika kaki dalam keadaan terjulur disebut *forward legroom* (**Gambar 2.26**). Besar *forward legroom* (D) ditentukan berdasarkan antropometri tubuh *popliteal buttock* (B), tinggi *popliteal* (P), *sitting height* (H), dan *foot length* (F) seperti pada persamaan 2.6

$$D = B + \sqrt{P^2 - H^2} + F \dots\dots\dots 2.6$$



Gambar 2.26 *Forward Legroom*

Sumber : Pheasant, S, *Bodyspace : Anthropometry, Ergonomic and the design of Work, Second Edition*, Taylor & Francis, London, 2003, hal 75

Dalam beberapa kondisi, untuk mengatasi perbedaan antara tinggi *popliteal* persentil 5 dan 95, digunakan *footrest* yang berguna untuk area berpijak telapak kaki ketika kaki dalam posisi terjulur. Untuk kursi yang berinteraksi dengan meja, *footrest* biasanya akan diletakkan pada bagian bawah meja. Rekomendasi ketinggian *footrest* dari lantai berdasarkan selisih pengguna dengan antropometri terbesar-terkecil (Pria persentil 95 – Wanita persentil 5). Penentuan lebar pijakan menggunakan antropometri terbesar dari pengguna, yakni persentil 95 sehingga *footrest* dapat sepenuhnya menopang telapak kaki.

BAB 3

PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL

3.1 Pengumpulan Data

Untuk mengetahui permasalahan ergonomi yang dialami oleh para pengrajin batik tulis, dibutuhkan data-data yang mendukung permasalahan. Selain itu, Tujuan dilakukannya pengambilan data ini adalah untuk memastikan bahwa pemilihan objek penelitian dapat mendukung tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Data ini diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran langsung pada area kerja pengrajin batik tulis. Adapun data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi data primer maupun data sekunder yang diperoleh dari observasi, penyebaran kuisioner serta wawancara langsung. Di dalam penelitian ini juga dibutuhkan data – data studi ergonomi pekerja yang digunakan untuk membuat model *digital human modelling* dalam *software* Jack.

Data-data yang mendukung penelitian diantaranya adalah data keluhan pekerja yang digunakan untuk memperkuat permasalahan, data antropometri pekerja yang akan digunakan sebagai dasar untuk merancang dimensi stasiun kerja yang ergonomi serta data berbagai ukuran dan dimensi stasiun kerja yang saat ini digunakan oleh pengrajin batik tulis. Selain itu, diperlukan juga data postur kerja yang saat ini dialami oleh pengrajin. Data postur kerja ini diperoleh dari hasil pengamatan langsung dari berbagai kondisi postur kerja yang dialami oleh pengrajin batik tulis. Data postur kerja yang digunakan merupakan data postur duduk pekerja yang berinteraksi dengan kursi dan *gawangan*. Data dimensi stasiun kerja dibutuhkan untuk membuat *virtual environment* dari model simulasi Jack dimana dibutuhkan suatu rancangan lokasi seperti lokasi yang aktual dihadapi oleh para pekerja pada kondisi nyata. Sedangkan data antropometri pekerja, data proses dan proses kerja, dan data waktu kerja adalah data yang digunakan untuk menciptakan model manusia *virtual*. Pembuatan model manusia *virtual* tersebut membutuhkan ukuran antropometri, data gerakan-gerakan kerja dan postur kerja agar dapat melakukan simulasi kerja yang sesuai dengan gerakan dan postur yang dilakukan pekerja di dunia nyata.

3.1.1 Deskripsi Data

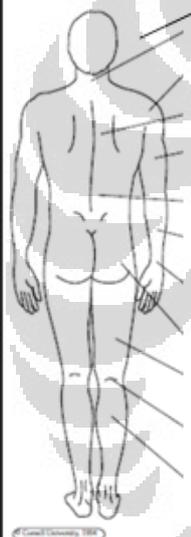
Penelitian ini mengambil studi kasus pengrajin batik tulis yang berada di Kampung Laweyan, Solo, Jawa Tengah. Kampung Laweyan merupakan salah sentra batik terkenal di kota Solo. Wilayah ini berada di kecamatan Laweyan, tepatnya ditenggara kota solo, dipinggir sungai Kabaran yang merupakan perbatasan dengan Kabupaten Sukoharjo. Semenjak tahun 2004, Laweyan dicanangkan menjadi kampung batik oleh Pemerintah Kota Surakarta sehingga industri batik yang berada di wilayah ini semakin berkembang dan terkenal. Saat ini terdapat sekitar 24 IKM Batik Laweyan, baik IKM batik yang hanya berkaitan dengan proses produksi hingga IKM batik yang juga memiliki *showroom*.

Penelitian dilakukan di Kampung Batik Laweyan, Surakarta dengan terhadap 37 pengrajin batik tulis dengan jenis kelamin wanita dari 5 Industri Kecil Menengah Batik Tulis Laweyan dengan pengalaman kerja minimal satu tahun. Objek penelitian dengan jenis kelamin wanita dipilih mengacu pada hasil pengamatan yang dilakukan pada 5 IKM tersebut menunjukkan jika pengrajin batik tulis kesemuanya adalah wanita. Selanjutnya, pengumpulan data keluhan muskuloskeletal dan antropometri pekerja dilakukan terhadap 37 orang pengrajin batik tulis tersebut.

3.1.2 Data Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal Pekerja

Pada identifikasi awal, dimensi stasiun kerja yang tidak ergonomis menyebabkan postur tubuh kerja menjadi tidak nyaman. Tidak adanya standar ukuran gawangan serta ukuran kursi pekerja menyebabkan pekerja harus menyesuaikan posisi kerja menjadi membungkuk atau mendongak. Posisi ini berpotensi menimbulkan terjadinya cedera WMSD (Work Musculoskeletal Disorder) dan kelelahan pada pekerja. Berkaitan dengan faktor-faktor yang dianggap menjadi penyebab terjadinya resiko WMSD (Work Musculoskeletal Disorder), dibedakan atas faktor primer dan faktor sekunder. Kegiatan membatik menuntut pekerja untuk duduk selama sekitar 8 jam kerja dengan waktu istirahat rata-rata sekitar 1 jam. Kegiatan repetitif yang dilakukan berupa menjangkau lilin dari kompor kemudian melaksanakan aktivitas kerja mencanting. Kondisi pekerjaan yang bersifat repetitif, postur kerja yang tidak nyaman ini berkaitan

dengan faktor primer yang menjadi penyebab terjadinya WMSD (Work Musculoskeletal Disorder). Berikut ini merupakan data keluhan muskuloskeletal yang dialami pengrajin batik tulis Laweyan.

		Frekuensi					Tingkat Keparahan			
		Tidak Pernah	1-2 Kali setiap minggu	3-4 kali setiap minggu	1x per hari	Beberapa kali dalam sehari	RINGAN	SEDANG	BERAT	SANGAT BERAT
	Mata									
	Leher									
	Bahu	Kanan								
		Kiri								
	Punggung Bagian Atas									
	Lengan Atas	Kanan								
		Kiri								
	Punggung Bagian Bawah									
	Lengan Bawah	Kanan								
		Kiri								
	Pergelangan Tangan	Kanan								
		Kiri								
	Bokong									
	Paha	Kanan								
		Kiri								
	Lutut	Kanan								
	Kiri									
Kaki Bagian Bawah	Kanan									
	Kiri									

Gambar 3.1 Isian Keluhan Muskuloskeletal Pekerja

Sumber : Cornell University, 1994, telah diolah kembali

Pada isian tingkat keparahan, level tingkat keparahan dibagi berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

1 = Ringan

Kategori Ringan disini didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan sedikit peregangan, tidak menimbulkan gangguan pekerjaan.

2 = Sedang

Kategori Sedang disini didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan beristirahat sejenak, akan tetapi masih dapat melaksanakan pekerjaan dengan baik.

3 = Berat

Kategori Berat ditandai dengan rasa kram pada bagian tubuh yang dikeluhkan dan membutuhkan istirahat lebih panjang dan menghentikan pekerjaan sejenak.

4 = Sangat berat

Kategori Sangat berat membutuhkan penanganan khusus dari OHS serta tidak dapat melanjutkan pekerjaan kembali.

Untuk mengkalkulasikan hasil isian mengenai frekuensi keluhan muskuloskeletal, maka dilakukan pembobotan terhadap level pada kategori frekuensi sebagai berikut :

0 = Tidak Pernah

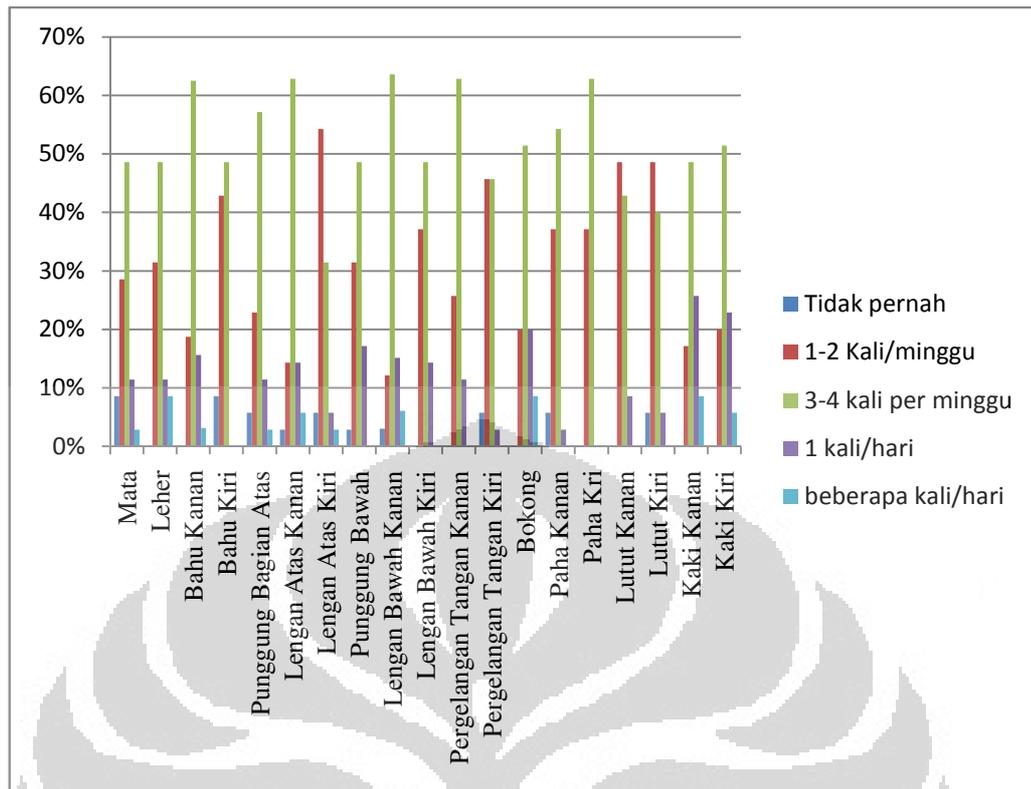
1 = 1-2 Kali setiap minggu

2 = 3-4 Kali setiap minggu

3 = 1 Kali per hari

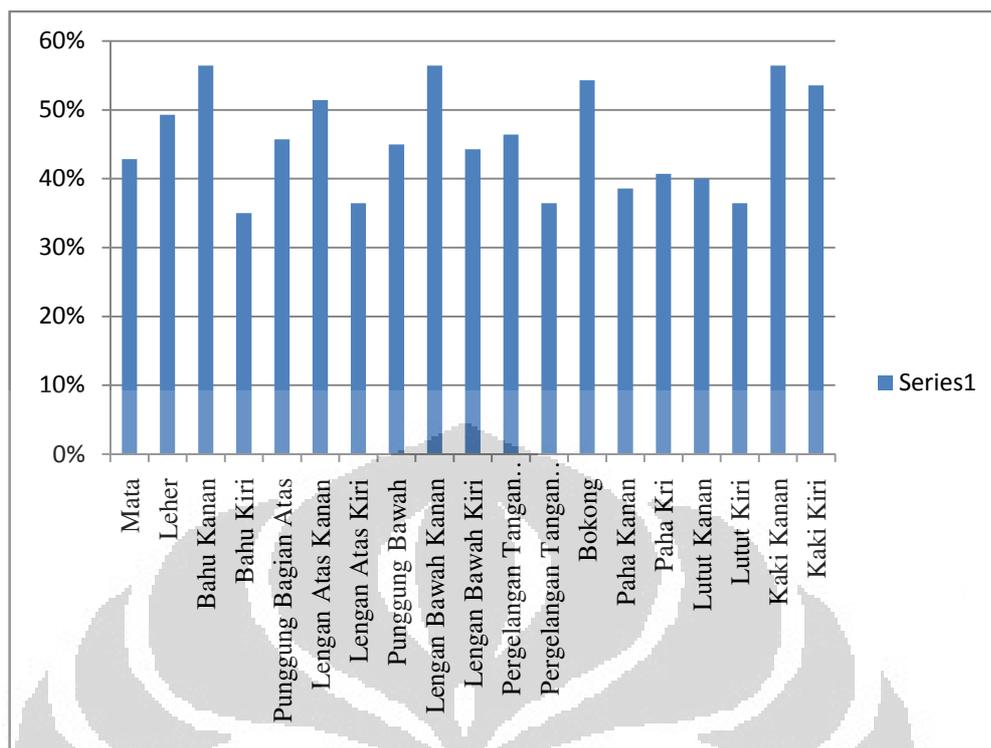
4 = Beberapa Kali per hari

Berdasarkan data kuitoner pada masing-masing kategori, yakni kategori frekuensi dan tingkat keparahan, dilakukan pula tabulasi pada masing-masing kategori tersebut dalam bentuk persentase sehingga dapat diketahui level dari keluhan yang dialami pekerja. Pada hasil tabulasi kategori frekuensi keluhan muskuloskeletal pada bagian tubuh dalam **Gambar 3.2.** grafik menunjukkan komposisi persentasi setiap level frekuensi pada bagian tubuh pekerja yang mengalami gangguan muskuloskeletal. Dari grafik tersebut, level frekuensi keluhan 3-4 kali seminggu mendominasi hampir di seluruh bagian tubuh pekerja yakni di bagian tubuh bahu kanan, punggung bagian atas, lengan atas kanan, lengan bawah kanan, paha kanan, paha kiri, serta kaki kiri.



Gambar 3.2 Grafik Level Frekuensi Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh

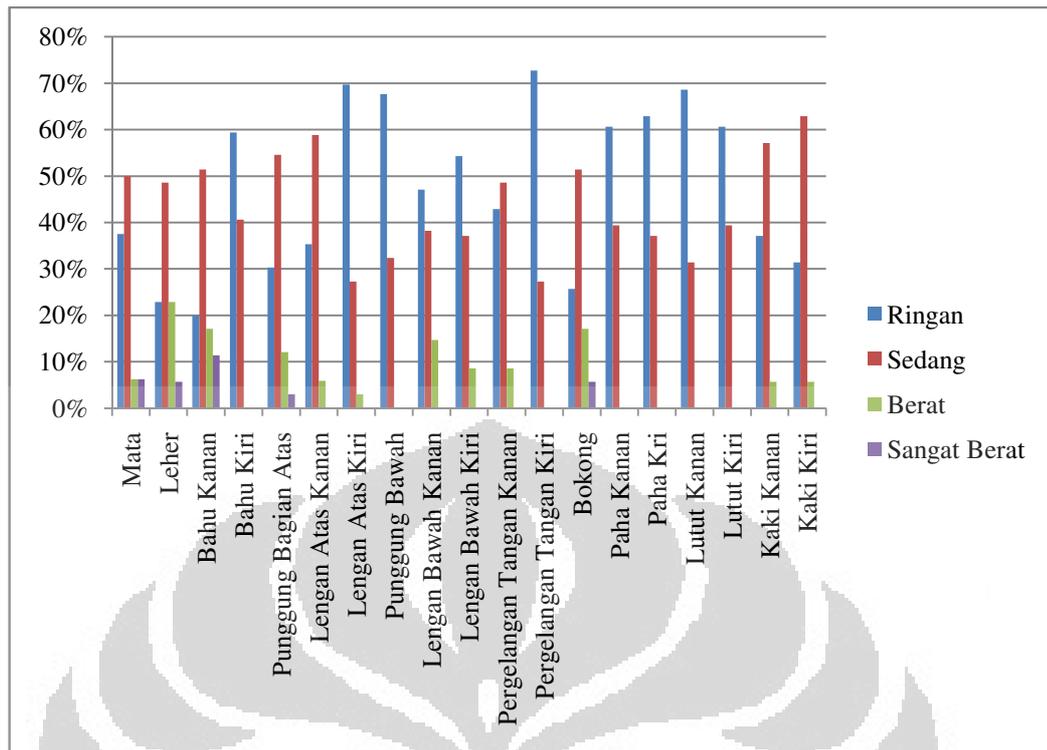
Berdasarkan grafik pada **Gambar 3.3**, jika nilai pada setiap level katogori frekuensi keluhan muskuloskeletal tersebut yakni level 1,2,3, dan 4 yang menunjukkan level seberapa sering pekerja mengalami gangguan pada bagian tubuh tertentu tersebut dijumlahkan akan diperoleh persentase total tingkat frekuensi keluhan muskuloskeletal yang dialami pekerja. Pada grafik 3.3 menunjukkan jika bagian tubuh yang mengalami gangguan muskuloskeletal lebih dari 50% adalah bagian bahu kanan, punggung bagian atas, lengan atas kanan, lengan bawah kanan, bokong, kaki kanan serta kaki kiri. Hal ini membuktikan jika postur kerja yang dialami pengrajin batik tulis saat ini bermasalah baik akibat dimensi kursi serta gawangan yang tidak sesuai dengan ukuran antropometri pekerja maupun akibat postur kerja tidak nyaman yang dialami pekerja.



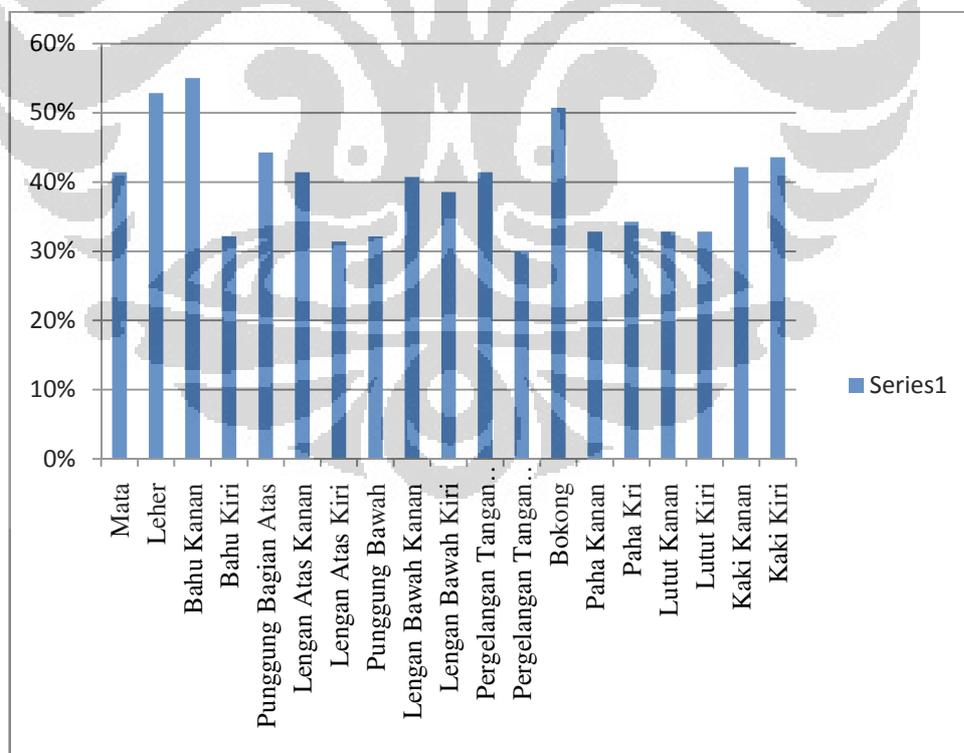
Gambar 3.3 Grafik Total Persentase Frekuensi Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh

Selanjutnya, Pada hasil tabulasi kategori tingkat keparahan keluhan muskuloskeletal pada anggota tubuh dalam **Gambar 3.4**, grafik menunjukkan komposisi persentasi setiap level tingkat keparahan pada bagian tubuh pekerja yang mengalami gangguan muskuloskeletal sehingga dari grafik tersebut dapat diketahui sejauh mana tingkat keparahan yang dialami pekerja pada saat melakukan aktivitas kerjanya.

Berdasarkan grafik pada **Gambar 3.5**, jika level pada katogori tersebut yakni level 1,2,3, dan 4 yang menunjukkan level seberapa parah tingkat gangguan yang dialami pekerja pada bagian tubuh tertentu tersebut dijumlahkan akan diperoleh persentase total tingkat keparahan keluhan muskuloskeletal yang dialami pekerja untuk masing-masing anggota tubuh dengan frekeuensi keluhan muskuloskeletal terbesar, yakni pada bagian bahu kanan, punggung bagian atas, lengan atas kanan, lengan bawah kanan, bokong, kaki kanan serta kaki kiri.



Gambar 3.4 Grafik Tingkat Keparahan Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh



Gambar 3.5 Grafik Total Persentase Tingkat Keparahan Keluhan Muskuloskeletal pada Anggota Tubuh

3.1.3. Data Bentuk dan Dimensi Kursi, Gawangan dan Kompor Pengrajin Batik Tulis

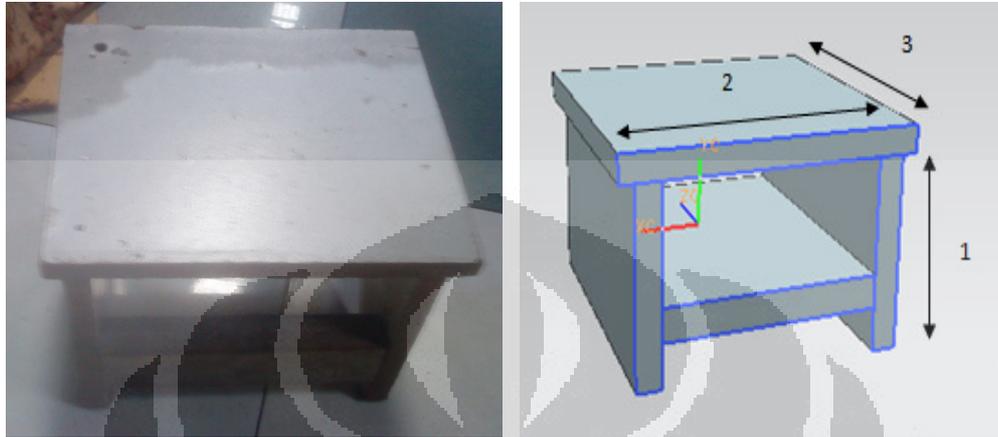
Data dimensi bentuk dan dimensi kursi, gawangan dan kompor dibutuhkan untuk membuat *virtual environment* dari model simulasi Jack dimana pada simulasi ini dibutuhkan suatu rancangan lokasi seperti lokasi yang aktual dihadapi oleh para pekerja pada kondisi nyata. Berdasarkan pengamatan langsung pada area kerja pengrajin batik tulis, salah satu faktor yang mempengaruhi postur kerja pembatik adalah penyesuaian postur kerja akibat dimensi kursi dan gawangan yang tidak sesuai dengan antropometri pekerja sehingga pekerja akan membungkuk maupun mendongak ketika melakukan pekerjaan pembatik. Selain itu, posisi penempatan kompor maupun jarak antara kursi dan gawangan juga akan mempengaruhi postur kerja.

3.1.3.1 Kursi Kerja

Pengrajin batik tulis pada umumnya menggunakan kursi pendek tanpa sandaran yang disebut dingklik. Dari hasil pengamatan di 5 IKM Batik Laweyan terhadap 37 orang pengrajin batik tulis, kesemua pekerja menggunakan dingklik dengan variasi ukuran yang bermacam-macam. Tidak adanya sandaran punggung pada kursi yang digunakan menyebabkan pekerja tidak dapat menyandarkan punggungnya dan duduk dalam posisi istirahat (rileks) sehingga berpotensi menyebabkan tekanan yang berlebihan pada bagian leher dan punggung. Selain itu, tidak adanya sandaran tangan pada kursi, terutama untuk menyanggah tangan yang cenderung dalam posisi statis selama kerja juga dapat berpotensi menyebabkan kelelahan pada bagian tangan. Ketinggian kursi yang tidak memperhatikan antropometri pengguna juga berpotensi menyebabkan gangguan muskuloskeletal pada kaki dan paha.

Dalam menentukan spesifikasi dimensi kursi yang sesuai dengan antropometri pengguna, dibutuhkan penyesuaian dimensi yang mempertimbangkan beberapa ukuran tubuh pengguna. Bridger (1995) menyebutkan jika *seat height*, *seat depth*, *seat width*, *backrest height*, dan *armrest* merupakan variabel ukuran yang penting untuk mendesain kursi yang ergonomis bagi penggunanya. Pada kursi yang digunakan 37 pengrajin batik tulis Laweyan, antropometri kursi yang diukur

adalah *seat height*, *seat depth*, *seat width* karena tidak adanya *backrest* dan *armrest*. **Tabel 3.3** menunjukkan hasil pengukuran antropometri kursi yang digunakan.



Gambar 3.6 Kursi Pengrajin Batik Tulis

Keterangan Gambar :

1 = *Seat Height*

2 = *Seat Width*

3 = *Seat Depth*

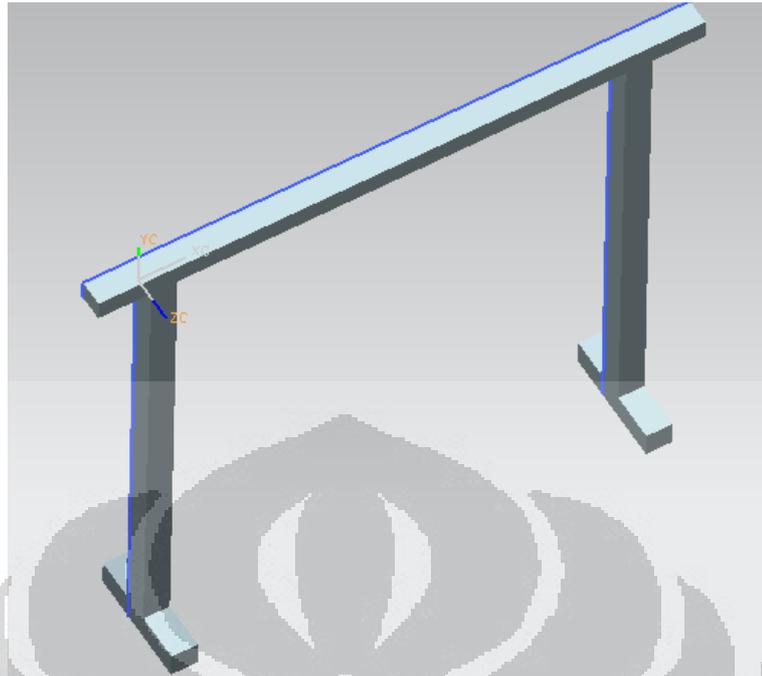
Dari hasil pengukuran terhadap antropometri kursi yang digunakan pengrajin batik tulis diatas, rata-rata dimensi seat height adalah 23 cm, seat width 26 cm dan seath depth 22 cm. Chung et al (2003) mengevaluasi *workload* yang dialami seseorang ketika duduk menggunakan kursi pendek tanpa senderan (*stool*) dengan metode *physical scalling* .pada hasil evaluasi menunjukkan jika seseorang duduk selama 16 menit pada kursi tanpa senderan dengan ketinggian 10, 15 dan 20 cm, maka ternyata keinggian 20 cm memberikan tingkat ketidaknyamanan yang lebih tinggi sehingga berdasar pada evaluasi ini dan hasil rata-rata dimensi antropometri kusri yang digunakan pekerja semakin memperkuat indikasi resiko gangguan muskuloskeletal yang dialami pekerja.

Tabel 3.1 Data Antropometri Kursi Pengrajin Batik Tulis

	Seat Height (cm)	Seat Width (cm)	Seat Depth (cm)		Seat Height (cm)	Seat Width (cm)	Seat Depth (cm)
1	20	24	28	20	20	26	22
2	20	24	28	21	21	23	23
3	20	24	28	22	22	28	19
4	19	28	23	23	23	28	19
5	19	28	23	24	24	28	19
6	23	26	20	25	25	28	19
7	27	30	26	26	26	28	19
8	35	27	29	27	27	25	18
9	23	26	20	28	28	25	18
10	23	26	20	29	29	24	21
11	12	29	19	30	30	22	20
12	12	29	19	31	31	23	20
13	18	26	22	32	32	28	25
14	18	26	22	33	27	28	25
15	18	26	22	34	34	32	18
16	18	26	22	35	31	26	23
17	18	26	22	36	25	23	24
18	18	26	22	37	32	25	22
19	18	26	22				
Max	35	32	29				
Min	12	22	18				
Avrg	23,41	26,30	21,92				
Sdev	5,81	2,15	3,03				

3.1.3.2 Gawangan

Gawangan merupakan perkakas yang digunakan untuk menyangkutkan dan membentangkan kain mori sewaktu dibatik. Dari hasil pengamatan, dimensi gawangan yang digunakan pengrajin batik tulis berbeda-beda baik lebar dan ketinggiannya. Ketinggian gawangan berpengaruh terhadap posisi kerja pembatik yakni ketinggian gawangan yang berada di bawah sitting height menyebabkan pekerja cenderung membungkuk. Kondisi ini berpotensi menyebabkan ketidaknyamanan pada bagian punggung, leher dan bahu. Selain itu, ketinggian gawangan juga mempengaruhi jarak pandang mata terhadap kain mori. Jarak pandangan yang terlalu dekat ataupun terlalu jauh dapat menyebabkan kelelahan mata.



Gambar 3.7 Gawangan Aktual

Untuk mengetahui variasi gawangan yang digunakan pengrajin batik, pengukuran data antropometri gawangan dilakukan. Pengukuran hanya dilakukan terhadap ketinggian gawangan karena lebar gawangan umumnya disesuaikan dengan lebar kain mori yang digunakan. Dari hasil wawancara menyebutkan jika umumnya kain mori yang digunakan berukuran lebar 100-125 cm dengan rata-rata 115 cm.

Tabel 3.2 Data Antropometri Gawangan

	Tinggi Gawangan (cm)		Tinggi Gawangan (cm)
1	43	20	75
2	56	21	46
3	45	22	89
4	55	23	64
5	97	24	83
6	60	25	68
7	73	26	95
8	62	27	75
9	59	28	88
10	66	29	67
11	75	30	58
12	82	31	74
13	55	32	76
14	60	33	56
15	77	34	67
16	72	35	78
17	74	36	65
18	58	37	75
19	56		
Max	97		
Min	43		
Avrg	68,22		
Sdev	13,20		

Dari pengolahan data diatas, rata-rata ketinggian gawangan yang saat ini digunakan oleh pengrajin batik tulis Laweyan memiliki ketinggian maksimal 97 cm dan minimal 43 cm dengan rata-rata 68 cm.

3.1.3.3 Kompor dan Wajan

Pada saat pengamatan di 5 IKM Batik tulis Laweyan, pengrajin batik tulis menggunakan kompor dan wajan kecil. Kedua alat ini digunakan untuk mencairkan “malam”.



Gambar 3.8 Kompor dan Wajan Pembatik

Ketinggian kompor yang digunakan bervariasi antara 18-22 cm, sedangkan ukuran diameter wajan bervariasi antara 17-23 cm dan tinggi wajan 4-7 cm.

3.1.3.4 Canting

Canting adalah alat pokok yang digunakan untuk membatik. Canting umumnya terbuat dari tembaga yang mempunyai sifat ringan, mudah dilenturkan dan kuat meskipun tipis. Canting digunakan untuk melukis (memakai cairan “malam”), serta membuat motif-motif batik yang dikehendaki. Canting terdiri dari cucuk (saluran kecil), dan leleh (tangkai).



Gambar 3.9 Canting

Variasi cucuk ada berbagai macam dengan penggunaan yang bergantung dari kebutuhan. Menurut Murtihadi dan Mukminatun (1979), variasi canting tulis adalah canting klowong, canting tembokan, canting cecek, canting ceret.

1. Canting Klowong

Canting Klowong adalah canting yang dipakai untuk membatik klowongan, canting ini mempunyai ukuran mulut paruh dengan garis tengah 1 mm-2mm.

2. Canting Tembokan

Canting Tembakan adalah canting yang dipakai untuk membatik tembakan atau memperkuat lilin pada kain agar tidak mudah lepas dengan larutan asam. Lebar mulut paruh antara 1mm-3mm.

3. Canting Cecek atau Sawut.

Canting Cecek atau sawut adalah merupakan canting batik yang dipakai membuat titik dan garis-garis yang halus. Lebar paruh antara $\frac{1}{4}$ mm-1 mm.

4. Canting Ceret.

Canting Ceret dipakai untuk membuat garis ganda yang dikerjakan sekali jalan, besarnya lubang tiap mulut canting kurang lebih 1 mm.

3.1.4 Data Anthropometri Pekerja

Data antropometri pekerja dibutuhkan untuk menciptakan model manusia virtual yang mendekati nyata. Data yang diambil pada penelitian ini merupakan data antropometri pengrajin batik tulis yang berada di 5 IKM Batik Tulis di Kampung Batik Laweyan. Dari 5 IKM tersebut, terdapat 37 orang pengrajin batik tulis dengan jenis kelamin wanita. Data ukuran antropometri pekerja yang diukur merupakan data antropometri pekerja dalam kondisi duduk. Hal ini juga berkaitan dengan perancangan kursi dan gawangan yang nantinya akan dibuat pada penelitian ini Sesuai Oyewole, *et al* (2010) menyebutkan bahwa dalam perancangan kursi, dibutuhkan data antropometri seperti pada **Tabel 2.23**. Berikut adalah hasil pengumpulan data antropometri terhadap 37 orang pengrajin batik tulis Kampung Laweyan.

Tabel 3.3 Data Antropometri Pengrajin Batik Tulis Laweyan

	Tinggi (cm)	Berat Badan (kg)	Sitting Height (cm)	Eye height (cm)	Shouder Height (cm)	Elbow Rest Height (cm)	Thight Clearance (cm)	Popliteal height (cm)	Knee Height (cm)	Buttock Popliteal Height (cm)	Hip Breadth (cm)	Knee to Knee Breadth (cm)	Vertical grip reach (cm)	Foot length (cm)
1	156	47	81,3	68,5	57,3	22,5	13,4	37,2	45,7	42,5	32,4	23,6	117,4	22,6
2	155	48	77,4	65,7	54,4	24,2	15,3	36,5	45,2	43,5	34,3	26,4	114,4	22,2
3	157	53	82,2	69,4	56,3	23,3	16,5	42,6	49,5	42,3	32,6	25,2	115,3	23,3
4	152	42	75,7	64,2	52,2	20,8	12,2	37,4	46	36,6	32,5	26,5	108,2	22,2
5	157	52	80,3	68,3	57,2	25,3	13,8	41,2	49,2	43,2	30,5	22,8	115,3	24,5
6	155	48	78,4	64,4	53,4	20,4	13,2	39,2	47,4	39,7	29,3	22,4	113,2	23,4
7	157	50	81,5	69,5	58,6	22,5	13,2	42	50,5	42,7	33,4	27,4	114,3	22,5
8	154	52	78,1	66,8	52,5	22,3	14,5	37,8	45,1	38,9	31,8	23,3	113,2	23,4
9	152	49	76,2	65,2	51,2	23,5	13,6	36,2	45,6	37,6	29,5	23,5	110	22,3
10	156	55	78,3	66,6	55,6	26,3	13,9	40,4	48,2	41,2	31,6	25,7	116,3	22,6
11	155	58	79,2	67,5	54,2	24,7	15,4	39,2	47,3	42,3	31,2	24,4	113	21,5
12	152	48	77,4	65,4	54,2	19,4	11,5	36,4	44,3	37,2	29,7	23,6	109,4	22,5
13	156	52	76,2	65,8	53,8	19,2	12,9	38,9	45,5	39,5	28,3	23,5	112,3	23,4
14	160	56	81,2	69,2	57,9	27,4	15,5	42,1	48,3	43,1	30,6	22,2	119,2	23,5
15	158	55	79,2	67,5	56,4	26,3	15,8	40,2	47,3	40,3	31,4	24,5	116,4	23
16	156	43	77,6	63,3	54,3	23,7	12,8	38,2	44,2	38,9	29,5	22,7	114,8	21,7
17	153	54	76,4	65,4	52,4	21,3	14,6	37,4	46	37,7	30,5	24,3	113,4	22,3
18	156	50	78,5	67,3	55,1	25,2	13,8	40,1	49,7	40,3	35,4	26,4	114,7	23,4
19	156	50	77,6	65,6	53,6	24,4	13,4	39,2	48	41,5	31,8	25,4	113,6	21,6

Tabel 3.3 (Lanjutan) Data Antropometri Pengrajin Batik Tulis Laweyan

	Tinggi (cm)	Berat Badan (kg)	Sitting Height (cm)	Eye height (cm)	Shouder Height (cm)	Elbow Rest Height (cm)	Thight Clearance (cm)	Popliteal height (cm)	Knee Height (cm)	Buttock Popliteal Height (cm)	Hip Breadth (cm)	Knee to Knee Breadth (cm)	Vertical grip reach (cm)	Foot length (cm)
20	158	51	78,4	66,4	55,4	24,3	15,4	41,2	48,3	42,3	31,3	24,6	116,9	21,4
21	151	50	75,5	63,7	51,7	19,7	13,4	36,2	44,4	41,5	32,5	25,5	108,8	22,1
22	157	45	80,3	69,2	57,8	18,3	11,8	40,6	50,5	39,3	30,2	25,7	116,3	23,2
23	156	46	79,2	68,2	54,2	18,5	12,6	39,2	47,2	38,6	29,5	21,5	113,8	23,4
24	156	57	77,3	66,8	53,8	22,5	14,2	38,7	45	41,7	32,3	25,1	114,4	22,4
25	155	53	76,7	64,7	53,8	23,4	13,5	37,7	45,4	42,8	31,7	26,6	116,8	21,6
26	156	47	78,8	66,5	54,5	22,4	10,5	38,2	47,2	40,3	29,5	23,4	112,9	22,7
27	158	57	79,5	68,2	56,2	26,2	16,5	40,8	51,1	43,1	33,3	28,5	114,6	23,2
28	156	54	77,8	63,5	53,8	21,4	15,2	36,2	44,3	40,6	29,4	23,8	113,4	21,7
29	154	49	78,5	67,2	56,3	23,4	13,8	38,2	47,3	39,5	29,5	21,4	115,2	21,4
30	156	61	76,7	64,4	53,3	19,5	16,5	39,8	48,2	43,2	33,2	25,2	116,5	22,2
31	159	62	82,3	70,4	58,4	23,3	16,4	41,9	48,7	43,7	30,4	23,5	118,2	22,8
32	154	55	77,3	66,6	53,8	19,3	15,2	39,3	47,2	41,7	29,7	23,7	113,8	22,3
33	156	56	79,3	67,8	55,6	20,3	14,6	39,2	50,6	42,8	32,4	26,4	115,2	21,8
34	157	55	78,2	66,6	55,3	24,2	15,4	39,8	48,6	41,6	30,3	24,6	114,6	23,2
35	152	48	75,4	63,4	51,4	23,4	12,4	37	44	38,5	30,6	24,3	113,2	22,3
36	157	54	82,4	70,4	58,4	27,6	16,2	40,7	49,4	42,2	35,5	28,5	116,7	23,3
37	158	52	78,5	64,2	55,3	20,2	13,3	40,2	50,4	39,6	28,6	21,8	114,2	21,7
average	155,65	51,73	78,75	68,30	56,68	22,72	17,11	45,71	47,33	42,45	31,25	24,54	115,20	22,56
stdev	2,08	4,60	2,01	2,38	1,77	2,53	2,27	1,99	2,72	1,74	1,78	1,79	3,08	0,75

3.1.4.1 Uji Kenormalan Data

Dari data antropometri yang dikumpulkan, selanjutnya akan ditentukan persentil 5%, 50%, dan 95% dari detail ukuran antropometri. Persentil tersebut dipilih dengan asumsi dapat mewakili keseluruhan populasi yang diukur. Data – data tinggi dan berat badan persentil 5%, 50%, dan 95% hanya dapat diperoleh jika keseluruhan data telah terdistribusi normal, oleh sebab itu perlu dilakukan pengujian sebelumnya untuk membuktikan normalitas kumpulan data tersebut. Untuk mengetahui apakah data antropometri yang telah dikumpulkan adalah data yang terdistribusi normal, maka dilakukan uji normalitas data dengan *software* SPSS 16. Sebelum melakukan tes diperlukan suatu hipotesis, yaitu :

Dengan $\alpha = 5\%$

Ho = data terdistribusi normal

Hi = data tidak terdistribusi normal

Nilai Asymp Sig (2-tailed) $< \frac{1}{2} \alpha$, maka tolak Ho

Nilai Asymp Sig (2-tailed) $\geq \frac{1}{2} \alpha$, maka terima Ho

Berikut adalah hasil uji normalitas terhadap data antropometri yang dikumpulkan.

Tabel 3.4 Uji Normalitas Data Antropometri

	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Height	.154	37	.026
Weight	.079	37	.200
Sitting Height	.123	37	.169
Eye height	.078	37	.200
Shouder Height	.110	37	.200
Elbow Rest Height	.104	37	.200
Thight Clearence	.114	37	.200
Popliteal height	.087	37	.200
Knee Height	.113	37	.200
Buttock Popliteal Height	.139	37	.067
Hip Breadth	.128	37	.129
Knee to Knee Breadth	.092	37	.200
Vertical grip reach	.144	37	.050
Foot length	.129	37	.121

Berdasarkan **Tabel 3.4**, Nilai Asymp Sig (2-tailed) $\geq \frac{1}{2} \alpha$, maka terima H_0 , semua data terdistribusi normal.

3.1.4.2 Uji Realibilitas

Reliabilitas atau tingkat ketetapan (*consistency*) adalah tingkat kemampuan instrumen penelitian untuk mengumpulkan data secara tetap dari sekelompok individu. Instrumen yang menghasilkan reliabilitas yang tinggi cenderung menghasilkan data yang sama tentang suatu variabel atau unsur-unsurnya, jika diulangi pada waktu yang berbeda pada kelompok individu yang sama. Uji reabilitas dilakuka dengan software SPSS 16 terhadap 12 variabel data antropometri bagian tubuh. Berikut adalah output uji reabilitas data yang dilakukan :

Tabel 3.5 Hasil Uji Reabilitas Data

Cronbach's Alpha	N of Items
.893	12

Tabel 3.5 menunjukkan jika Nilai Cronbach's lebih dari 0.7 yang merupakan nilai kritis sehingga kuesioner data tersebut merupakan instrumen yang reliabel dan dapat dipergunakan.

3.1.4.3 Persentil Data Antropometri

Berdasarkan hasil uji normalitas, uji reabilitas dan uji validitas menunjukkan jika data antropometri yang telah dikumpulkan dapat digunakan pada penelitian ini. Selanjutnya, dari data antropometri tersebut akan dihitung data persentil 5, 50 dan 95 yang dianggap mampu mewakili keseluruhan populasi yang diukur.

Tabel 3.6 Data Antropometri Pengrajin Batik Tulis Laweyan

		Percentile		
		5%	50%	95%
1	Height	152.21	155.65	159.07
2	Weight	44.16	51.73	59.29
3	Sitting Height	75.35	78.51	81.67
4	Eye height	63.28	66.59	69.9
5	Shouder Height	51.54	54.85	58.17
6	Elbow Rest Height	18.55	22.72	26.89
7	Thight Clearence	11.62	14.11	16.61
8	Popliteal height	36.11	39.11	42.11
9	Knee Height	43.86	47.32	50.78
10	Buttock Popliteal Height	37.61	40.86	44.12
11	Hip Breadth	28.31	31.25	34.18
12	Knee to Knee Breadth	21.59	24.54	27.49
13	Vertical grip reach	110.35	114.41	118.47
14	Foot length	21.33	22.56	23.79

Persentil data antropometri ini nantinya akan digunakan sebagai dasar perancangan kursi dan gawangan serta penempatan peralatan membuat lainnya yang ergonomis. Penggunaan data pengukuran langsung digunakan karena sampai saat ini belum ada data antropometri wanita indonesia yang mewakili semua usia. Selain itu, karakteristik pengrajin batik tulis yang merupakan wanita dengan dominan usia diatas 30 tahun serta kurang lengkapnya data antropetri yang ada juga menjadi pertimbangan. Sebagai perbandingan, berikut adalah *database* antropometri wanita yang ada, dimana data yang diperoleh berdasarkan pengukuran terhadap wanita dengan dominan usia mahasiswa.

Tabel 3.7 Data Antropometri Wanita Indonesia

		Percentile		
		5%	50%	95%
1	Sitting Height	78	83	90
2	Eye height	67	73	80
3	Shouder Height	51	56	53
4	Elbow Rest Height	19	25	32
5	Thight Clearence	11	15	19
6	Popliteal height	38	44	50
7	Knee Height	43	50	60
8	Buttock Popliteal Height	37	43	51
9	Hip Breadth	29	35	45
10	Knee to Knee Breadth	NA	NA	NA
11	Vertical grip reach	101	113	124
12	Foot length	21	23	26

Sumber : Chuan, *et al*, Anthropometry of the Singaporean and Indonesian populations, International Journal of Industrial Ergonomics 40, 2010

Perbandingan data antropometri wanita Indonesia pada **Tabel 3.6** dan **Tabel 3.7** menunjukkan jika terdapat perbedaan yang cukup signifikan sehingga jika perancangan kursi dan gawangan serta penempatan peralatan membuat lainnya mengikuti data antropometri wanita indonesia maka desain yang dibuat tidak sesuai dengan kebutuhan objek penelitian

3.1.5 Data Postur Kerja Pengrajin Batik Tulis

Selain data antropometri pekerja, diperlukan juga data postur kerja pengrajin batik tulis saat melakukan aktifitas membuat. Berdasarkan pengamatan, terdapat beberapa posisi yang sering dialami pekerja. Posisi ini berkaitan dengan penyesuaian yang harus dilakukan pekerja ketika ukuran gawangan ataupun ukuran kursi yang terlalu pendek. Posisi pertama adalah posisi tubuh membungkuk dengan posisi kaki terjulur lurus dan posisi kedua adalah membungkuk dengan posisi telapak kaki berpijak pada lantai. Selain itu, pada

Universitas Indonesia

kedua posisi tersebut, pekerja melakukan aktivitas menjangkau cairan “malam” pada wajan sehingga ketika berada pada kedua posisi tersebut, peletakan kompor akan mempengaruhi gerakan batang tubuh. Pelatakan kompor yang tidak pada area jangkauan akan mengakibatkan batang tubuh membelok (*twist*) dan lebih membungkuk.



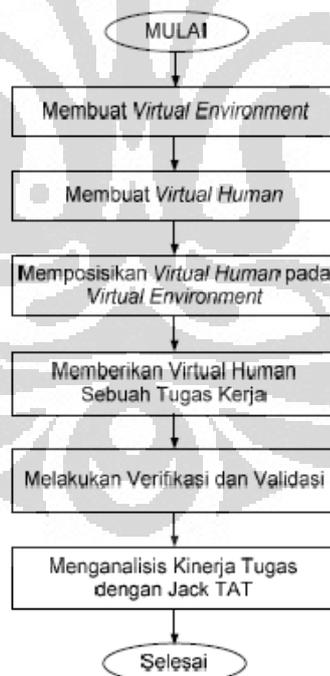
Gambar 3.10 Berbagai Postur Kerja Pembatik

3.2 Perancangan Model

Pada penelitian ini, akan diujikan beberapa postur kerja pengrajin batik tulis yang bersinggungan langsung dengan kursi, gawangam, dan kompor. Berkaitan dengan kursi, postur duduk yang diujikan adalah posisi kaki. Kursi yang saat ini digunakan pekerja adalah kursi pendek yang disebut “dingklik”. Kursi ini menyebabkan pekerja cenderung memosisikan kaki dengan dua cara,

Universitas Indonesia

yakni kaki terjulur lurus serta kaki menapak langsung pada lantai. Interaksi dengan gawangan yang terlalu pendek menyebabkan pekerja cenderung membungkukkan batang tubuh, sedangkan gawangan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan sudut angkat lengan kiri untuk menjangkau kain menjadi lebih besar. Interaksi dengan kompor yang berada di luar jangkauan dapat menyebabkan pekerja secara alami membelokkan batang tubuhnya ataupun lebih membungkuk ke depan untuk mampu menjangkau kompor. Berdasarkan kondisi tersebut, selanjutnya ingin dibandingkan kondisi aktual yang saat ini dialami pekerja dengan rekomendasi desain gawangan dan kursi secara ergonomis, postur kerja yang dapat memberikan kenyamanan dan mengurangi gangguan muskuloskeletal, serta peletakan kompor yang sesuai dengan jangkauan. Dari beberapa pertimbangan tersebut akan dihasilkan beberapa model dalam virtual environment yang disebut sebagai konfigurasi. Berkaitan dengan tahapan pembuatan model, berikut adalah tahapan-tahapan pembuatan model simulasi yang dilakukan :



Gambar 3.11 Diagram Alir Perancangan Model

3.2.1 Pembuatan *Virtual Environment*

Pembuatan *virtual environment* dilakukan untuk menciptakan lingkungan aktual dalam bentuk *virtual*. Pada *Software Jack* terdapat suatu workspace yang

memiliki skala tertentu sesuai dengan skala jarak dan luas lahan kerja yang dibuat dalam perancangan. Proses pembuatan virtual environment ini dilakukan dengan membuat stasiun dan benda – benda kerja secara grafis dengan *software* grafis seperti *autocad* dan *NX*, kemudian mengimpor desain ke dalam lingkungan simulasi *software* Jack. Hasil dari impor stasiun dan benda – benda kerja tersebut akan membentuk sebuah lingkungan *virtual* pada *software* Jack yang memiliki dimensi dan ukuran yang sesuai dengan lingkungan aktual.



Gambar 3.12 *Work Space* pada Tahap Awal *Software* Jack

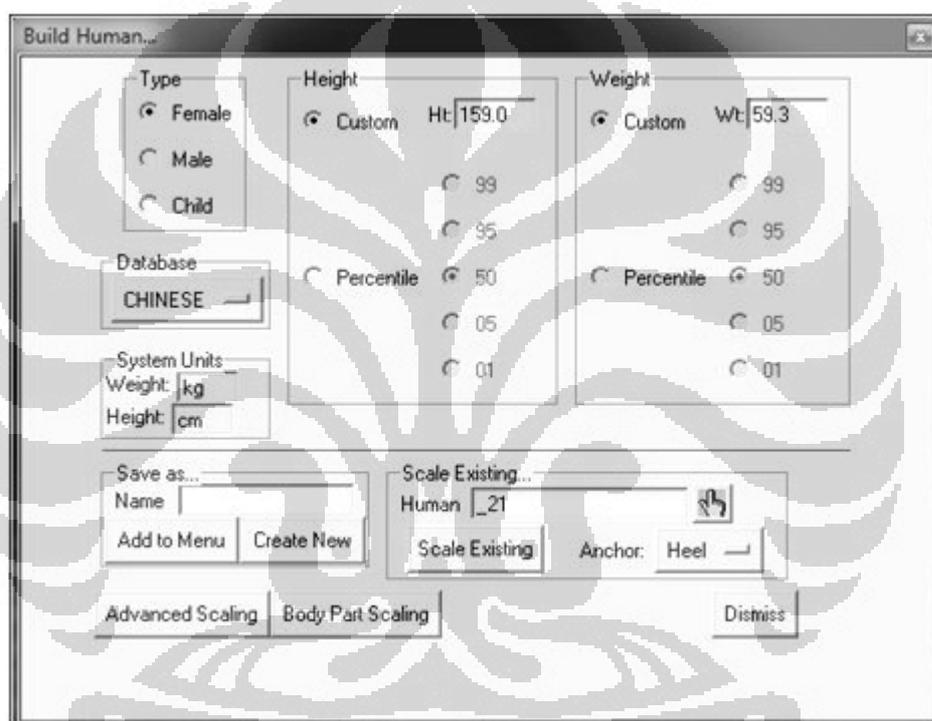
Dalam penelitian ini, untuk membuat virtual environment menyerupai lingkungan aktual, maka akan dilakukan impor peralatan kerja seperti gawangan, kursi, kain mori, kompor, wajan dan canting sesuai dimensi aktual. Posisi peletakan objek pun disesuaikan dengan kondisi saat pengamatan.

Untuk dimensi kursi, gawangan, dan tinggi kompor menggunakan rata-rata dimensi dari masing-masing objek tersebut. Dimensi kursi berdasarkan 3 kriteria yakni tinggi kursi, lebar serta kedalaman kursi. Dimensi Gawangan berdasarkan tinggi rata-rata dimensi gawangan yang saat ini digunakan. Dimensi kompor hanya menggunakan ukuran tinggi kompor sedangkan dimensi wajan menggunakan ukuran diameter wajan.

3.2.2 Pembuatan *Virtual human Modelling*

Model *virtual human* yang dibuat dalam penelitian ini merupakan model manusia berdasarkan data antropometri dari pengrajin batik tulis. Data

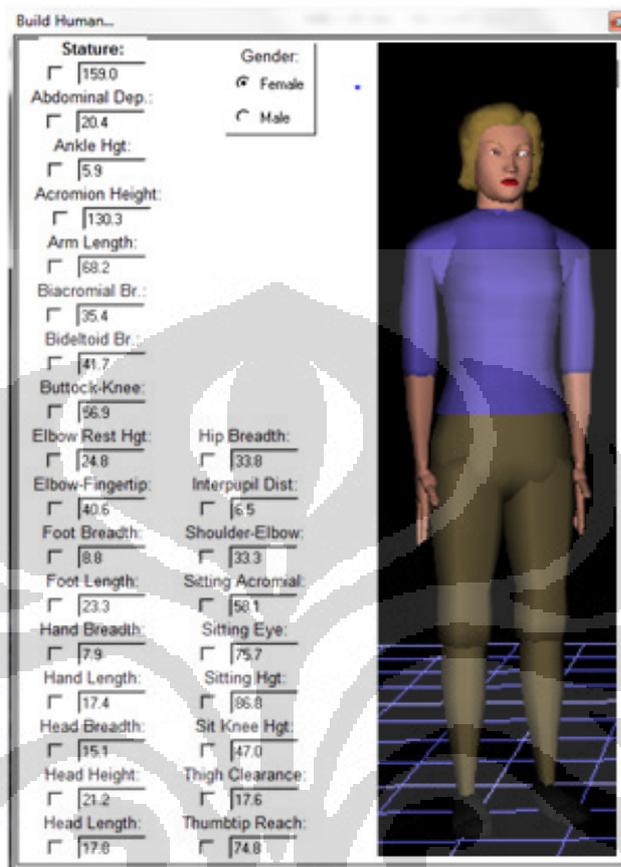
antropometri tersebut kemudian dimasukkan pada fitur *build human* yang terdapat pada *software* Jack dengan menginput data tinggi dan berat badan dari persentil yang digunakan. Model manusia yang akan digunakan dalam analisis penelitian ini adalah model manusia dengan jenis kelamin wanita persentil 5 dan 95. Data persentil 5 dan 95 digunakan dipilih untuk merancang simulasi agar mampu mengetahui tingkat ketidaknyamanan pada rentang postur tubuh minimum dan maksimum sehingga dapat memberikan gambaran keadaan postur yang dirasakan paling ekstrim.



Gambar 3.13 Kotak Dialog *Build Human*

Selanjutnya, dari *virtual human* yang ada, dilakukn *scaling* untuk menginput data antropometri yang dimiliki. Namun dari data antropometri yang dibutuhkan pada *software* jack, yakni sebanyak 26 ukuran bagian tubuh, tidak semua dimiliki karena pengumpulan data antropometri yang dilakukan hanya sesuai kebutuhan dimensi antropometri manusia dalam posisi duduk sehingga input data antropometri menyesuaikan dengan database antropometri yang

terdapat pada *software* jack, yakni menggunakan data antropometri China melalui fungsi *Advanced Human Scaling*.



Gambar 3.14 Contoh kotak Dialog *Advanced Human Scaling*

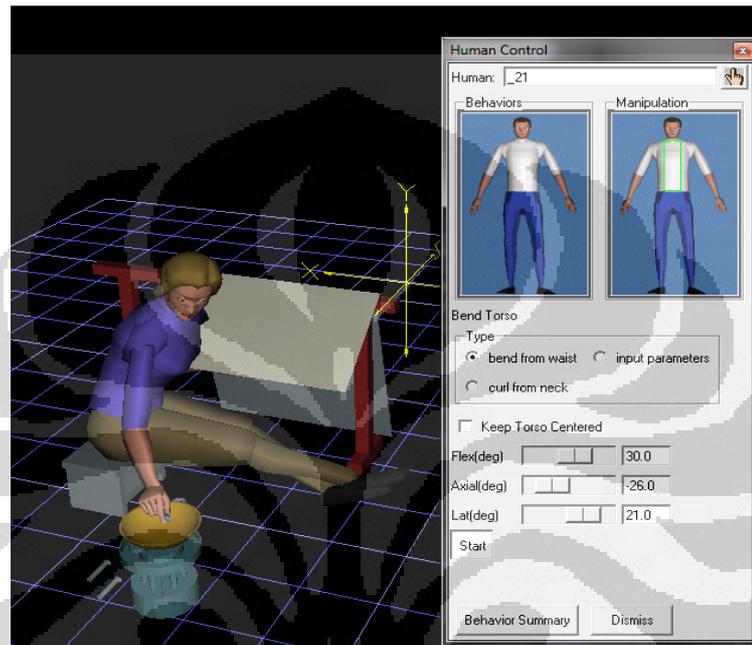
3.2.3 Penempatan *Virtual human* pada *Virtual Environment*

Langkah selanjutnya setelah *virtual environment* dan *virtual human* terbentuk adalah memposisikan letak dan postur *virtual human* ke *virtual environment* yang ada berdasarkan kondisi aktual yang terjadi selama proses kerja berlangsung. Penyesuaian postur kerja ini dilakukan secara manual dengan memanipulasi persendian (*joint*) dan segmen yang terdapat pada model. Kegiatan memanipulasi gerakan ini dapat dilakukan dengan menggunakan fitur *human control* pada *software* Jack.

Proses pembuatan postur pekerja dibuat dari posisi awal dari postur standard sitting working, di mana posisi tubuh duduk tegak dengan tangan menekuk tegak lurus menuju benda kerja. Postur ini paling tepat dipilih sebagai

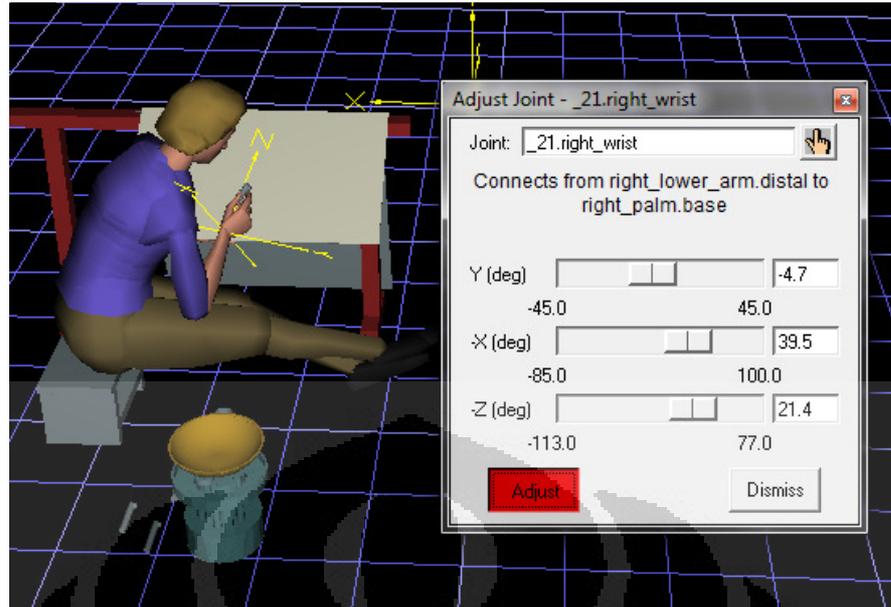
Universitas Indonesia

postur awal karena sangat mendekati postur kerja duduk pengrajin batik tulis. Kemudian dari postur *sitting working* ini, langkah selanjutnya adalah melakukan modifikasi persendian tiap bagian tubuh menggunakan *human control*. Modifikasi atau manipulasi dengan *human control* akan mengubah sekelompok sendi (*joint*) pada tubuh model manusia digital.



Gambar 3.15 Contoh Pembuatan Postur Tubuh dengan *Human Control*

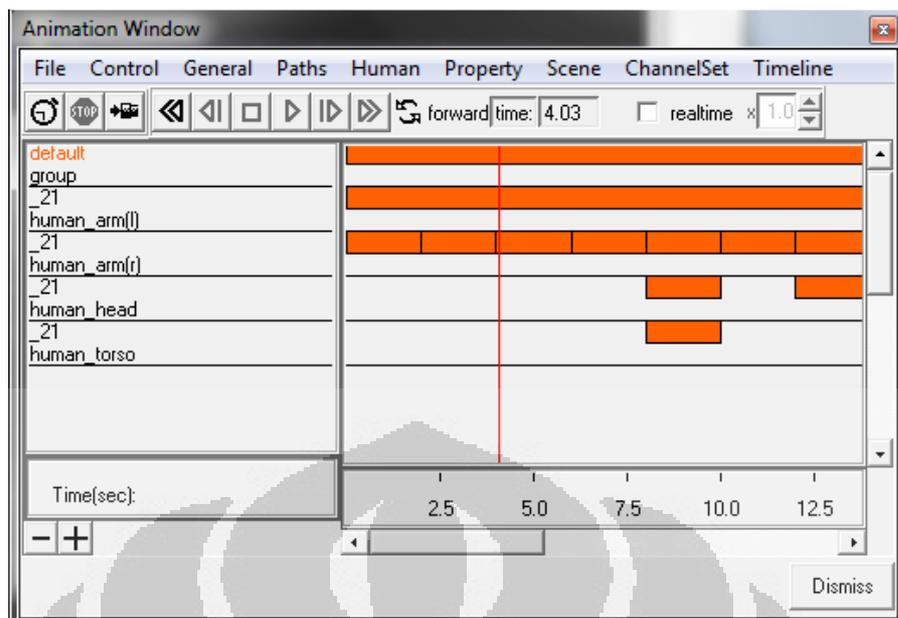
Human control dapat digunakan untuk memanipulasi bagian tangan, kaki, kepala dan mata, serta bahu. Sedangkan manipulasi yang lebih detail untuk satu sendi saja dapat dilakukan dengan menggunakan *Adjust Joint*.



Gambar 3.16 Contoh Pembuatan Postur Tubuh dengan *Adjust Joint*

3.2.4 Pembuatan Tugas Kerja pada *Virtual Human*

Setelah model *virtual human* dan *virtual environment* dibuat, selanjutnya dilakukan pemberian tugas pada *virtual human* sesuai urutan – urutan proses atau gerakan kerja. Pemberian tugas itu dilakukan menggunakan modul *animation system* seperti yang terlihat dalam **Gambar 3.17**. Urutan Gerakan kerja yang disimulasikan sesuai gerakan kerja yang sebelumnya telah direkam menggunakan video. Urutan gerakan tersebut meliputi gerakan membuat pada kain mori, menjangkau cairan malam pada kompor, meniup cairan malam pada cangking yang baru diisi cairan malam serta gerakan mengganti cangking dengan cangking jenis lainnya yang diletakkan di atas lantai. Selama pembuatan animasi, gerakan yang dibuat harus terus disesuaikan dengan gerakan nyata pada rekaman. Hal ini dilakukan untuk menjamin validitas dari animasi gerakan yang dibuat.



Gambar 3.17 Tampilan Jendela Animasi

3.2.5 Verifikasi dan Validasi Model

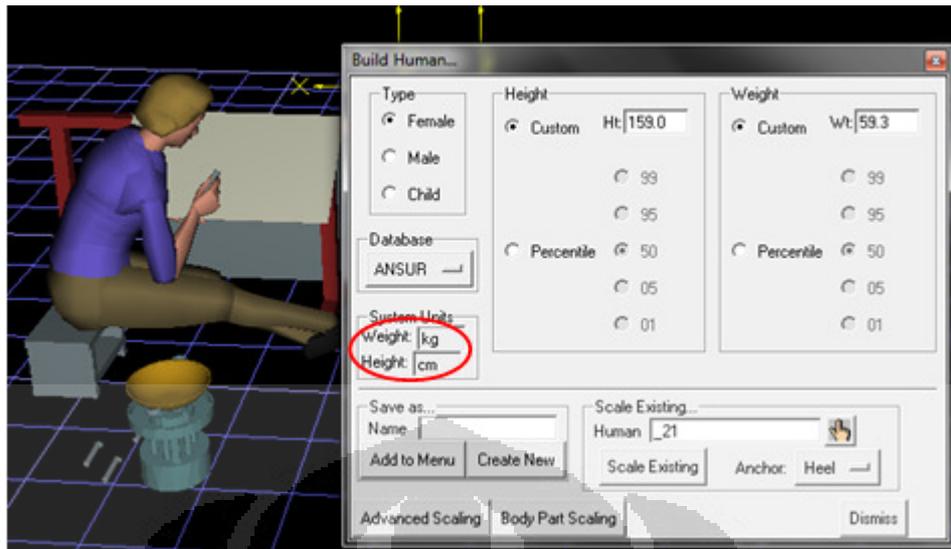
Verifikasi model mengindikasikan bahwa suatu model yang dibuat tersebut telah dipercaya konsepsinya. Tahapan ini merupakan tahapan yang harus dilalui sebelum melakukan analisa lebih lanjut terhadap output nilai yang dihasilkan. Tahapan pengujian model ini terdiri dari verifikasi dan validasi. Uji verifikasi dilakukan dengan cara uji analisis unit, yaitu mengecek ketepatan angka dan satuan yang digunakan dalam tahap pemasukkan data. Dalam sistem dinamik, pengujian model melalui proses verifikasi mempunyai dua cara, yaitu

- Uji analisis unit

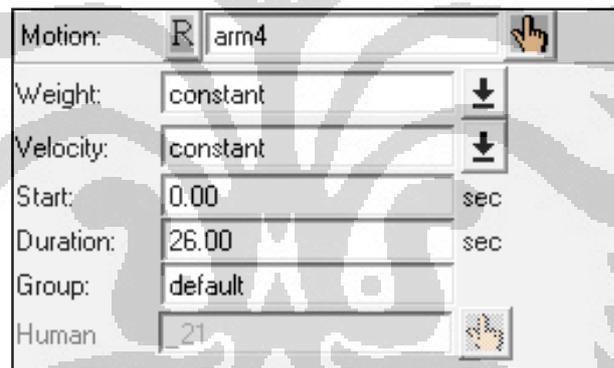
Untuk mengetahui bahwa proses verifikasi dengan cara uji analisis unit sudah benar atau belum dapat dilihat dari dua hal, yaitu seluruh variabel mempunyai unit yang benar, dan seluruh unit sesuai dengan realita yang ada dan tidak terdapat unit korektif yang dimasukkan.

- Uji numerikal

Dalam uji numerikal ini juga terdapat dua bagian. Pertama, dimensi waktu yang dipilih sesuai dengan *timestep* berjalannya model. Kedua, menggunakan metode integrasi numerikal.



Gambar 3.18 Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri Virtual Human



Gambar 3.19 Uji Analisis Unit Durasi Waktu pada *Animation System*

Pada Uji verifikasi seperti yang terlihat pada **Gambar 3.18** dan **Gambar 3.19** di atas menunjukkan bahwa dimensi yang digunakan pada input antropometri model manusia telah mengikuti dimensi standar untuk tinggi badan manusia, yaitu centimeter, sedangkan dimensi yang digunakan pada input data durasi waktu kerja, satuan durasi yang digunakan adalah detik, sesuai dengan pengukuran nyata. Oleh karena itu model simulasi yang dibuat pada penelitian kali ini dapat dipercaya karena menggambarkan keadaan riil dari pekerja.

Setelah melewati proses verifikasi model, maka tahapan selanjutnya dalam pengujian model adalah proses validasi model. Terdapat tiga cara dalam memvalidasi model, yaitu

Universitas Indonesia

1. Historikal fit

Salah satu uji model yang umum adalah dengan memasukkan input ke dalam suatu model dengan nilai historis dan melihat apakah *outputnya* sesuai dengan data historis yang ada.

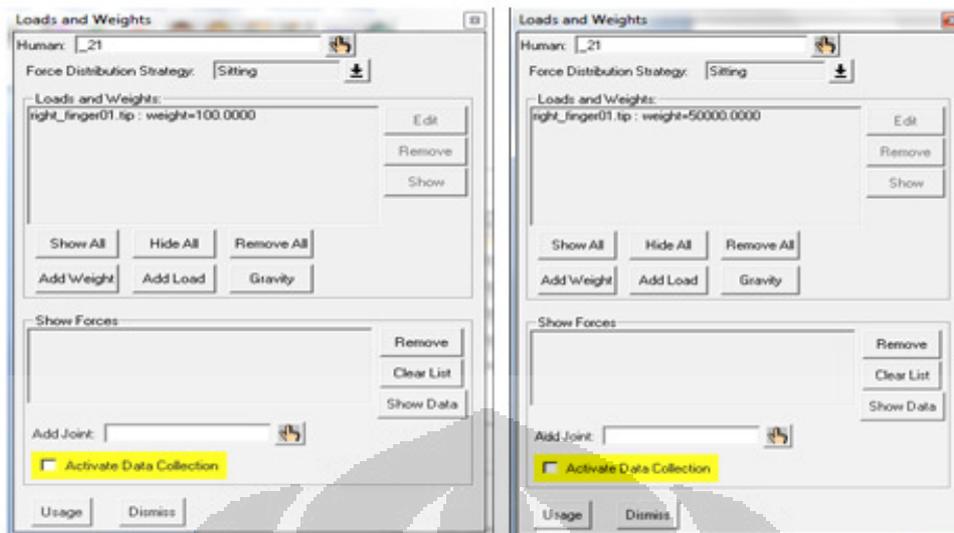
2. Uji kondisi ekstrim

Uji kondisi ekstrim dilakukan untuk memastikan bahwa suatu model tidak mengeluarkan perilaku yang irasional. Terdapat dua tipe uji kondisi ekstrim. Pertama, uji ekstrim nol, yaitu memasukkan nilai nol pada variabel tertentu. Jika seluruh variabel berhubungan secara rasional maka, variabel yang berhubungan juga akan turun menjadi nol atau tidak terpengaruh sama sekali. Kedua, uji ekstrim yang sangat besar, nilai yang diharapkan pada uji kali ini adalah kenaikan yang sangat besar untuk seluruh variabel yang berhubungan. Uji nilai ekstrim menunjukkan bahwa model sesuai dengan hubungan logikal antar variabel dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan dan irasional dalam model.

3. Uji analisis sensitivitas

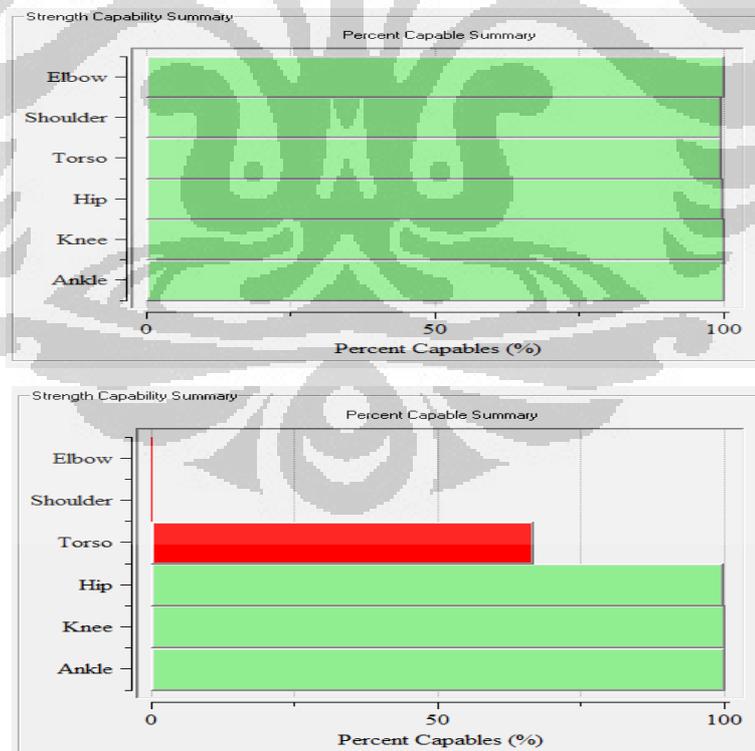
Uji analisis sensitivitas perlu dikerjakan untuk mengidentifikasi parameter mana saja yang dikategorikan sebagai parameter sensitif. Perubahan kecil pada variabel sensitif tersebut akan berpengaruh pada perilaku seluruh sistem.

Pada simulasi menggunakan *software* Jack, hanya akan dilakukan uji validitas dengan menggunakan uji kondisi ekstrim. Uji validitas yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan memberikan beban yang bersifat ekstrim. Sebagai contoh uji validitas pada kegiatan kerja adalah melakukan penambahan beban yang bersifat ekstrim pada jari tangan kanan dari sebesar 100 gram menjadi 50 kg. Berikut hasil uji validitas dengan uji kondisi ekstrim.



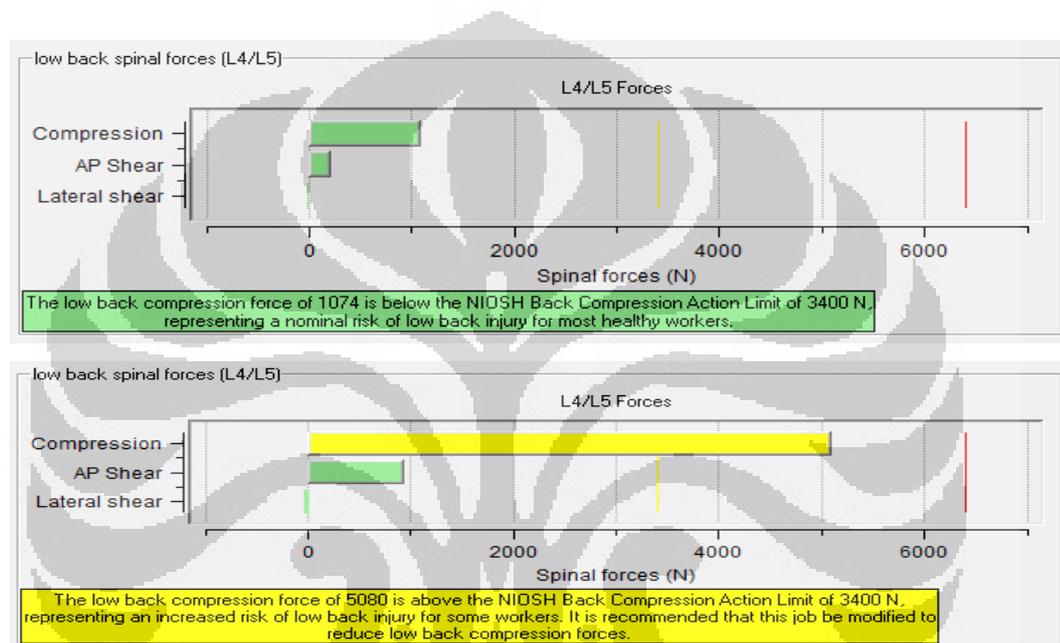
Gambar 3.20 Penambahan Beban Ekstrim

Berdasarkan perubahan beban yang dialami oleh *virtual human* tersebut maka dianalisis perubahan nilai – nilai ergonomis yang dialami oleh *virtual human* seperti nilai *Static Strength Prediction* dan *Low Back Analysis*.



Gambar 3.21 Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim

Gambar 3.21 menunjukkan bahwa penambahan beban yang sangat ekstrim pada jari tangan pekerja menyebabkan persen kapabilitas pekerjaan berkurang sangat signifikan. Pada kondisi sebelum diberikan beban ekstrim, kapabilitas mencapai hampir 100 % pada semua bagian tubuh. Namun setelah dilakukan penambahan beban ekstrim, kapabilitas menjadi berkurang sangat signifikan bahkan pada siku dan bahu sudah tidak dapat menerima beban tersebut atau memiliki kapabilitas hampir 0%.



Gambar 3.22 Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim

Pada **Gambar 3.22** terlihat bahwa hasil analisis kapabilitas LBA pada model menunjukkan lonjakan kompresi pada bagian tulang belakang model dari 1074 N menjadi 5080 N, perubahan yang sangat signifikan tersebut terjadi karena adanya penambahan beban yang mencapai 500 kali lipat dari kondisi normal.

Berdasarkan perubahan nilai yang terjadi pada nilai – nilai analisis ergonomi tersebut, dapat dilihat bahwa perubahan beban kerja dari beban normal ke beban ekstrim menyebabkan perubahan yang signifikan pada performa *virtual human*. Perubahan - perubahan tersebut logis sehingga dapat dikatakan bahwa model telah valid.

3.2.6 Analisis Data Menggunakan *Jack Task Analysis Toolkit* (TAT)

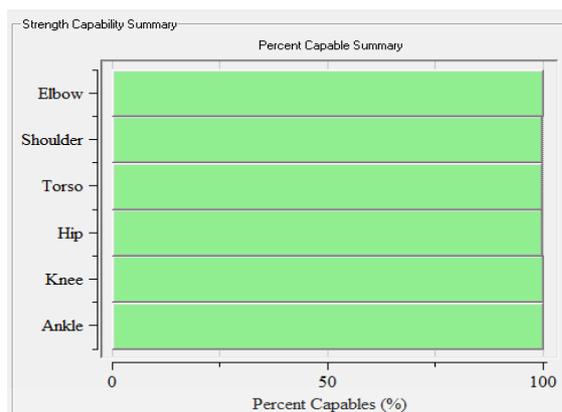
Setelah melalui tahapan verifikasi dan validasi, selanjutnya model simulasi ini dapat digunakan untuk melakukan analisis faktor ergonomi. Analisis ini merupakan tahapan akhir dalam perancangan model secara keseluruhan. Analisis dilakukan dengan menggunakan tools yang tersedia dalam *software*, yaitu Task Analysis Toolkit (TAT). Dalam penelitian ini, tools yang digunakan adalah *Static Strength Prediction, Low Back Analysis, Ovako Working Posture Analysis System*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Keempat *tools* tersebut akan menghasilkan *output* penilaian secara *real-time* ketika simulasi dijalankan. Melalui berbagai *tools* analisis tersebut dapat diketahui *critical posture* dari pekerja yang menunjukkan posisi kerja dalam keadaan yang paling tidak ergonomis.

3.3.6.1 *Static Strength Prediction* (SSP)

Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis *Static Strength Prediction* (SSP). SSP digunakan untuk memastikan apakah suatu kegiatan kerja dapat dilakukan oleh seluruh populasi pekerja. Hasil analisis SSP digambarkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan tingkat persentase kapabilitas sejumlah pekerja dari populasi yang ada. Persentase minimal yang dapat diterima adalah 90% dari keseluruhan jumlah pekerja. Hasil analisis SSP dapat terlihat pada **Gambar 3.23**.

Tabel 3.8 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1

		Left						Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	
	Elbow	-0	--	35	9	100	-0	--	37	10	100	
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	34	9	100	-2	ABDUCT	33	9	100	
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-0	--	45	15	100	
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	24	6	100	
Trunk	Flex/Ext	-13	EXTEN	255	88	100						
	Lateral Bending	-9	RIGHT	83	19	100						
	Rotation	1	CCW	51	15	100						
	Hip	0	--	128	43	100	-0	--	116	44	100	
	Knee	0	--	96	33	100	0	--	79	27	100	
	Ankle	0	--	54	15	100	0	--	38	11	100	

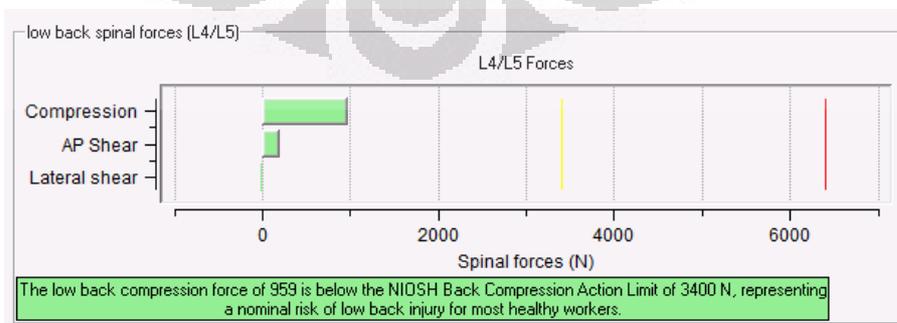


Gambar 3. 23 Grafik SSP Pekerja untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1

Selain grafik *percent capable summary*, SSP juga mengeluarkan hasil analisis dalam bentuk *Capability Summary Chart* seperti pada **Tabel 3.8**. Dari gambar di atas, kegiatan kerja pada pada Konfigurasi 1B1 Aktual dapat dikerjakan oleh lebih dari 90% populasi pekerja. Secara lebih rinci, bagian tubuh bahu, punggung, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki dari pekerja memiliki persentase kapabilitas yang memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

3.3.6.2 Lower Back Analysis (LBA)

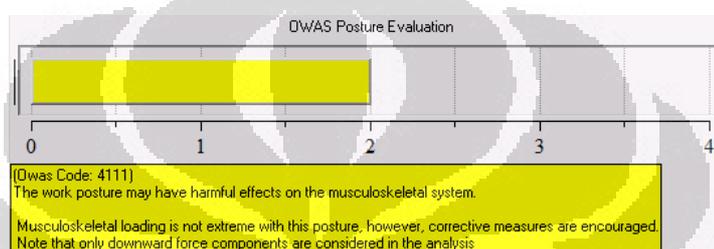
LBA dianalisis untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu. LBA memberikan informasi yang berhubungan dengan tekanan dan kekuatan pada L4 dan L5 *lumbar disk*; momen reaksi yang terjadi pada L4 dan L5 *lumbar disk*; dan tingkat aktivitas dari otot tubuh untuk menyeimbangkan momen yang diterima oleh tulang belakang seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.24** berikut.



Gambar 3. 24 Nilai LBA Pekerja Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1

3.3.6.3 Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)

Analisis OWAS ini untuk menentukan tingkat kepentingan atau urgensi dilakukannya perbaikan terhadap rancangan stasiun kerja. Selain itu berdasarkan nilai OWAS dapat ditentukan tindakan perbaikan dari postur kerja yang ada. Penggunaan metode OWAS dalam menganalisis kenyamanan hanya ditekankan pada evaluasi beberapa faktor antara lain postur kerja yang dialami punggung, lengan, kaki, dan besarnya beban yang harus ditopang oleh tubuh yang diwakilkan oleh kode OWAS seperti pada **Gambar 2.25**.



Gambar 3.25 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1

3.3.6.4 Rapid Upper Limber Analysis (RULA)

Perhitungan RULA dipakai untuk meginvestigasi gangguan pada anggota badan bagian atas selama pekerjaan berlangsung. Selain itu, RULA juga digunakan untuk mengetahui apakah ada pembebanan biomekanik dan pembebanan postur pada pekerja pada kondisi aktual. Hasil *grand score* untuk analisis RULA ditunjukkan oleh angka pada **Gambar 3.26** berikut.

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry Reports Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating:
Upper arm: 3
Lower arm: 3
Wrist: 3
Wrist Twist: 1
Total: 5

Body Group B Posture Rating:
Neck: 3
Trunk: 4
Total: 6

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute
Force/Load: < 2 kg intermittent load
Arms: Not supported

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

Grand Score: 7
Action: Investigation and changes are required immediately.

Gambar 3.26 Nilai LBA Pekerja Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1

3.3.6.5 Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Untuk memperoleh nilai yang dapat mengintegrasikan nilai LBA, OWAS, dan RULA digunakan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). Formula perhitungan nilai PEI ditunjukkan oleh persamaan 3.1.

$$PEI = I_1 + I_2 + (I_3 \cdot mr) \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

$$I_1 = LBA/3400$$

$$I_2 = OWAS/4$$

$$I_3 = RULA/7$$

Keterangan :

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

4 = nilai maximum index OWAS

7 = level maximum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

mr = koefisien amplifikasi = 1.42

Sebagai contoh perhitungan PEI adalah pada proses konfigurasi 1B1, yakni pada posisi kerja membatik dengan kaki terjulur lurus dan badan membungkuk. hasil analisis ergonomi dengan PEI ditunjukkan oleh **Tabel 3.9**.

Tabel 3.9 Nilai Analisis Ergonomi untuk Konfigurasi Aktual 1B1

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA
959	2	7

Nilai PEI tersebut didapatkan berdasarkan perhitungan:

$$PEI = 959/3400 + 2/4 + (1.42 \times 7/7) = 2.20$$

3.3 Pembuatan Model Usulan dan Penentuan Konfigurasi

Penentuan rekomendasi paling optimum untuk perancangan perbaikan postur kerja yang ideal dari aspek ergonomis dilakukan dengan menentukan beberapa konfigurasi yang berkaitan dengan postur kerja manusia dengan lingkungan kerjanya. Penentuan konfigurasi dilakukan dengan memilih variabel utama yang dapat diubah untuk mengantisipasi postur yang ekstrim. Dalam penelitian ini, postur kerja pengrajin batik tulis dipengaruhi oleh interaksi pekerja

dengan kursi, gawangan serta jangkauan terhadap kompor. Interaksi ini menyebabkan postur kerja cenderung menyesuaikan dengan bentuk, dimensi serta posisi kursi, gawangan dan kompor tersebut. Untuk itu, konfigurasi yang dianggap berpengaruh adalah postur kerja yang meliputi *trunk inclination*, *head-neck inclination* serta *reach area* ketika pekerja duduk. Desain kursi dan gawangan yang diusulkan dibuat berdasarkan kaidah ergonomi dan dalam penelitian ini digunakan satu desain kursi untuk semua konfigurasi usulan. Untuk desain gawangan, variabel yang berhubungan dengan postur kerja adalah ketinggian gawangan, serta sudut dan jarak kain mori dari posisi vertikal gawangan. Dimensi gawangan yang terlalu rendah mengakibatkan pekerja cenderung membungkuk (*trunk inclination* semakin besar), sementara sudut dan jarak kain mori dari posisi vertikal gawangan akan berpengaruh terhadap *head-neck inclination* serta *trunk inclination*.

3.3.1 Pembuatan Model Kursi

Kursi yang baik digunakan adalah kursi yang sesuai dengan karakteristik pengguna serta jenis pekerjaan yang dilakukan sehingga pengguna dapat menggunakannya dengan nyaman dan dapat mengurangi terjadinya gangguan muskuloskeletal. Dalam pembuatan kursi yang ideal, diperlukan data antropometri tertentu dari bagian tubuh manusia dan mempertimbangkan ukuran persentil manusia secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, objek pengguna adalah pekerja wanita sehingga desain kursi dibuat hanya untuk pengguna wanita. Berikut adalah daftar ukuran antropometri tubuh yang telah dikumpulkan dan selanjutnya akan digunakan dalam pembuatan model kursi :

Tabel 3.10 Ketentuan Data Antropometri Untuk Ukuran Kursi

No	Komponen	Data Antropometri Digunakan	Persentil
1	Seat Height	Popliteal Height	5
2	Seat Depth	Buttock Popliteal	5
3	Seat Width	Hip Breath	95
4	Back Rest Height	Shoulder Height	95
5	Back Rest Width	Hip Breath	95
6	Arm Rest Height	Sitting Elbow Rest Height	5

Pada penelitian ini, dalam pembuatan model kursi mengacu pada satu prinsip yaitu, *design for extreme*. *Design for extreme* digunakan agar suatu desain dapat digunakan dengan nyaman oleh sebagian besar orang-orang yang memakainya. Perancangan ini dapat dibagi dua yaitu yang pertama perancangan dengan data nilai persentil tinggi (95%) dan data persentil kecil atau rendah (5%). Berikut adalah penjelasan detail komponen kursi dan data antropometri yang digunakan.

1. *Seat Height*.

Ketinggian dudukan kursi dibuat berdasarkan data antropometri wanita persentil 5. Hal ini dengan pertimbangan agar wanita dengan persentil terkecil dapat menapakkan kakinya pada lantai ketika duduk sehingga kaki dapat digunakan untuk membantu menopang tubuh. Dalam menentukan ketinggian kursi yang optimal, digunakan ketinggian *popliteal* manusia dalam posisi duduk. Berdasarkan data antropometri pengrajin batik tulis, wanita dengan persentil 5 memiliki ukuran *popliteal* sebesar 36.1 cm sehingga ukuran kursi yang akan digunakan adalah 36 cm.

2. *Seat Depth*

Ukuran *seat depth* dibuat berdasarkan data antropometri wanita persentil 5. Hal ini dengan pertimbangan agar wanita dengan persentil terkecil dapat bersandar pada sandaran kursi. Penggunaan persentil terbesar dapat menyebabkan adanya jarak antara pantat dengan sandaran kursi sehingga pengguna tidak dapat bersandar dengan optimal. Dalam menentukan *seat depth* yang optimal, digunakan data *buttock popliteal* manusia dalam posisi duduk. Berdasarkan data antropometri pengrajin batik tulis, wanita dengan persentil 5 memiliki ukuran *buttock popliteal* sebesar 37.6 cm sehingga ukuran *seat depth* yang akan digunakan adalah 37.5 cm.

3. *Seat Width*

Ukuran lebar dudukan kursi dibuat berdasarkan data antropometri wanita persentil 95. Bagian lebar dudukan kursi harus mampu untuk menopang bagian pinggul pengguna dengan *hip breadth* terbesar. Untuk dimensi lebar dudukan kursi sebaiknya diberikan *allowance* dari ukuran *hip breadth* karena ukuran yang pas akan menyulitkan pengguna untuk melakukan pergerakan ke

samping maupun perpindahan dari posisi duduk ke posisi berdiri. Ukuran lebar dudukan yang tepat adalah 10-30% lebih besar dari ukuran hip breath. Berdasarkan data antropometri *hip breath* wanita persentip 95 memiliki ukuran 34.18 cm. Dalam usulan kursi pembatik ini, digunakan allowance 10% sehingga ukuran lebar kursi adalah 38 cm.

4. *Backrest Height*

Jenis ketinggian sandaran kursi yang digunakan adalah ukuran *medium-level backrest* yang dapat menyokong bagian punggung atas dan bahu. Untuk dapat menyokong semua ukuran persentil manusia, digunakan ukuran *shoulder height* manusia dengan persentil 95. Untuk memenuhi ukuran *medium-level backrest* digunakan ketentuan tinggi sandaran 60-80% dari ukuran *shoulder height*. Ukuran *shoulder height* pekerja dengan persentil 95 adalah 58.75 cm. Dalam kursi usulan, digunakan ketentuan 80% *shoulder height* sehingga ketinggian sandaran kursi adalah 46.7 cm.

5. *Seat Angle, Back Rest Angle*

Penentuan kemiringan sandaran umumnya berkaitan dengan kemiringan dudukan kursi. Pheasant (2003) merekomendasikan sudut kemiringan optimal sebesar 100°-110°. Namun, kemiringan lebih dari 110° tidak dianjurkan karena dapat menyebabkan bagian tubuh bagian atas menjadi tidak stabil, terutama jika digunakan oleh pengguna lanjut usia. Untuk Kemiringan dudukan kursi, akan berpengaruh terhadap *trunk angle* serta kemudahan pengguna untuk duduk dan berdiri, Pheasant (2003) menyebutkan kemiringan 5-10° sebagai sudut kemiringan dudukan yang paling sesuai digunakan. Dalam kursi usulan ini, digunakan sudut kemiringan 100° dengan pertimbangan bahwa terdapat pengrajin batik tulis dengan usia lanjut, sementara kemiringan dudukan kursi menggunakan sudut 5°.

6. *Armrest Height*

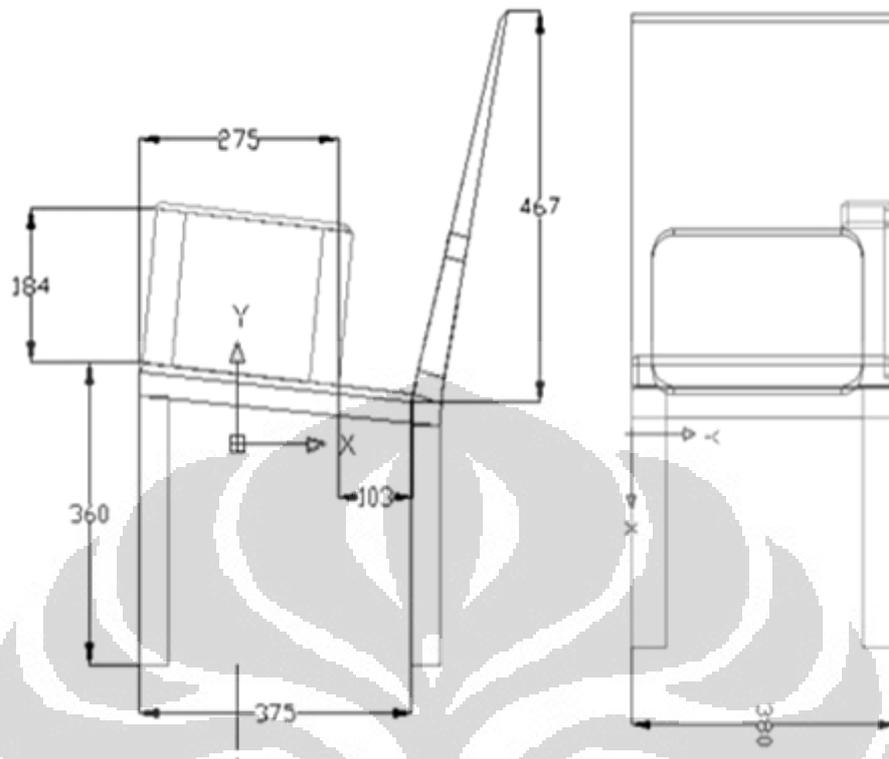
Sandaran lengan harus mampu menyokong bagian lengan bawah namun tidak mencederai bagian tulang siku yang memiliki bagian saraf sensitif, untuk itu, disarankan terdapat jarak antara sandaran kursi dengan sandaran tangan sebesar 100 mm (Pheasant, 2003). Rekomendasi tinggi sandaran lengan dari permukaan dudukan kursi ditentukan berdasarkan ketinggian *elbow siitng*

height. Persentil manusia yang digunakan adalah wanita dengan persentil 5. Hal ini dengan pertimbangan bahwa jika ketinggian *armrest* menggunakan persentil 95 maka pengguna dengan persentil 5 akan cenderung mengangkat bagian *elbow* untuk menyesuaikan dengan ketinggian *armrest*. Sedangkan jika menggunakan persentil 5 maka pengguna dengan persentil 95 masih dapat menjangkau *armrest* karena posisi *armrest* masih berada di bawah *elbow*. Sitting *elbow height* wanita persentil 5 adalah 18.4 cm. Dengan demikian, ukuran ketinggian sandaran lengan adalah 18.4 cm dengan jarak dari sandaran kursi sebesar 100 mm.

Spesifikasi lengkap dari kursi usulan dapat dilihat pada **Tabel 3.12** Untuk gambaran lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 3.27**.

Tabel 3.11 Spesifikasi Kursi Usulan

No	Komponen	Data Antropometri Digunakan	Persentil	Ukuran Desain Kursi
1	Seat Height	Popliteal Height	5	36 cm
2	Seat Depth	Buttock Popliteal	5	37.5 cm
3	Seat Width	10% greater than Hip Breadth	5	38 cm
4	Seat Angle	5° from horizontal seat surface		5°
5	Back Rest Height	80% from shoulder height	95	46.7 cm
6	Back Rest Width	Same as Seat Width		48 cm
7	Back Rest Angle	100°-110° from seat surface		100°
8	Arm Rest Height	Sitting Elbow Rest Height	5	18.4 cm
9	Arm Rest Distance From Backrest	100 mm		100 mm



Gambar 3.27 Tampilan dan Dimensi Kursi Usulan

3.3.2 Pembuatan Model Gawangan Usulan

Gawangan digunakan sebagai penyangga untuk meletakkan kain mori. Pada model gawangan usulan, dimensi gawangan disesuaikan dengan dimensi kursi. Sebagaimana penjelasan sebelumnya, gawangan dengan ukuran yang lebih rendah daripada antropometri *sitting height* pekerja akan menyebabkan pekerja secara alamiah membungkukkan batang tubuhnya. Kondisi kedua, pekerja akan memperbesar sudut angkat lengan berkaitan dengan posisi tangan kiri untuk mengangkat kain mori hingga berada pada jangkauan mata pekerja. Selain itu, berkaitan dengan kegiatan mencanting, untuk merubah area kerja pada suatu permukaan kain mori dengan area kerja baru, pekerja akan menggeser posisi kain mori baik dengan menaikkan, menurunkan maupun menggeser kain mori ke kiri atau ke kanan. Pertimbangan inilah yang menjadi dasar untuk menentukan ketinggian gawangan yang ideal, yakni ketinggian gawangan berdasarkan jangkauan vertikal tangan dalam posisi duduk. Pada desain usulan ini, digunakan persentil 5 dengan pertimbangan agar pekerja dengan ukuran tubuh terkecil dapat

menjangkau ujung atas gawangan. Berdasarkan hasil pengukuran antropometri jangkauan vertikal persentil 5 adalah 110 cm sehingga ketinggian gawangan yang diusulkan adalah 110 cm. Sementara itu, lebar gawangan mengikuti lebar kain mori yang umumnya digunakan, yakni 110 cm, ditambah allowance, maka lebar gawangan usulan adalah 125 cm.

Pada penjelasan mengenai penetapan dimensi kursi sebelumnya, digunakan tinggi popliteal persentil 5 untuk menentukan ketinggian kursi usulan. Untuk mengatasi agar pekerja dengan persentil 95 tidak mengalami posisi kaki terjulur maka dibuat *footrest* pada gawangan. Pertimbangan ini mengacu pada hasil konfigurasi aktual yang mengindikasikan jika posisi kerja dengan kaki terjulur lurus akan memberikan resiko ketidaknyamanan yang lebih tinggi dibandingkan posisi kerja dengan kedua telapak kaki berpijak pada lantai. Untuk dimensi *footrest*, digunakan data antropometri panjang kaki pekerja dengan persentil 95 sedangkan lebar *footrest* disesuaikan dengan lebar kursi dengan tujuan memberi ruang berpijak yang lebih besar pada telapak kaki dan sebagai penanda posisi peletakan kursi di depan gawangan karena posisi peletakan *footrest* tepat beradap pada tengah lebar gawangan. Untuk penentuan ketinggian *footrest* dari lantai, digunakan selisih *popliteal height* pekerja persentil 5 dan 95. Selain itu, untuk menentukan jarak antara kursi dan *footrest* (*forward legroom*), maka panjang penyangga (alas) gawangan dihitung dari *footrest* dibuat sesuai perhitungan menggunakan **Persamaan 2.5**. Berikut adalah perhitungannya :

$$D = B + \sqrt{P^2 - H^2} + F$$

Dengan,

$B = \text{popliteal buttock (B)}$

$P = \text{tinggi popliteal}$

$H = \text{sitting height}$

$F = \text{foot length}$

Penentuan jarak *forward legroom* ini menggunakan persentil 95 sehingga :

$$D = 38 + \sqrt{39,1^2 - 36,1^2} + 24$$

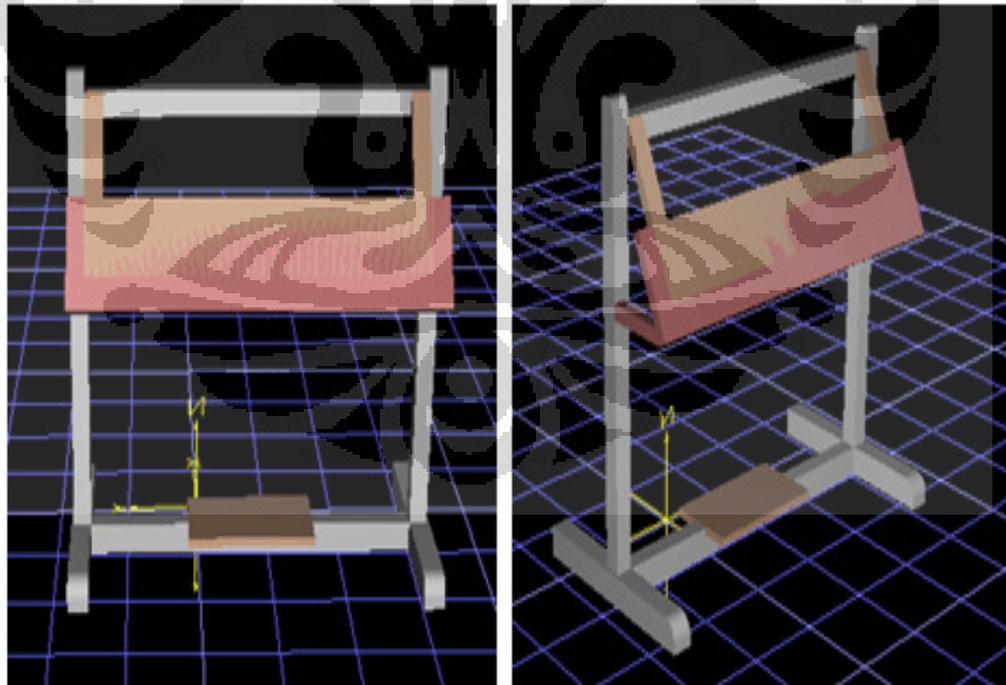
$$D = 77,6 \text{ cm}$$

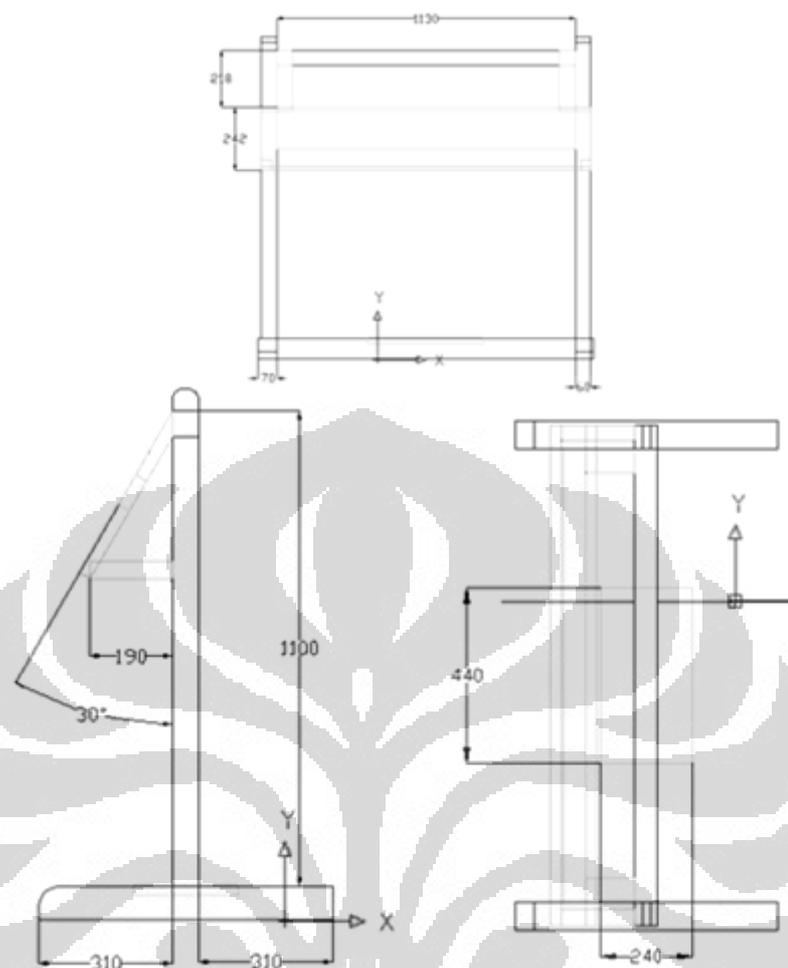
Pada gawangan usulan ini, untuk menghindari sudut angkat lengan yang terlalu besar dan menjaga agar batang tubuh masih dalam batas normal serta memfokuskan mata agar masih berada pada jangkauan batas nyaman guna menghindari terjadinya *visual fatigue*, maka dibuatlah daerah *visual field* pada gawangan. Dalam studinya mengenai *visual fatigue*, Weston (1953) menyarankan jika pergerakan mata ke arah bawah dibatasi sejauh 24 hingga 27 derajat. Melebihi tersebut, maka kepala dan leher akan cenderung menunduk ke arah depan dan otot-otot leher akan terbebani untuk menyokong berat dari kepala. Hill dan Kroemer (1986) menemukan jika dalam postur duduk dengan kondisi memandang objek yang berjarak 50 hingga 100 cm, maka sudut memandang yang dianjurkan sebesar 29 derajat dibawah *frankurt line* dimana sudut memandang keatas dibatasi sebesar 11 derajat. Selanjutnya, berdasarkan pertimbangan tersebut, untuk penentuan lebar daerah *visual field*, ditetapkan menggunakan sudut pergerakan ke arah bawah sejauh 26 derajat dan sudut pergerakan ke atas sebesar 11 derajat dengan jarak antara mata dan objek sebesar 350 mm. Dengan menggunakan **Persamaan 2.4**, dengan $V = 38$ derajat maka diperoleh lebar visual field sebesar 240 cm. Untuk menentukan jarak daerah *visual field* dengan permukaan atas gawangan digunakan pertimbangan antropometri *sitting eye height* pekerja dengan persentile 95. Sehingga jarak daerah visual field adalah 22 cm. Daerah *visual field* dibuat miring dengan tujuan menghindari sudut angkat lengan yang terlalu besar serta menjaga agar kepala dan leher tidak terlalu menunduk ke arah depan yang akan menyebabkan otot-otot leher akan semakin terbebani untuk menyokong berat dari kepala. Eastman dan Kamon (1976) menyebutkan dalam penelitiannya mengenai permukaan kemiringan meja untuk menulis bahwa kemiringan 24 derajat memberikan postur kerja yang lebih baik sehingga untuk desain gawangan usulan, dengan beberapa pertimbangan lainnya digunakan sudut kemiringan 30 derajat. Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah kemiringan daerah *visual field* sebesar 30 derajat digunakan agar jarak antara mata dan objek berada di kisaran 350 mm. Hal ini sesuai dengan uji coba yang dilakukan pada *software* Jack dengan menggunakan dimensi gawangan dan kursi usulan.

Tabel 3.12 Spesifikasi Gawangan Usulan

No	Komponen	Data Antropometri Digunakan	Persentil	Ukuran
1	Tinggi Gawangan	Vertical Reach (sitting)	5	110 cm
2	Lebar Gawangan	125 cm		125 cm
3	Panjang <i>Footrest</i>	Same as seat width		44 cm
4	Lebar <i>Footrest</i>	Foot Length	95	24 cm
5	Tinggi <i>Footrest</i> dari lantai	Popliteal Height Percentil 95-Popliteal Height Percentil 5		6 cm
6	Sudut Kemiringan Daerah Vision field			30 derajat
7	Lebar Daerah Vision Field			24 cm
8	Jarak Vision field dari permukaan gawangan bagian atas	Sitting Eye Heigh	95	22 cm

Berikut adalah desain gawangan usulan yang diajukan.

**Gambar 3.28** Ilustrasi Desain Gawangan Usulan

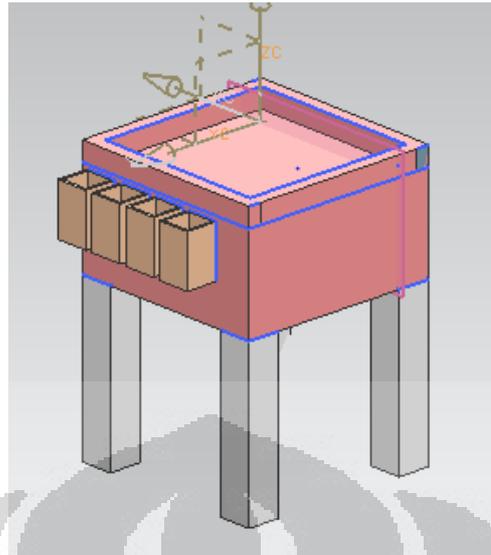


Gambar 3.29 Desain Usulan Gawangan Tampak Depan, Samping, dan Bawah

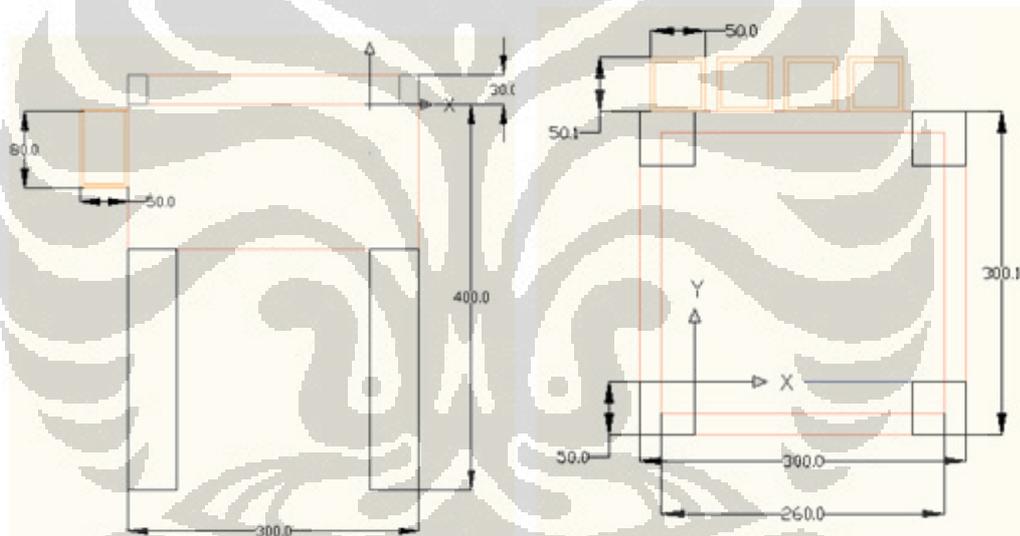
3.3.3 Pembuatan Model Meja Kompor Usulan

Pada aktivitas kerja membatik, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, kegiatan ini terdiri dari rangkaian operasi kerja seperti menjangkau cairan “malam” pada wajan yang berada di atas kompor, meniup cantinng yang berisi cairan malam yang baru diambil , serta aktivitas menjangkau canting jenis lain biasanya terletak di lantai. Salah satu perubahan desain kursi dan gawangan yang diajukan adalah ketinggian kursi dan gawangan yang digunakan. Sementara itu, kita mengetahui bahwa postur menjangkau berkaitan dengan aktivitas membatik yang dilakukan sehingga perubahan ketinggian kursi yang digunakan akan mempengaruhi daerah jangkau tangan terhadap kompor. Berdasarkan pertimbangan tersebut, perubahan pemberian meja kompor perlu dilakukan agar

pada saat menjangkau postur kerja yang dibentuk masih dapat memberikan kenyamanan bagi pekerja. Evans et al (1988) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa untuk low desk height sebaiknya berada 95% dari *sitting elbow height*. Sementara Pheasant (1991) menyarankan jika aktivitas kerja yang melibatkan interaksi antara kursi dan meja maka ukuran meja sebaiknya 3-5 cm diatas *sitting elbow hight*. Parcels et al (1999) menyebutkan jika ketinggian meja yang ideal adalah sesuai dengan *elbow sitting height*. Mengacu pada ketiga penelitian tersebut, maka ketinggian meja kompor yang diusulkan pada penelitian ini berdasarkan antropometri *sitting elbow height*. Untuk persentil yang digunakan adalah persentil 50 dengan pertimbangan dapat mengakomodasi persentil terendah dan tertinggi. Berdasarkan tabel data antropometri pekerja, diketahui jika tinggi *sitting elbow height* persentil 50 adalah 22,7 cm sedangkan tinggi popliteal adalah 39 cm. Sehingga ditetapkan tiga konfigurasi ketinggian meja kompor usulan yaitu 95% dari *sitting elbow height*, sama dengan ketinggian *sitting elbow height* dan 5 cm diatas *sitting elbow height*. Ketiga konfigurasi ini nantinya akan disimulasikan pada virtual environment sehingga dapat diketahui ukuran ketinggian meja kompor yang paling ideal. Dari perhitungan, diperoleh ketiga nilai tersebut adalah 55 cm, 60 cm dan 65 cm. Selanjutnya, dari pengukuran terhadap ketinggian kompor dan wajan yang digunakan pembatik, diperoleh hasil bahwa ketinggian kompor yang digunakan adalah 20 cm sementara ketinggian wajan adalah 5 cm sehingga ukuran akhir dari ketiga meja kompor yang direkomendasikan adalah 30 cm, 35 cm dan 40 cm. Pada desain meja kompor usulan diberikan tempat untuk meletakkan canting. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pekerja ketika melakukan operasi kerja mengganti canting yang digunakan dengan canting jenis lainnya. Sebagaimana penjelasan macam-macam canting yang digunakan pembatik, terdapat empat jenis canting sehingga dibuat empat area peletakan canting pada kompor. Berikut adalah desain meja kompor yang dibuat (contoh model meja dengan ketinggian 40 cm).



Gambar 3.30 Ilustrasi Desain Meja Kompor Usulan



Gambar 3.31 Desain Usulan Gawangan Tampak Samping dan Atas

3.3.4 Penentuan Konfigurasi Model

Konfigurasi dilakukan untuk menentukan perubahan variabel yang paling berpengaruh terhadap postur kerja pada aktivitas membuat. Konfigurasi ini bertujuan agar penelitian yang dilakukan dapat menghasilkan rekomendasi optimum untuk aspek ergonomi.

Pada konfigurasi yang diajukan, variabel pertama adalah kursi usulan yang telah dibuat berdasarkan data antropometri pekerja dan kaidah ergonomi. Untuk semua konfigurasi akan menggunakan satu jenis kursi usulan dengan

dimensi yang sama. Variabel selanjutnya adalah gawangan dimana gawangan yang digunakan dalam konfigurasi adalah gawangan yang telah diubah ketinggiannya sesuai antropometri pekerja dan modifikasi yang dilakukan sehingga untuk semua konfigurasi juga akan menggunakan desain dan dimensi gawangan yang sama. Berkaitan dengan aktivitas menjangkau yang dilakukan pekerja serta pengaruh perubahan ketinggian kursi maka ditentukan variabel ketinggian meja kompor. Sebagaimana penjelasan sebelumnya mengenai model meja kompor yang dibuat maka akan disimulasikan pengaruh dari ketiga ketinggian meja kompor terhadap postur kerja yang terbentuk. Simulasi ini akan di uji cobakan pada pekerja dengan persentil 5 dan 95 dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh desain usulan yang dibuat terhadap pekerja dengan ukuran tubuh minimal dan maksimal. Dari desain gawangan dan kursi yang diajukan, dimensi dan spesifikasi usulan dapat menyebabkan pekerja mengalami dua posisi kerja, yakni membatik dengan bersandar pada sandaran kursi usulan dan membungkuk sehingga dari pertimbangan tersebut digunakan variabel posisi tubuh pada saat membatik. Berikut adalah tabel konfigurasi yang akan disimulasikan :

Tabel 3.13 Rancangan Konfigurasi Aktivitas Kerja Membuatik

No	Konfigurasi	Persentil	Posisi tubuh	Kemiringan Sandaran Kursi (derajat)	Kemiringan Daerah Visual Field Pada Gawangan (derajat)	Ketinggian Alas Kompur
1	1A1	5	Membungkuk, Posisi Kaki Menekuk	Aktual	Aktual	Aktual
	1A2	95	Membungkuk, Posisi Kaki Menekuk	Aktual	Aktual	Aktual
	1B1	5	Membungkuk, Posisi Kaki Terjulang Lurus	Aktual	Aktual	Aktual
	1B2	95	Membungkuk, Posisi Kaki Terjulang Lurus	Aktual	Aktual	Aktual
2	2A1	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	30
	2A2	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	35
	2A3	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	40
	2B1	5	Membungkuk	100	30	30
	2B2	5	Membungkuk	100	30	35
	2B3	5	Membungkuk	100	30	40
3	3A1	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	30
	3A2	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	35
	3A3	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	40
	3B1	95	Membungkuk	100	30	30
	3B2	95	Membungkuk	100	30	35
	3B3	95	Membungkuk	100	30	40

BAB 4

ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis hasil pengolahan data yang telah diperoleh yakni berupa analisis nilai ergonomi *Static Strength Prediction* (SSP), *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Analysis System* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) dan kemudian akan dihitung nilai tunggal yang mengintegrasikan ketiga nilai LBA, RULA dan OWAS tersebut. Analisis dalam penelitian ini terdiri atas analisis kondisi aktual dan analisis model konfigurasi.

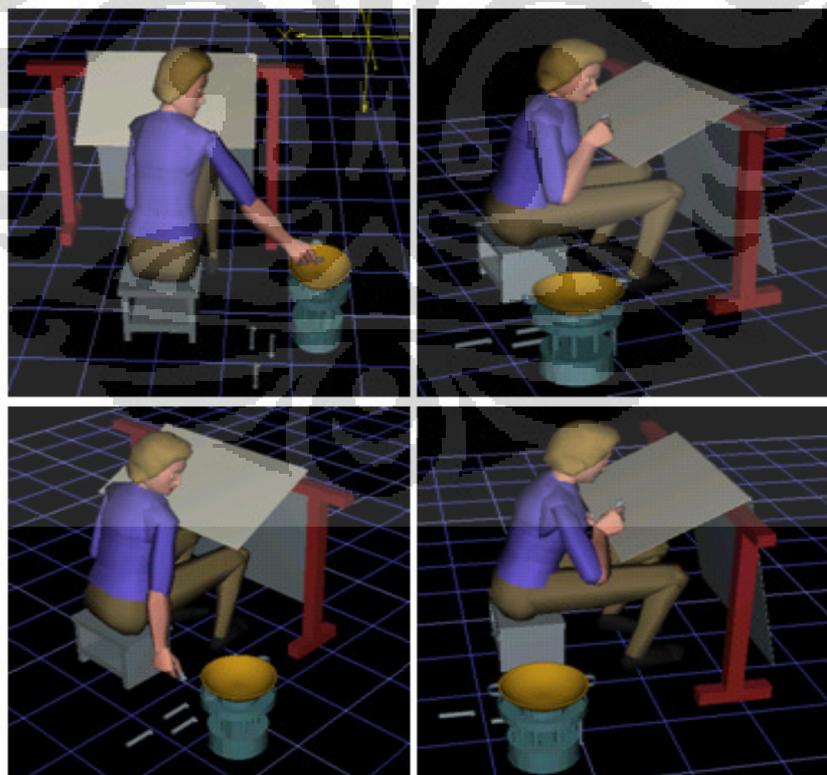
4.1 Analisis Kondisi Aktual

Analisis pada kondisi aktual diperlukan untuk mengetahui seberapa besar nilai postur kenyamanan pekerja yang berdampak pada keluhan fisik dan gangguan muskuloskeletal yang dirasakan pekerja. Kondisi pada model aktual diperoleh melalui pengukuran dan pengamatan langsung pada objek nyata. Melalui analisis ergonomi yang dihasilkan pada kondisi aktual ini selanjutnya dapat dijadikan perbandingan untuk melihat perbedaan antara kondisi postur kerja aktual dengan kondisi postur kerja hasil konfigurasi yang merupakan perubahan terhadap dimensi kursi, gawangan, ketinggian meja kompor dan penempatan alat kerja tersebut. Analisis kondisi aktual ini dilakukan pada dua kondisi kerja, yakni membatik dengan kedua kaki tertekuk dan membatik dengan kaki terjulur lurus. Sementara untuk masing-masing posisi dilakukan analisa pada dua aktivitas, yakni aktivitas mencanting yang merupakan aktivitas dominan pada rangkaian proses membatik dan aktivitas menjangkau yang terdiri dari beberapa aktivitas kerja.

4.1.1 Analisis Konfigurasi 1A1 dan Konfigurasi 1A2

Konfigurasi 1A1 dan 1A2 merupakan postur kerja mencanting dengan kedua kaki tertekuk dan tubuh membungkuk. Dalam konfigurasi 1A1, objek yang dianalisis adalah pekerja wanita dengan persentil 5. Sesuai dengan data

antropometri yang diperoleh, wanita dengan persentil 5 memiliki ukuran tinggi badan 152,21 cm dan berat badan 44,16 kg. Dalam konfigurasi 1A2, objek yang dianalisis adalah pekerja wanita dengan persentil 95. Sesuai dengan data antropometri yang diperoleh, wanita dengan persentil 95 memiliki ukuran tinggi badan 159,07 cm dan berat badan 59,29 kg. Posisi kerja yang dimodelkan pada kedua konfigurasi merupakan postur tunggal, yakni postur mencanting. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran langsung, pekerja dengan posisi kedua kaki tertekuk akan memijakkan telapak kaki pada lantai. Posisi ini akan lebih menegakkan batang tubuh dibandingkan pekerja dengan posisi kedua kaki terjulur lurus sehingga *trunk inclination* pada posisi ini dibuat lebih kecil dibandingkan posisi kerja dengan posisi kaki terjulur lurus. Pada kondisi aktual ini, kursi, gawangan dan jangkauan ke arah kompor merupakan dimensi dan kondisi sebenarnya tanpa perubahan atau modifikasi. Dimensi kursi, gawangan dan kompor yang disimulasikan merupakan dimensi rata-rata dari pengukuran data dimensi kursi, gawangan dan ketinggian kompor.



Gambar 4.1 Rangkaian Gerakan Konfigurasi 1A1 yang Disimulasikan untuk Dianalisis

Pada simulasi kondisi aktual, dilakukan simulasi terhadap rangkaian aktivitas kerja yakni terdiri dari gerakan mencanting, menjangkau cairan malam pada kompor, mengangkat cangting dari kompor kemudian meniup ujung cangting, mengarahkan cangting pada kain mori, mencanting kemudian menukarkan cangting dengan cangting jenis lainnya yang berada di lantai (**Gambar 4.1**)

4.1.1.1 Analisis Konfigurasi 1A1 dan 1A2-Postur Kerja Mencanting

Pada tahap awal analisis konfigurasi 1A1 dan 1A2 postur kerja mencanting ini, dilakukan analisis *static strength prediction*. Nilai SSP dalam model simulasi harus lebih besar dari 90%, untuk memastikan rangkaian kegiatan kerja dapat dilakukan oleh seluruh populasi pekerja yang memiliki umur, jenis kelamin dan tinggi badan yang berbeda. Hasil SSP untuk model konfigurasi 1A1 dan 1A2 postur kerja mencanting menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi pekerja memiliki kapabilitas untuk melakukan pekerjaan. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja mencanting *visible* untuk dilakukan sehingga analisis selanjutnya mengenai nilai LBA, OWAS, dan RULA dapat memberikan nilai yang valid.

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-1	--	36	9	100	-1	--	36	10	100
	Abduc/Adduc	-0	--	39	10	100	-0	--	31	8	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	0	--	37	12	100	-0	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	19	5	100
Trunk	Flex/Ext	-20	EXTEN	304	105	100					
	Lateral Bending	-1	--	119	27	100					
	Rotation	-0	--	53	16	100					
	Hip	-0	--	129	49	100	0	--	80	27	100
	Knee	0	--	87	30	100	0	--	91	31	100
	Ankle	0	--	106	29	100	0	--	106	29	100

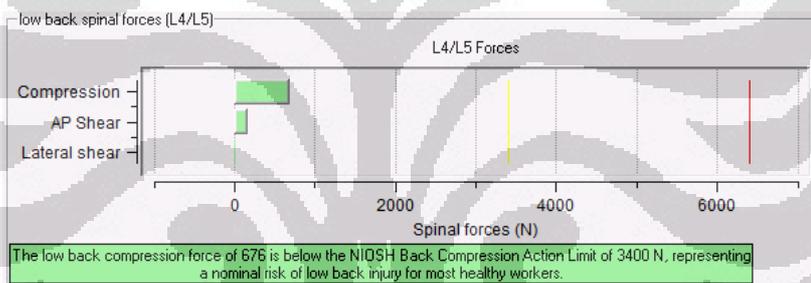
Gambar 4.2 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1 - Postur kerja Mencanting

Capability Summary Chart

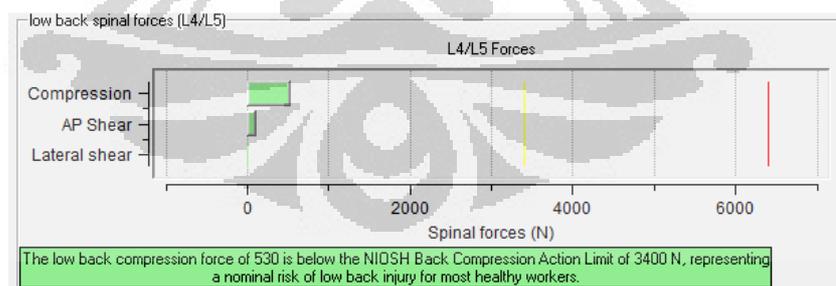
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	36	9	100	-1	--	36	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-0	--	39	10	100	-0	--	31	8	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	37	12	100	-0	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	19	5	100
Trunk	Flex/Ext	-20	EXTEN	304	105	100					
	Lateral Bending	-1	--	119	27	100					
	Rotation	-0	--	53	16	100					
	Hip	-0	--	129	49	100	0	--	80	27	100
	Knee	0	--	87	30	100	0	--	91	31	100
	Ankle	0	--	106	29	100	0	--	106	29	100

Gambar 4.3 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2 - Postur kerja Mencanting

Setelah dilakukan analisis SSP, dilakukan analisis Lower Back (LBA), mencanting dijalankan untuk mengetahui nilai *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Analysis System* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA).



Gambar 4.4 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1-Postur kerja Mencanting



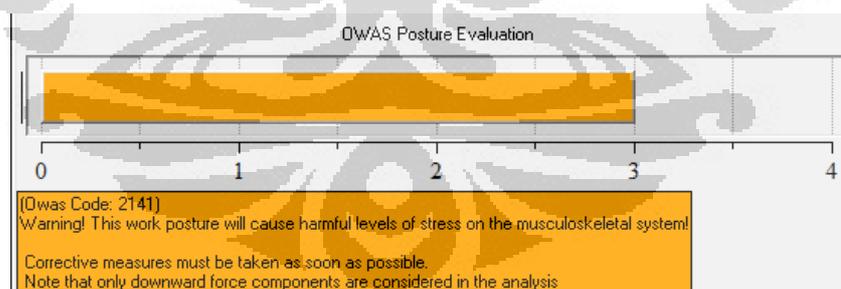
Gambar 4.5 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2-Postur kerja Mencanting

Berdasarkan *output* nilai LBA, pada konfigurasi 1A1, diketahui jika kompresi yang diterima oleh tulang belakang pekerja adalah sebesar 676 N. Sedangkan pada konfigurasi 1A2, nilai LBA adalah 530. Hal ini dikarenakan

batang tubuh pekerja cenderung membungkuk (*bending*) untuk meraih kain mori pada gawangan. Selain itu ukuran gawangan yang terkadang lebih rendah juga mengakibatkan posttur kerja lebih membungkuk. Kedua nilai LBA masih dapat diterima karena berada di bawah nilai 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*.

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai OWAS. Postur kerja mencanting dengan posisi kaki berpijak pada lantai persentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir OWAS 3 yang menandakan bahwa postur kerja tergolong *harmful* dan menyebabkan tekanan pada sistem muskuloskeletal sehingga tindakan perbaikan harus segera dilakukan. Detail kode OWAS pada postur kerja kedua konfigurasi 1A1 ini adalah 2141 yang menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 2 yaitu melakukan kegiatan membungkuk kedepan.
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model pekerja berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 4 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertekuk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.



Gambar 4.6 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1 dan 1A2- Postur Kerja Mencanting

Analisis selanjutnya adalah evaluasi hasil RULA. Analisis RULA yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam *output* RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tubuh yang dinamis yang terdiri

dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah dan pergelangan tangan. Gerakan mencanting merupakan kegiatan repetitif yang melibatkan ketiga bagian bagian tubuh tersebut. Sedangkan kelompok tubuh B terdiri atas bagian leher dan batang tubuh. Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada konfigurasi 1A1 ini adalah 6 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan secepat mungkin. Pada konfigurasi 1A2, Nilai RULA total yang dihasilkan juga 6 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan.

Tabel 4.1 Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1-Postur kerja Mencanting

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
	1	3	3	1	4	2
Group Score	4				6	
Grand Score	6					

Tabel 4.2 Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2-Postur Kerja Mencanting

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
	1	3	3	2	4	2
Group Score	4				6	
Grand Score	6					

Detail nilai masing – masing elemen RULA pada konfigurasi 1A1 diatas dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model pekerja sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0-20 derajat.

2. Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan ke arah kiri melewati diameter tubuh.

3. Pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model pekerja sebesar 3, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih dari 15 °.

4. Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model pekerja adalah 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi berada pada posisi tengah rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan.

5. Leher

Nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 4 yang berarti bahwa leher dalam kondisi ekstensi.

6. Batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk dalam jangkauan 0 hingga 20°.

Untuk detail nilai masing – masing elemen RULA pada konfigurasi 1A2 diatas adalah berikut:

1. Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model pekerja sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0-20°.

2. Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan ke arah kiri melewati diameter tubuh.

3. Pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model pekerja sebesar 3, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih dari 15 °.

4. Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model pekerja adalah 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan.

5. Leher

Nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 4 yang berarti bahwa leher dalam kondisi ekstensi.

6. Batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk dalam jangkauan 0 hingga 20°.

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari postur kerja dan juga resiko cedera yang mungkin ditimbulkan, maka nilai – nilai ergonomi LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk posisi kerja konfigurasi 1A1 menunjukkan nilai sebesar 2,166 sedangkan pada konfigurasi 1A2 menunjukkan nilai 2,123. Kedua nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada postur dan tempat kerja ini, dimana konfigurasi usulan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari kedua nilai tersebut untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

Tabel 4.3 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1-Postur Kerja Mencanting

Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1A1-Postur kerja Mencanting	676	3	6	2,166

Tabel 4.4 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2-Postur Kerja Mencanting

Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1A2-Postur kerja Mencanting	530	3	6	2,123

4.1.1.2 Analisis Konfigurasi 1A1 dan 1A2- Postur Kerja Menjangkau

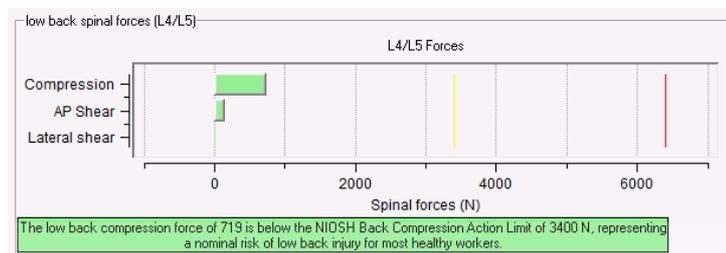
Hasil SSP untuk model konfigurasi 1A1 dan 1A2 postur kerja menjangkau menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi pekerja memiliki kapabilitas untuk melakukan pekerjaan. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja membuat *visible* untuk dilakukan sehingga analisis selanjutnya mengenai nilai LBA, OWAS, dan RULA dapat memberikan nilai yang valid.

Berdasarkan *output* nilai LBA pada kedua konfigurasi, diketahui jika kompresi yang diterima oleh tulang belakang pekerja yang paling ekstrim dari rangkaian kegiatan pada konfigurasi 1A1 adalah sebesar 719 N, yakni pada saat gerakan menjangkau cairan malam pada kompor. Pada konfigurasi 1A2, nilai kompresi yang diterima adalah 602. Hal ini dikarenakan batang tubuh pekerja cenderung membungkuk (*bending*) dan memutar (*twisting*) untuk dapat menjangkau kompor. Selain itu, pada postur kerja tersebut melibatkan pergerakan kepala-leher yang cenderung memutar dan menunduk. Nilai LBA tersebut berdasarkan standar NIOSH merupakan nilai yang masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*.

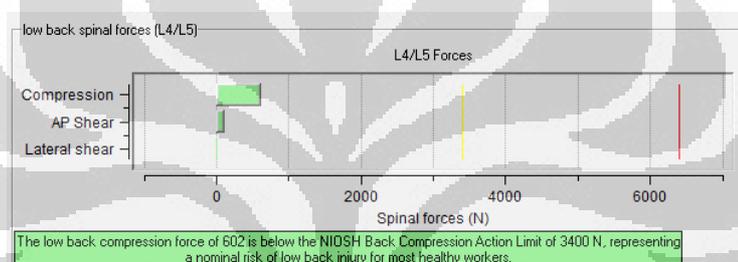
Langkah berikutnya adalah menghitung nilai OWAS. Postur kerja menjangkau yang paling ekstrim dengan posisi kaki berpijak pada lantai pada persentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama yaitu 4. Nilai ini menandakan bahwa postur kerja tergolong *harmful* dan menyebabkan tekanan pada sistem muskuloskeletal sehingga tindakan perbaikan harus segera dilakukan. Detail kode OWAS pada kedua postur kerja konfigurasi 1A1 adalah 4141. Detail nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 4 yaitu melakukan kegiatan membungkuk sembari dan memutar (*twist*).
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model pekerja berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 4 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertekuk.

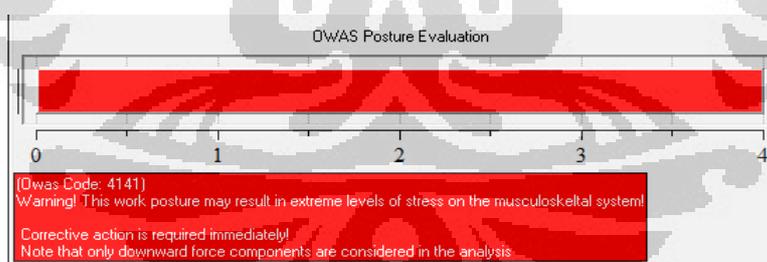
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.



Gambar 4.7 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1-Postur Kerja Menjangkau



Gambar 4.8 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2-Postur Kerja Menjangkau



Gambar 4.9 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1 dan 1A2-Postur Kerja Menjangkau

Analisis selanjutnya adalah evaluasi hasil RULA. Analisis RULA yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam *output* RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tubuh yang dinamis yang terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah dan pergelangan tangan. Gerakan

membatik merupakan kegiatan repetitif yang melibatkan ketiga bagian bagian tubuh tersebut. Sedangkan kelompok tubuh B terdiri atas bagian leher dan batang tubuh. Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada konfigurasi 1A1 ini adalah 6 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan secepat mungkin.

Tabel 4.5 Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1-Postur Kerja Menjangkau

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
	2	3	2	1	6	3
Group Score	5				9	
Grand Score	6					

Tabel 4.6 Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2-Postur Kerja Menjangkau

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
	1	3	3	2	6	3
Group Score	4				9	
Grand Score	6					

Detail nilai masing – masing elemen RULA diatas dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model pekerja sebesar 2, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 20-45°. Nilai evaluasi berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0-20°.

2. Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan ke arah kiri melewati diameter tubuh.

3. Pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model pekerja sebesar 2, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah $0 - 15^\circ$. Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model pekerja sebesar 3 menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah $>15^\circ$.

4. Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model pekerja adalah 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi berada pada posisi tengah rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan. Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan bernilai 2 menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan.

5. Leher

Nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 6 yang berarti bahwa leher dalam posisi menunduk lebih dari 20 derajat sembari membelok ke samping dan memutar.

6. Batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk 20-60 derajat.

Nilai maksimal PEI untuk posisi kerja ini menunjukkan nilai sebesar 2,428. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada postur dan tempat kerja ini, dimana konfigurasi usulan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 2,428 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

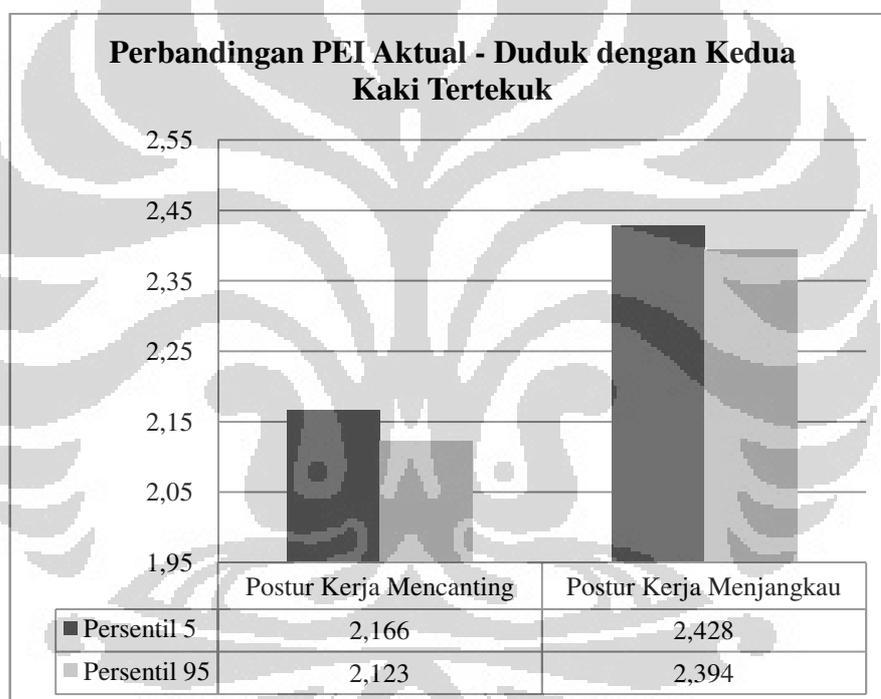
Tabel 4.7 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A1-Postur Kerja Menjangkau

Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1A1-Postur kerja Menjangkau	719	4	6	2,428

Tabel 4.8 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1A2-Postur Kerja Menjangkau

Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1A2-Postur kerja Menjangkau	602	4	6	2,394

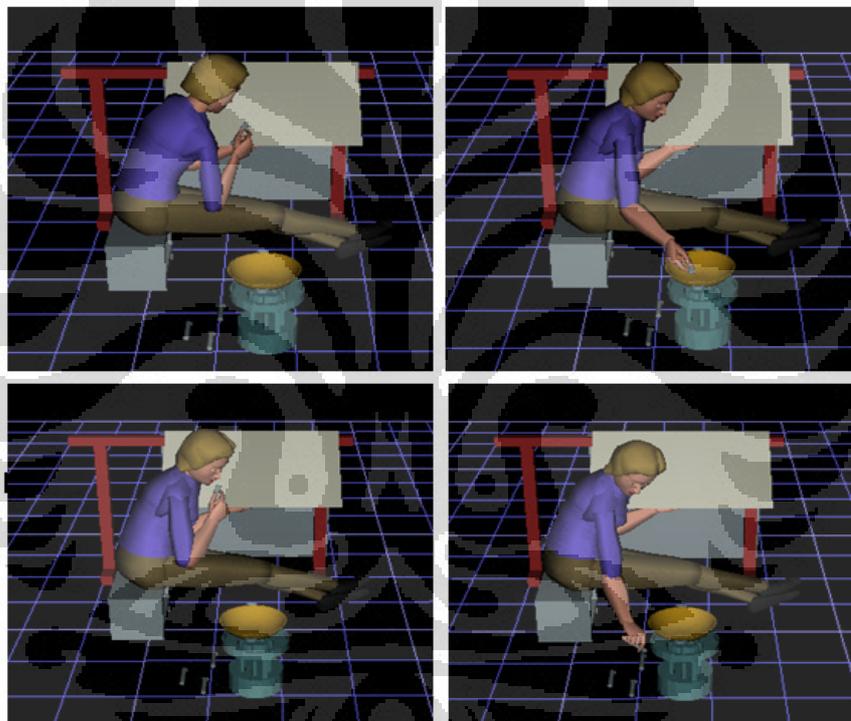
Setelah memodelkan seluruh konfigurasi pada posisi kerja membuat duduk dengan kaki tertekuk baik dalam aktivitas kerja mencanting pada kain mori maupun aktivitas menjangkau, berikut adalah perbandingan nilai PEI dari kedua aktivitas.

**Gambar 4.10** Perbandingan Nilai PEI Aktual Posisi Kerja Membuat dengan Kedua Kaki Tertekuk

4.1.2 Analisis Konfigurasi 1B1 dan Konfigurasi 1B2

Konfigurasi 1B1 dan 1B2 merupakan posisi membuat dengan kaki terjulur lurus dan tubuh membungkuk. Dalam konfigurasi 1B1, objek yang dianalisis adalah pekerja wanita dengan persentil 5. Sesuai dengan data antropometri yang diperoleh, wanita dengan persentil 5 memiliki ukuran tinggi badan 152,21 cm dan berat badan 44,16 kg. Dalam konfigurasi 1B2, objek yang dianalisis adalah pekerja wanita dengan persentil 95. Sesuai dengan data

antropometri yang diperoleh, wanita dengan persentil 95 memiliki ukuran tinggi badan 159,07 cm dan berat badan 59,29. Pada posisi ini, ditetapkan standar membungkuk 30 derajat. Penetapan ini berdasarkan pengamatan dan pengukuran langsung bahwa pekerja dengan posisi kaki terjulur lurus akan lebih membungkuk dibandingkan pekerja dengan posisi kaki menapak lantai. Selain itu, pada posisi ini pekerja cenderung melakukan *twist* (belokan) pada batang tubuh bagian atas karena posisi postur kerja yang menyamping terhadap posisi gawangan (**Gambar 4.11**) Pada kondisi aktual ini, kursi, gawangan dan jangkauan ke arah kompor merupakan dimensi sebenarnya tanpa perubahan atau modifikasi.



Gambar 4.11 Rangkaian Gerakan Konfigurasi 1B1 yang Disimulasikan untuk Dianalisis

Pada simulasi kondisi aktual, dilakukan simulasi terhadap rangkaian aktivitas kerja yakni terdiri dari gerakan mencanting, menjangkau cairan malam pada kompor, mengangkat cangkir dari kompor kemudian meniup ujung cangkir, mengarahkan cangkir pada kain mori, mencanting kemudian menukarkan cangkir dengan cangkir jenis lainnya yang berada di lantai (**Gambar 4.11**).

4.1.2.1 Analisis Konfigurasi 1B1 dan 1B2-Postur kerja Mencanting

Pada tahap awal analisis konfigurasi 1B1 dan 1B2 postur kerja mencanting ini, dilakukan analisis *static strength prediction*. Nilai SSP dalam model simulasi harus lebih besar dari 90%, untuk memastikan rangkaian kegiatan kerja dapat dilakukan oleh seluruh populasi pekerja yang memiliki umur, jenis kelamin dan tinggi badan yang berbeda. Hasil SSP untuk model konfigurasi 1B1 dan 1B2 postur kerja mencanting menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi pekerja memiliki kapabilitas untuk melakukan pekerjaan. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja mencanting *visible* untuk dilakukan sehingga analisis selanjutnya mengenai nilai LBA, OWAS, dan RULA dapat memberikan nilai yang valid.

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	35	9	100	-0	--	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	34	9	100	-2	ABDUCT	33	9	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	43	15	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	24	6	100
Trunk	Flex/Ext	-13	EXTEN	255	88	100					
	Lateral Bending	-9	RIGHT	83	19	100					
	Rotation	1	CCW	51	15	100					
	Hip	0	--	128	43	100	-0	--	116	44	100
	Knee	0	--	96	33	100	0	--	79	27	100
	Ankle	0	--	54	15	100	0	--	38	11	100

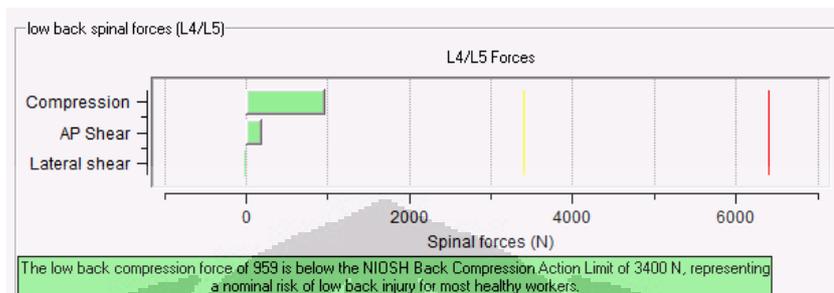
Gambar 4.12 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 - Postur Kerja Mencanting

Capability Summary Chart

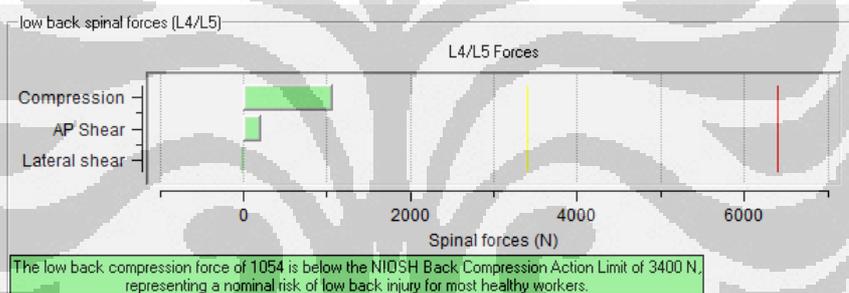
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	37	10	100	-1	FLEXN	38	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	1	--	39	15	100	-1	--	34	9	100
	Rotation Bk/Fd	1	--	40	13	100	-1	FORWARD	46	16	100
	Humeral Rot	0	--	25	9	100	0	--	25	9	100
Trunk	Flex/Ext	-43	EXTEN	289	100	99					
	Lateral Bending	7	LEFT	239	59	100					
	Rotation	3	CCW	66	20	100					
	Hip	-0	--	125	47	100	0	--	96	32	100
	Knee	0	--	97	33	100	0	--	80	28	100
	Ankle	0	--	54	15	100	0	--	38	11	100

Gambar 4.13 Persentase Kapabilitas Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2 - Postur Kerja Mencanting

Setelah dilakukan analisis SSP, dilakukan analisis *Lower Back (LBA)*, mencanting dijalankan untuk mengetahui nilai LBA, *Ovako Working Analysis System (OWAS)*, dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*.



Gambar 4.14 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1-Postur Kerja Mencanting



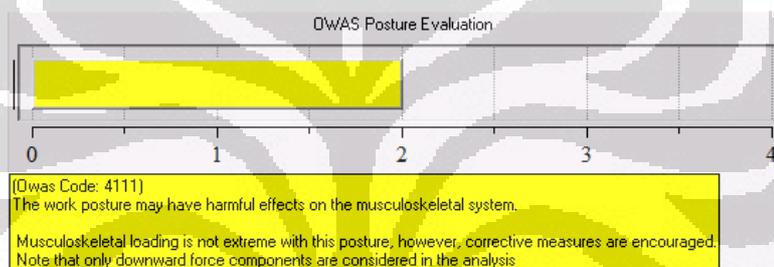
Gambar 4.15 Nilai LBA Untuk Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2-Postur Kerja Mencanting

Berdasarkan *output* nilai LBA, pada konfigurasi 1B1, diketahui jika kompresi yang diterima oleh tulang belakang pekerja adalah sebesar 959 N. Sedangkan pada konfigurasi 1A2, nilai LBA adalah 1054 N. Hal ini dikarenakan batang tubuh pekerja cenderung membungkuk (*bending*) untuk meraih kain mori pada gawangan. Selain itu ukuran gawangan yang terkadang lebih rendah juga mengakibatkan postur kerja lebih membungkuk. Kedua nilai LBA masih dapat diterima karena berada di bawah nilai 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*.

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai OWAS. Postur kerja mencanting dengan posisi kaki berpijak pada lantai persentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir OWAS 3 yang menandakan bahwa postur kerja

tergolong *harmful* dan menyebabkan tekanan pada sistem muskuloskeletal sehingga tindakan perbaikan harus segera dilakukan. Detail kode OWAS pada postur kerja kedua konfigurasi ini adalah 4111 yang menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 4 yaitu melakukan kegiatan membungkuk dan memutar.
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model pekerja berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.



Gambar 4.16 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur Kerja Mencanting

Analisis selanjutnya adalah evaluasi hasil RULA. Analisis RULA yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam *output* RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tubuh yang dinamis yang terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah dan pergelangan tangan. Gerakan mencanting merupakan kegiatan repetitif yang melibatkan ketiga bagian bagian tubuh tersebut. Sedangkan kelompok tubuh B terdiri atas bagian leher dan batang tubuh. Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada konfigurasi 1B1 dan 1B2 ini adalah 7 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan secepat mungkin.

Tabel 4.9 Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2-Postur Kerja Mencanting

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
	3	3	3	1	3	4
Group Score	5				6	
Grand Score	7					

Detail nilai masing – masing elemen RULA pada konfigurasi 1A1 diatas dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model pekerja sebesar 3, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45° - 90° .

2. Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan ke arah kiri melewati diameter tubuh.

3. Pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model pekerja sebesar 3, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih dari 15° .

4. Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model pekerja adalah 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi berada pada posisi tengah rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan.

5. Leher

Nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 3 yang berarti bahwa leher pada posisi lebih besar dari 20° .

6. Batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 4 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk dalam jangkauan lebih dari 60° .

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari postur kerja dan juga resiko cedera yang mungkin ditimbulkan,

maka nilai – nilai ergonomi LBA, OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk posisi kerja konfigurasi 1B1 menunjukkan nilai sebesar 2,202 sedangkan pada konfigurasi 1B2 menunjukkan nilai 2,23. Kedua nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada postur dan tempat kerja ini, dimana konfigurasi usulan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari kedua nilai tersebut untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

Tabel 4.10 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1-Postur Kerja Mencanting

Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1B1-Postur kerja Mencanting	959	2	7	2,202

Tabel 4.11 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2-Postur Kerja Mencanting

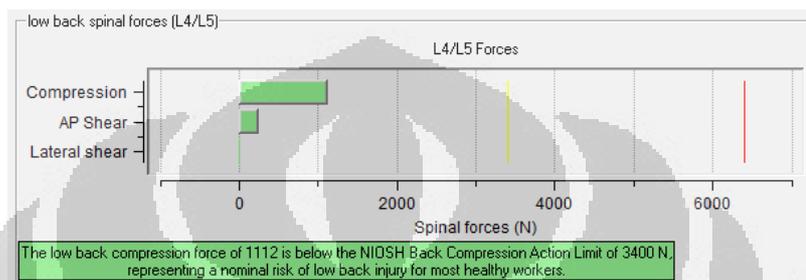
Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1B2-Postur kerja Mencanting	1054	2	7	2,230

4.1.2.2 Analisis Konfigurasi 1B1 dan 1B2-Postur kerja Menjangkau.

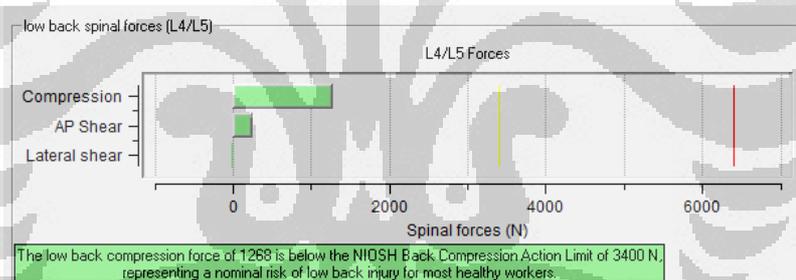
Hasil SSP untuk model konfigurasi 1B1 dan 1B2 postur kerja menjangkau menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi pekerja memiliki kapabilitas untuk melakukan pekerjaan. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja mencanting *visible* untuk dilakukan sehingga analisis selanjutnya mengenai nilai LBA, OWAS, dan RULA dapat memberikan nilai yang valid.

Berdasarkan *output* nilai LBA pada kedua konfigurasi, diketahui jika kompresi yang diterima oleh tulang belakang pekerja yang paling ekstrim dari rangkaian kegiatan pada konfigurasi 1B1 adalah sebesar 1112 N, yakni pada saat gerakan menjangkau cairan malam pada kompor. Pada konfigurasi 1B2, nilai kompresi yang diterima adalah 1268 N. Hal ini dikarenakan batang tubuh pekerja

cenderung membungkuk (*bending*) dan memutar (*twisting*) untuk dapat menjangkau kompor. Selain itu, pada psotur kerja tersebut melibatkan pergerakan kepala-leher yang cenderung memutar dan menunduk. Nilai LBA tersebut berdasarkan standar NIOSH merupakan nilai yang masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*.



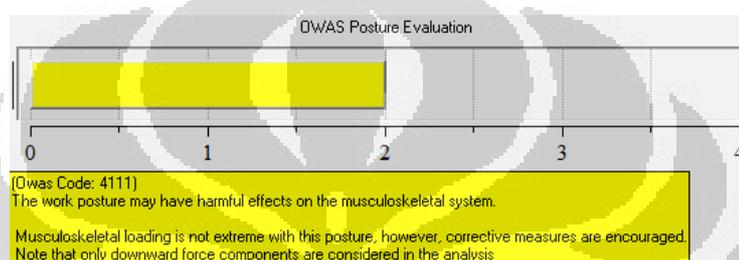
Gambar 4.17 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1-Postur Kerja Menjangkau



Gambar 4.18 Nilai LBA Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2-Postur Kerja Menjangkau

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai OWAS. Postur kerja menjangkau yang paling ekstrim dengan posisi kaki berpijak pada lantai persentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama 4 yang menandakan bahwa postur kerja tergolong *harmful* dan menyebabkan tekanan pada sistem muskuloskeletal sehingga tindakan perbaikan harus segera dilakukan. Detail kode OWAS pada kedua postur kerja konfigurasi 1A1 adalah 4111. Detail nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 4 yaitu melakukan kegiatan membungkuk sembari dan memutar (twist).
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model pekerja berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.



Gambar 4.19 Nilai OWAS Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2- Postur Kerja Menjangkau

Analisis selanjutnya adalah evaluasi hasil RULA. Analisis RULA yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam *output* RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tubuh yang dinamis yang terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah dan pergelangan tangan. Gerakan membatik merupakan kegiatan repetitif yang melibatkan ketiga bagian bagian tubuh tersebut. Sedangkan kelompok tubuh B terdiri atas bagian leher dan batang tubuh. Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada kedua konfigurasi ini adalah 7 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan secepat mungkin.

Tabel 4.12 Nilai RULA Pekerja Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1 dan 1B2-Postur Kerja Menjangkau

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
	3	3	2	1	3	4
Group Score	5				6	
Grand Score	7					

Detail nilai masing – masing elemen RULA diatas adalah sebagai berikut:

1. Lengan atas
Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model pekerja sebesar 3, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90°.
2. Lengan bawah
Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan ke arah kiri melewati diameter tubuh.
3. Pergelangan tangan
Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model pekerja sebesar 3 menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah >15°.
4. Perputaran pergelangan tangan
Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model pekerja adalah 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi berada pada posisi tengah rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan.
5. Leher
Nilai evalusi RULA untuk leher adalah 3 yang berarti bahwa leher pada posisi lebih besar dari 20°.
6. Batang tubuh
Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 4 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk dalam jangkauan lebih dari 60°.

Nilai PEI untuk posisi kerja konfigurasi 1B1 menunjukkan nilai sebesar 2,247 sedangkan pada konfigurasi 1B2 menunjukkan nilai 2,93. Kedua nilai nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada postur dan tempat

kerja ini, dimana konfigurasi usulan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari kedua nilai tersebut untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah

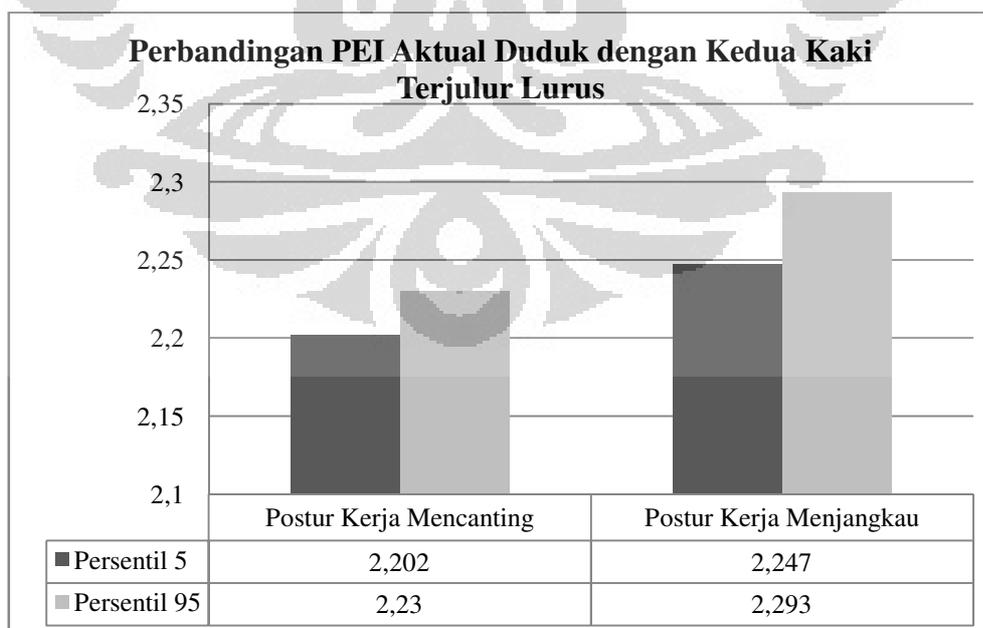
Tabel 4.13 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B1-Postur kerja Menjangkau

Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1B1-Postur Kerja Menjangkau	1112	2	7	2,247

Tabel 4.14 Nilai PEI Kondisi Aktual Konfigurasi 1B2-Posisi Menjangkau

Posisi Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1B2-Postur Kerja Menjangkau	1268	2	7	2,293

Setelah memodelkan seluruh konfigurasi pada posisi kerja membuat duduk dengan kaki terjulur lurus baik dalam aktivitas kerja membuat pada kain mori maupun aktivitas menjangkau, berikut adalah perbandingan nilai PEI dari kedua aktivitas.



Gambar 4.20 Perbandingan Nilai PEI Aktual Aktivitas Kerja Membuat dengan Kedua Kaki Terjulur Lurus

4.2 Analisis Konfigurasi Usulan

Setelah melakukan analisis terhadap kondisi ergonomi pekerja yang aktual, selanjutnya akan dilakukan analisis terhadap kondisi ergonomi dan postur kerja pada masing-masing konfigurasi usulan. Dalam memperbaiki kondisi aktual, beberapa konfigurasi model usulan dibuat untuk mencari postur kerja yang lebih baik dari yang ada saat ini. Hasil dari PEI dari setiap konfigurasi akan menjadi parameter dalam perbandingan setiap konfigurasi yang ada, sehingga dapat ditentukan konfigurasi yang paling optimum.

Berdasarkan nilai ergonomi yang dihasilkan pada kondisi aktual aktivitas mencanting, didapatkan bahwa kondisi jauh dari ergonomis. Permasalahan ini disebabkan oleh beberapa faktor, yakni :

1. Ukuran dan bentuk kursi

Bentuk kursi yang berupa “dingklik” dengan ketinggian sekitar 20 cm menyebabkan pekerja secara alamiah menekuk ataupun menjulurkan kedua kaki. Bentuk dan kursi yang tidak sesuai dengan dengan ukuran antropometri pengguna dapat menyebabkan ketidaknyamanan, terutama untuk pekerjaan dengan posisi kerja duduk dalam waktu yang lama karena dapat mengakibatkan terjadinya *flexion* pada ruas-ruas batang tubuh.

2. Ketinggian Gawangan

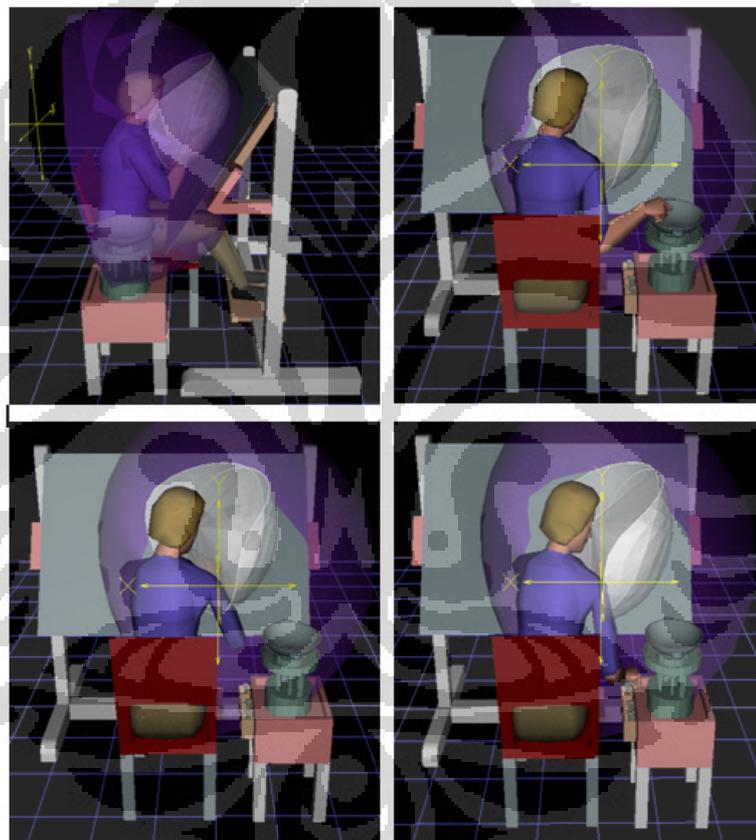
Gawangan yang saat ini digunakan memiliki ukuran tinggi yang bervariasi. Gawangan dengan tinggi di bawah *sitting height* berpotensi menyebabkan pengguna secara alami membungkukkan batang tubuhnya ataupun memposisikan sudut angkat lengan yang lebih besar untuk meraih kain mori.

3. Postur Kerja

Dalam melakukan aktivitas membatik, berkaitan dengan interaksi pekerja dengan kursi dan gawangan usulan yang digunakan, akan berpengaruh terhadap postur yang dibentuk. Sebagai contoh penggunaan kursi usulan menyebabkan pekerja memiliki pilihan postur bersandar pada kursi atau membungkuk.

Seperti pada operasi kerja kondisi aktual, pada simulasi konfigurasi usulan ini aktivitas membatik ini analisis dilakukan pada postur kerja yang terbentuk akibat aktivitas mencanting dan menjangkau. Aktivitas mencanting

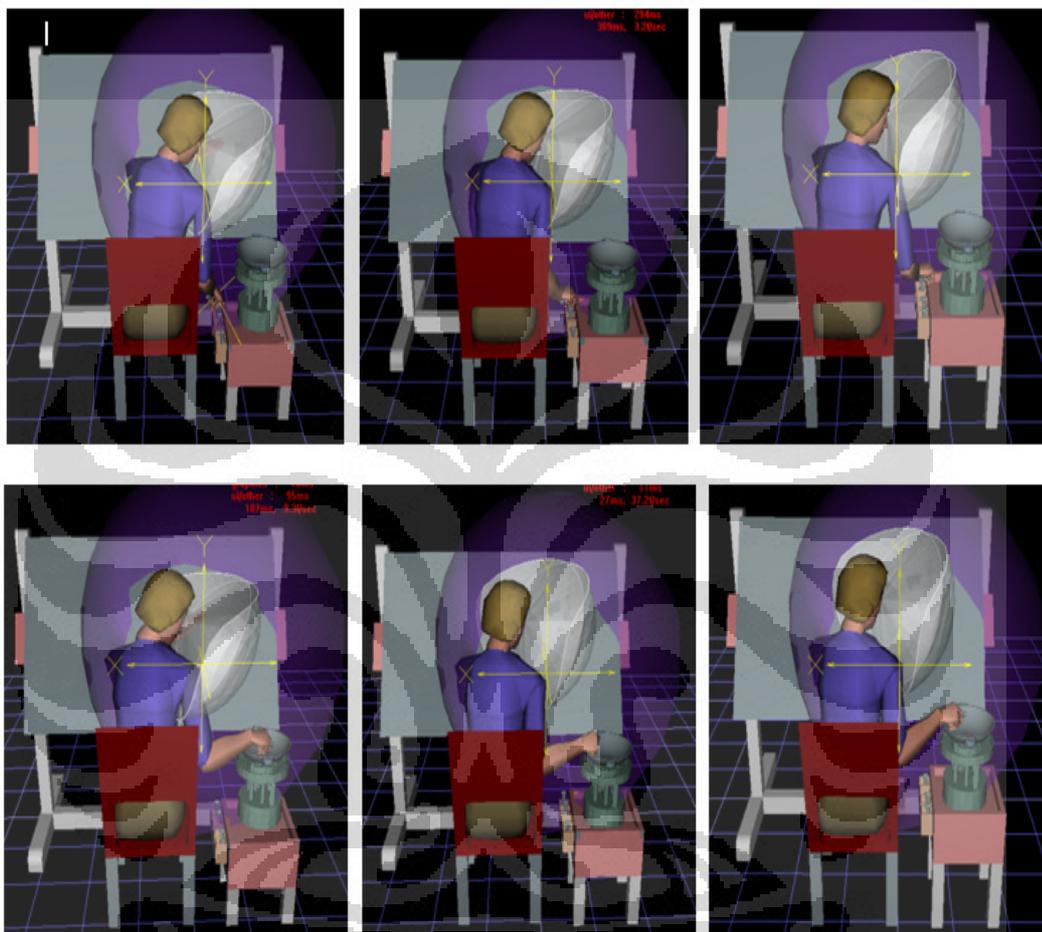
merupakan aktivitas menorehkan cairan “malam” dengan menggunakan cangking pada kain mori. Aktivitas ini merupakan aktivitas utama yang dilakukan oleh pengrajin batik dari keseluruhan rangkaian aktivitas kerja. Aktivitas menjangkau sendiri terdiri dari beberapa aktivitas kerja, yakni menjangkau cairan malam pada kompor, mengangkat cangking dari kompor kemudian meniup ujung cangking, mengarahkan cangking pada kain mori, membatik kemudian menukarkan cangking dengan cangking jenis lainnya yang berada di lantai. Aktivitas menjangkau ini berkaitan dengan peletakan cangking dan kompor yang digunakan.



Gambar 4.21 Rangkaian Gerakan Konfigurasi Usulan yang Disimulasikan untuk Dianalisis

Pada konfigurasi usulan ini, digunakan kursi yang telah didesain sesuai data antropometri pekerja. Gawangan yang digunakan pada konfigurasi usulan aktivitas mencangking merupakan desain gawangan usulan dengan ketinggian sesuai data antropometri pekerja, dan telah dimodifikasi dengan penambahan area visual field pada gawangan. Perubahan ketinggian kursi yang digunakan

mempengaruhi kemampuan pekerja untuk menjangkau cairan “malam” pada wajan yang berada di atas kompor sehingga perlu dilakukan konfigurasi terhadap ketinggian meja kompor yang digunakan. Pengaruh perbedaan ketinggian meja kompor yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 4.22**.

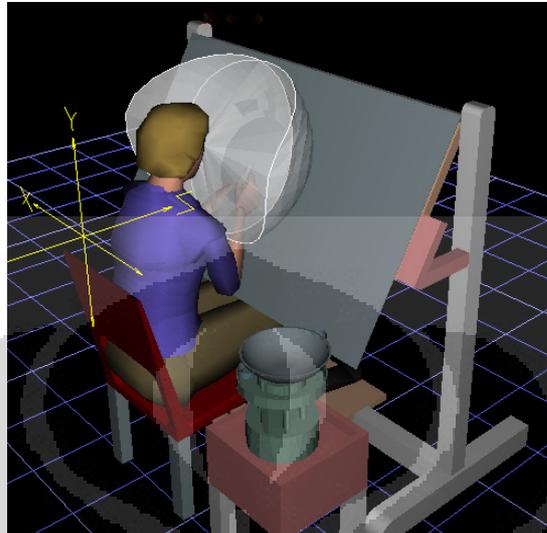


Gambar 4.22 Pengaruh Ketinggian Meja Kompor Terhadap Postur Kerja

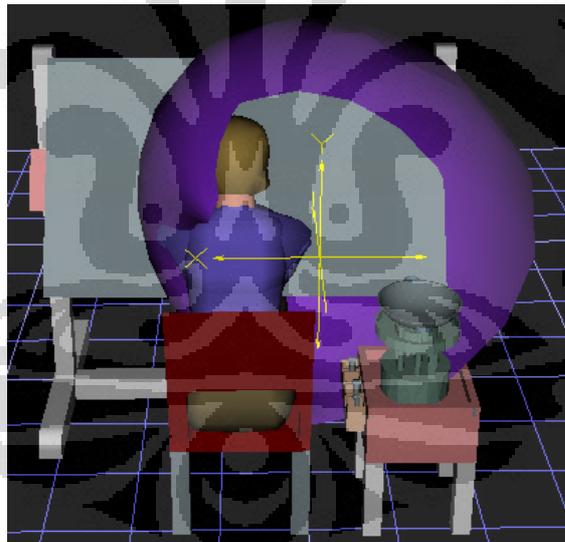
Sebelum menjalankan simulasi konfigurasi, dibuat beberapa ketentuan sebagai berikut :

1. Model manusia *virtual* dibuat agar memiliki jarak pandang mata ke daerah *visual field* pada gawangan sebesar 30 cm (**Gambar 4.23**).
2. Penentuan daerah jangkauan dibuat melalui fungsi *reach zone* yang terdapat pada *software* Jack 6.1 dengan pertimbangan zona kerja dibuat berdasarkan jangkauan maksimum ujung jari tangan. Penentuan jangkauan maksimum ini berkaitan dengan peletakan meja kompor yang

sesuai, yakni masih berada pada jarak jangkauan maksimum tangan pekerja (**Gambar 4.23**).



Gambar 4.23 *Visual Field* pada *Virtual Human*



Gambar 4.24 *Reach Zone* Pada *Virtual Human*

3. Jarak kursi-gawangan ditentukan berdasarkan perhitungan panjang *forward legroom* pekerja dalam kondisi duduk (rumus 2.5) dengan asumsi bahwa sudut *forward leg* membentuk sudut 120 derajat serta tinggi *popliteal* menggunakan data antropometri pekerja dengan persentil 50. Persentil 50 digunakan dengan pertimbangan agar manusia dengan

persentil terendah dan terbesar masih dapat menjulurkan kakinya dengan nyaman. Untuk *foot length* dan *seat height* menggunakan data kursi usulan. Dari perhitungan, diperoleh nilai *forward legroom* adalah 77,4 cm. Setelah nilai tersebut dikurangi lebar kursi serta lebar *footrest*, maka diperoleh jarak kursi-gawangan sebesar 15,4 cm.

4.2.1 Analisis Konfigurasi Membatik dengan Posisi Bersandar

Pada analisis posisi kerja bersandar ini, terdapat enam konfigurasi, yaitu konfigurasi 2A1, 2A2, 2A3, 3A1, 3A2 dan 3A3. Model manusia virtual yang dibuat merupakan wanita dengan persentil 5 dan 95. Model manusia dibuat sedemikian rupa agar memiliki jarak pandang mata ke daerah *visual field* pada gawangan sebesar 30 cm.

Pada tahap awal analisis konfigurasi aktivitas mencanting dengan postur kerja bersandar, dilakuakn analisis *Static Stregth Prediction* (SSP). Hasil SSP untuk model konfigurasi ini menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi pekerja memiliki kapabilitas untuk melakukan pekerjaan. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja membatik *visible* untuk dilakukan sehingga analisis selanjutnya mengenai nilai LBA, OWAS, dan RULA dapat memberikan nilai yang valid. Selanjutnya, setelah dilakukan analisis SSP pada keempat konfigurasi usulan yang telah dimodelkan pada aktivitas mencanting, kemudian keempat postur tersebut dianalisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* untuk memperoleh nilai ergonomi dari postur kerja yang dialami akibat aktivitas kerja yang dilakukan.

4.2.1.1 Analisis Konfigurasi Membatik dengan Posisi Bersandar-Postur Kerja Mencanting

Pada postur kerja mencanting, postur kerja terbentuk dari interaksi pekerja yang menggunakan kursi dengan ketinggian yang telah disesuaikan dengan kaidah ergonomi serta data antropometri terhadap gawanga yang juga telah didesain sesuai data antropometri pekerja. Dari enam konfigurasi pada aktivitas membatik dengan posisi bersandar, konfigurasi postur kerja mencanting

hanya melibatkan variabel ukuran kursi dan gawangan. Dalam konfigurasi usulan, variabel kursi dan gawangan yang digunakan adalah sama sehingga nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA yang diperoleh akan sama untuk masing-masing variabel persentil. Berikut adalah hasil rekapitulasi perbandingan pada aktivitas kerja mencanting dengan posisi bersandar pada persentil 5 dan 95.

Dari *output low back analysis* yang dihasilkan pada simulasi pada *software* Jack (**Tabel 4.15**) diperoleh nilai LBA yang berbeda untuk setiap persentil. nilai LBA tertinggi dialami oleh model manusia virtual persentil 95 dengan nilai 348 N. Sementara pekerja dengan persentil 5 memiliki nilai LBA 298 N. Nilai beban kompresi pada LBA keenam konfigurasi tersebut masih berada pada batas aman dan dapat diterima oleh pekerja karena masih berada dibawah nilai standar dari NIOSH sebesar 3400N.

Tabel 4.15 Rekapitulasi Aktivitas Mencanting dengan Posisi Bersandar

Konfigurasi	Persentil	SSP >90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
2A1	5	Ya	298	2	4	1,399
2A2	5	Ya				
2A3	5	Ya				
3A1	95	Ya	348	2	4	1,414
3A2	95	Ya				
3A3	95	Ya				

Dari nilai LBA yang diperoleh pekerja dengan persentil 95 menerima beban kompresi yang lebih tinggi dan hal ini berarti pekerja dengan persentil 95 mengalami ketidaknyaman yang lebih tinggi pada kondisi batang tubuh bersandar pada sandaran kursi dibandingkan pekerja dengan persentil 5. Pada aktivitas ini, posisi kerja yang bersandar pada sandaran kursi dengan kemiringan 100 derajat akan memaksa leher untuk menyesuaikan posisinya agar jarak pandangan mata dengan permukaan kain mori berada pada jarak pandangan 30 cm. Posisi ini pasti akan menyebabkan perubahan *neck-head angle*. Dari simulasi yang dilakukan, untuk membuat jarak pandang mata masih 30 cm dan pandangan jatuh pada area *visual field* yang telah dibuat pada gawangan, maka posisi *neck-head angle*

berubah menjadi 10 derajat ke arah bawah sehingga hal ini menyebabkan beban yang diterima ruas-ruas leher semakin besar.

Untuk nilai OWAS, pada keenam model konfigurasi memiliki kode OWAS yang sama, yaitu 2. Namun detail kode OWAS pada konfigurasi persentil 5 dan 95 berbeda. Untuk persentil memiliki kode OWAS 2211. Nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 2 yaitu kondisi batang tubuh dalam membungkuk ke arah depan atau belakang. Posisi ini berkaitan dengan penyesuaian sudut batang tubuh terhadap sudut sandaran. Sudut sandaran pada kursi usulan adalah 100 derajat sehingga menyebabkan pekerja mengalami trunk inclination sebesar 10 derajat ke arah belakang.
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 2 salah satu tangan model pekerja berada di atas bahu. Posisi ini berkaitan dengan sudut angkat tangan kiri model pekerja persentil 5 yang memposisikan tangan kiri sebagai penyangga kain mori yang dibatik.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.

Sementara itu, untuk persentil 95, memiliki kode OWAS 2111. Nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 2 yaitu kondisi batang tubuh dalam membungkuk ke arah depan atau belakang. Posisi ini berkaitan dengan penyesuaian sudut batang tubuh terhadap sudut sandaran. Sudut sandaran pada kursi usulan adalah 100 derajat sehingga menyebabkan pekerja mengalami trunk inclination sebesar 10 derajat ke arah belakang.
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 1 posisi tangan model pekerja berada pada kondisi normal. Nilai ini lebih kecil dari pekerja dengang persentil 5 karena pekerja dengan persentil 95 tidak perlu menaikkan sudut lengan kiri untuk mencapai daerah *visual field* pada gawangan.

3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.

Berdasarkan hasil analisis RULA, Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada konfigurasi ini adalah sama yakni 4, namun nilai penyusun yang dimiliki kedua persentil tersebut berbeda-beda sebagai berikut Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi masih dalam batas toleransi, namun selanjutnya masih diperlukan investigasi lanjutan untuk menyelidiki perbaikan lain yang mungkin untuk dilakukan.

Tabel 4.16 Rekapitulasi Skor RULA Aktivitas Mencanting dengan Posisi Bersandar

Score		Konfigurasi					
Score		2A1	2A2	2A3	3A1	3A2	3A3
Group A	upper arm	2			2		
	lower arm	2			3		
	wrist	1			2		
	wrist twist	1			1		
	total	4			5		
Group B	neck	1			2		
	trunk	2			1		
	total	2			3		
TOTAL SCORE		4			4		

Dari hasil perbandingan perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 2A1, 2A2 dan 2A3 merupakan konfigurasi yang lebih baik untuk aktivitas kerja mencanting dengan posisi bersandar. Nilai PEI untuk konfigurasi 2A1, 2A2, dan 2A3 adalah 1,399, sementara nilai PEI untuk konfigurasi 3A1, 3A2, dan 3A3 adalah 1,414. Hal ini berarti konfigurasi 2A1, 2A2 dan 2A3 tersebut dapat memberikan kenyamanan dan nilai ergonomi yang lebih baik dibandingkan konfigurasi lainnya dalam posisi dan aktivitas kerja yang sama.

4.2.1.2 Analisis Konfigurasi Membatik dengan Posisi Bersandar-Postur Kerja Menjangkau

Pada analisis postur kerja menjangkau, postur kerja yang terbentuk melibatkan variabel lain selain variabel ukuran kursi dan gawangan. Seperti sebelumnya telah dijelaskan, aktivitas menjangkau terdiri beberapa aktivitas lain seperti menjangkau cairan “malam”, meniup canting yang berisi cairan malam yang baru diambil, serta aktivitas menjangkau canting jenis lain. Salah satu perubahan desain kursi dan gawangan yang telah dilakukan adalah variabel ketinggian. Kondisi ini menyebabkan perlunya penyesuaian ketinggian meja kompor yang nantinya digunakan. Sehingga pada aktivitas menjangkau ini termasuk di dalamnya adalah konfigurasi yang melibatkan variabel ketinggian meja kompor. Dari rangkaian aktivitas yang disimulasikan, akan menghasilkan variasi nilai LBA, OWAS dan RULA sehingga pada aktivitas menjangkau ini ditetapkan bahwa nilai LBA, OWAS dan RULA diperoleh berdasarkan aktivitas kerja yang paling ekstrim. Berikut adalah hasil rekapitulasi perbandingan pada aktivitas kerja menjangkau dengan posisi bersandar pada persentil 5 dan 95.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Aktivitas Menjangkau dengan Posisi Bersandar

Konfigurasi	Persentil	SSP>90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
2A1	5	Ya	344	2	6	1,818
2A2	5	Ya	336	2	6	1,816
2A3	5	Ya	332	2	6	1,815
3A1	95	Ya	420	2	6	1,841
3A2	95	Ya	376	2	6	1,828
3A3	95	Ya	380	2	6	1,829

Dari *output low back analysis* yang dihasilkan pada simulasi pada *software* Jack, diperoleh nilai LBA yang berbeda untuk setiap persentil. Nilai LBA tertinggi dialami oleh model konfigurasi 3A1 dengan nilai 420 N. Sementara nilai LBA terendah dialami oleh model konfigurasi 2A3 dengan nilai 332 N. Nilai beban kompresi pada LBA keenam konfigurasi tersebut masih berada pada batas aman dan dapat diterima oleh pekerja karena masih berada dibawah nilai standar dari NIOSH sebesar 3400N. Dari **Tabel 4.17**, terlihat jika nilai LBA yang diperoleh pekerja dengan persentil 95 menerima beban kompresi yang lebih tinggi

dan hal ini berarti pekerja dengan persentil 95 mengalami ketidaknyaman yang lebih tinggi pada kondisi batang tubuh bersandar pada sandaran kursi dibandingkan pekerja dengan persentil 5.

Untuk nilai OWAS, pada keenam model konfigurasi memiliki kode OWAS yang sama, yaitu 2. Namun, detail kode OWAS pada setiap konfigurasi berbeda-beda. Untuk konfigurasi 2A1, 2A2 dan 2A3 memiliki kode OWAS 2211. Nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 2 yaitu kondisi batang tubuh dalam membungkuk ke arah depan atau belakang. Posisi ini berkaitan dengan penyesuaian sudut batang tubuh terhadap sudut sandaran. Sudut sandaran pada kursi usulan adalah 100 derajat sehingga menyebabkan pekerja mengalami trunk inclination sebesar 10 derajat ke arah belakang.
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 2 salah satu tangan model pekerja berada di atas bahu. Posisi ini berkaitan dengan sudut angkat tangan kiri model pekerja persentil 5 yang memposisikan tangan kiri sebagai penyangga kain mori yang dibatik.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram. Sementara itu, untuk konfigurasi 3A1, 3A2 dan 3A3, memiliki detail kode OWAS 2111. Nilai ini menunjukkan bahwa :
 1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 2 yaitu kondisi batang tubuh dalam membungkuk ke arah depan atau belakang. Posisi ini berkaitan dengan penyesuaian sudut batang tubuh terhadap sudut sandaran. Sudut sandaran pada kursi usulan adalah 100 derajat sehingga menyebabkan pekerja mengalami trunk inclination sebesar 10 derajat ke arah belakang.
 2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 1 posisi tangan model pekerja berada pada kondisi normal. Nilai ini lebih kecil dari pekerja dengang persentil 5 karena pekerja dengan persentil 95 tidak perlu menaikkan sudut lengan kiri untuk mencapai daerah *visual field* pada gawangan.

3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.

Berdasarkan hasil analisis RULA, Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada konfigurasi ini adalah sama yakni 4, namun nilai penyusun yang dimiliki kedua persentil tersebut berbeda-beda sebagai berikut :

Tabel 4.18 Rekapitulasi Skor RULA Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Bersandar

Score		Konfigurasi					
Score		2A1	2A2	2A3	3A1	3A2	3A3
Group A	upper arm	1	3	3	2	2	2
	lower arm	2	2	2	2	2	2
	wrist	3	1	1	3	3	3
	wrist twist	1	2	2	2	2	2
	total	3	4	4	5	5	5
Group B	neck	5	5	5	5	4	4
	trunk	1	1	1	1	1	1
	total	7	7	7	8	6	6
TOTAL SCORE		6	6	6	6	6	6

Nilai total 6 yang diperoleh pada keenam konfigurasi menunjukkan bahwa dibutuhkan investigasi lebih lanjut karena beresiko menyebabkan terjadinya gangguan muskuloskeletal. Selain itu, upaya penentuan perbaikan lainnya yang harus dilakukan.

Dari hasil perbandingan perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 2A3, merupakan konfigurasi yang paling baik untuk aktivitas kerja menjangkau dengan posisi bersandar pada persentil pekerja 5 dengan nilai PEI 1,815. Namun nilai PEI konfigurasi 2A2 tidak jauh berbeda dengan nilai konfigurasi 2A3 yang memiliki nilai PEI 1,816 sehingga kedua konfigurasi ini merupakan konfigurasi terbaik. Sedangkan untuk persentil 95, konfigurasi 3A2 dan 3A3 merupakan konfigurasi yang paling baik untuk aktivitas kerja menjangkau dengan

nilai PEI yang tidak jauh berbeda yakni 1,828 untuk konfigurasi 3A2 dan 1,829 untuk konfigurasi 3A3.

4.2.2 Analisis Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk

Pada analisis posisi kerja membungkuk ini, terdapat enam konfigurasi, yaitu konfigurasi 2B1, 2B2, 2B3, 3B1, 3B2 dan 3B3. Model manusia virtual yang dibuat merupakan wanita dengan persentil 5 dan 95. Model manusia dibuat sedemikian rupa agar memiliki jarak pandang mata ke daerah *visual field* pada gawangan sebesar 30 cm.

Pada tahap awal analisis konfigurasi aktivitas mencanting dengan postur kerja membungkuk, dilakukn analisis *Static Stregth Prediction* (SSP). Hasil SSP untuk model konfigurasi ini menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi pekerja memiliki kapabilitas untuk melakukan pekerjaan. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja membuat *visible* untuk dilakukan sehingga analisis selanjutnya mengenai nilai LBA, OWAS, dan RULA dapat memberikan nilai yang valid. Selanjutnya, setelah dilakukan analisis SSP pada keempat konfigurasi usulan yang telah dimodelkan pada aktivitas mencanting, kemudian keempat postur tersebut dianalisis menggunakan *Task Analysis Toolkit* untuk memperoleh nilai ergonomi dari postur kerja yang dialami akibat aktivitas kerja yang dilakukan.

4.2.2.1 Analisis Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk-Postur Kerja Mencanting

Pada postur kerja mencanting, postur kerja terbentuk dari interaksi pekerja yang menggunakan kursi dengan ketinggian yang telah disesuaikan dengan kaidah ergonomi serta data antropometri terhadap gawanga yang juga telah didesain sesuai data antropometri pekerja. Dari enam konfigurasi pada aktivitas membuat dengan posisi membungkuk, konfigurasi postur kerja mencanting hanya melibatkan variabel ukuran kursi dan gawangan. Dalam konfigurasi usulan, variabel kursi dan gawangan yang digunakan adalah sama sehingga nilai-nilai LBA, OWAS, dan RULA yang diperoleh akan sama untuk

masing-masing variabel persentil. Berikut adalah hasil rekapitulasi perbandingan pada aktivitas kerja mencanting dengan posisi bersandar pada persentil 5 dan 95.

Tabel 4.19 Rekapitulasi Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Membungkuk

Konfigurasi	Persentil	SSP>90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
2B1	5	Ya	348	1	4	1,164
2B2	5	Ya				
2B3	5	Ya				
3B1	95	Ya	506	1	4	1,210
3B2	95	Ya				
3B3	95	Ya				

Dari *output low back analysis* yang dihasilkan pada simulasi pada *software* Jack, diperoleh nilai LBA yang berbeda untuk setiap persentil. nilai LBA tertinggi dialami oleh model manusia virtual persentil 95 dengan nilai 506 N. Sementara pekerja dengan persentil 5 memiliki nilai LBA 348 N. Nilai beban kompresi pada LBA keenam konfigurasi tersebut masih berada pada batas aman dan dapat diterima oleh pekerja karena masih berada dibawah nilai standar dari NIOSH sebesar 3400N. Dari nilai LBA yang diperoleh pekerja dengan persentil 95 menerima beban kompresi yang lebih tinggi dan hal ini berarti pekerja dengan persentil 95 mengalami ketidaknyaman yang lebih tinggi pada kondisi batang membungkuk dengan persentil 5. Pada postur kerja membungkuk, besar *trunk inclination* yang di manipulasi pada *virtual human* menyesuaikan agar jarak pandangan mata dengan permukaan kain mori berada pada jarak pandang 30 cm.

Untuk nilai OWAS, pada keenam model konfigurasi memiliki kode OWAS yang sama, yaitu 1. Detail kode OWAS pada konfigurasi persentil 5 dan 95 pun sama yakni 1311. Nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 1 yaitu kondisi batang tubuh masih dalam posisi normal.
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 3 yang berarti kedua posisi tangan model pekerja berada di atas bahu. Hal ini berkaitan dengan postur kerja membungkuk yang menyebabkan pekerja harus menaikkan kedua

tangan nya hingga di atas bahu untuk mencapai daerah visual field pada gawangan.

3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.

Berdasarkan hasil analisis RULA, Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada konfigurasi ini adalah sama yakni 4, namun nilai penyusun yang dimiliki kedua persentil tersebut berbeda-beda sebagai berikut :

Tabel 4.20 Rekapitulasi Skor RULA Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Membungkuk

Score		Konfigurasi				
		2B1	2B2	2B3	3b1	3B2
Group A	upper arm	2			2	
	lower arm	3			3	
	wrist	2			2	
	wrist twist	1			1	
	total	4			4	
Group B	neck	1			2	
	trunk	2			1	
	total	2			3	
TOTAL SCORE		4			4	

Nilai total 4 yang diperoleh pada keenam konfigurasi menunjukkan bahwa konfigurasi masih dalam batas toleransi, namun selanjutnya masih diperlukan investigasi lanjutan untuk menyelidiki perbaikan lain yang mungkin untuk dilakukan.

Dari hasil perbandingan perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 2B1, 2B2, dan 2B3 merupakan konfigurasi yang lebih baik untuk aktivitas kerja mencanting dengan posisi bersandar. Nilai PEI untuk konfigurasi 2B1, 2B2, dan 2B3 adalah 1,164, sementara nilai PEI untuk konfigurasi 3B1, 3B2, dan 3B3

adalah 1,210. Hal ini berarti konfigurasi 2B1, 2B2, dan 2B3 dapat memberikan kenyamanan dan nilai ergonomi yang lebih baik dibandingkan konfigurasi lainnya dalam posisi dan aktivitas kerja yang sama.

4.2.2.2 Analisis Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk-Postur Kerja

Menjangkau

Sementara itu, pada analisis aktivitas menjangkau, postur kerja yang terbentuk melibatkan variabel lain selain variabel ukuran kursi dan gawangan. Seperti sebelumnya telah dijelaskan, aktivitas menjangkau terdiri beberapa aktivitas lain seperti menjangkau cairan “malam”, meniup canting yang berisi cairan malam yang baru diambil, serta aktivitas menjangkau canting jenis lain. Salah satu perubahan desain kursi dan gawangan yang telah dilakukan adalah variabel ketinggian. Kondisi ini menyebabkan perlunya penyesuaian ketinggian meja kompor yang nantinya digunakan. Sehingga pada aktivitas menjangkau ini termasuk di dalamnya adalah konfigurasi yang melibatkan variabel ketinggian meja kompor. Dari rangkaian aktivitas yang disimulasikan, akan menghasilkan variasi nilai LBA, OWAS dan RULA sehingga pada aktivitas menjangkau ini ditetapkan bahwa nilai LBA, OWAS dan RULA diperoleh berdasarkan aktivitas kerja yang paling ekstrim. Berikut adalah hasil rekapitulasi perbandingan pada aktivitas kerja menjangkau dengan posisi bersandar pada persentil 5 dan 95.

Tabel 4.21 Rekapitulasi Postur Kerja Menjangkau dengan Posisi Membungkuk

Konfigurasi	Persentil	SSP>90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
2B1	5	Ya	655	2	4	1,504
2B2	5	Ya	682	2	4	1,512
2B3	5	Ya	579	2	4	1,482
3B1	95	Ya	876	2	5	1,772
3B2	95	Ya	761	2	4	1,536
3B3	95	Ya	769	2	4	1,538

Dari *output low back analysis* yang dihasilkan pada simulasi pada *software* Jack, diperoleh nilai LBA yang berbeda untuk setiap persentil. Nilai LBA tertinggi dialami oleh model konfigurasi 3B1 dengan nilai 876 N. Sementara nilai LBA terendah dialami oleh model konfigurasi 2B3 dengan nilai 579 N. Nilai

beban kompresi pada LBA keenam konfigurasi tersebut masih berda pada batas aman dan dapat diterima oleh pekerja karena masih berada dibawah nilai standar dari NIOSH sebesar 3400 N. Dari **Tabel 4.21**, terlihat jika nilai LBA yang diperoleh pekerja dengan persentil 95 menerima beban kompresi yang lebih tinggi dan hal ini berarti pekerja dengan persentil 95 mengalami ketidaknyaman yang lebih tinggi pada kondisi batang tubuh bersandar pada sandaran kursi dibandingkan pekerja dengan persentil 5.

Untuk nilai OWAS, pada keenam model konfigurasi memiliki kode OWAS yang sama, yaitu 2. Namun, detail kode OWAS pada setiap konfigurasi berbeda-beda. Untuk konfigurasi 2B1, 2B2 dan 2B3 memiliki kode OWAS 3311. Nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 3 yaitu kondisi batang tubuh dalam membungkuk ke arah depan atau belakang sembari membelok (twisting). Posisi ini berkaitan dengan posisi menjangkau yang membuat pekerja harus membelokkan batang tubuh untuk menjangkau tepat pada objek
2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 3 yaitu posisi kedua tangan model pekerja berada di atas bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram. Sementara itu, untuk konfigurasi 3B1, 3B2 dan 3B3, memiliki detail kode OWAS 3211. Nilai ini menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh pekerja dalam kategori 3 yaitu kondisi batang tubuh dalam membungkuk ke arah depan atau belakang sembari membelok (twisting). Posisi ini berkaitan dengan posisi menjangkau yang membuat pekerja harus membelokkan batang tubuh untuk menjangkau tepat pada objek Bagian tangan model pekerja dalam kategori 1 posisi tangan model pekerja berada pada kondisi normal. Nilai ini lebih kecil dari pekerja dengang persentil 5 karena pekerja dengan persentil 95 tidak perlu

menaikkan sudut lengan kiri untuk mencapai daerah *visual field* pada gawangan.

2. Bagian tangan model pekerja dalam kategori 2 yaitu posisi salah satu tangan model pekerja berada di atas bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model pekerja termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh model pekerja tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 100 gram.

Berdasarkan hasil analisis RULA, Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur kerja pada konfigurasi ini adalah sama yakni 4, namun nilai penyusun yang dimiliki kedua persentil tersebut berbeda-beda sebagai berikut :

Tabel 4.22 Rekapitulasi Skor RULA Postur Kerja Mencanting dengan Posisi Membungkuk

Score		Konfigurasi					
Score		2B1	2B2	2B3	3B1	3B2	3b3
Group A	upper arm	3	3	3	4	3	2
	lower arm	3	2	2	2	3	3
	wrist	2	2	2	2	3	3
	wrist twist	2	2	2	2	2	2
	total	4	4	4	4	5	4
Group B	neck	3	3	3	4	3	3
	trunk	3	3	3	2	2	3
	total	4	4	4	5	3	4
TOTAL SCORE		4	4	4	5	4	4

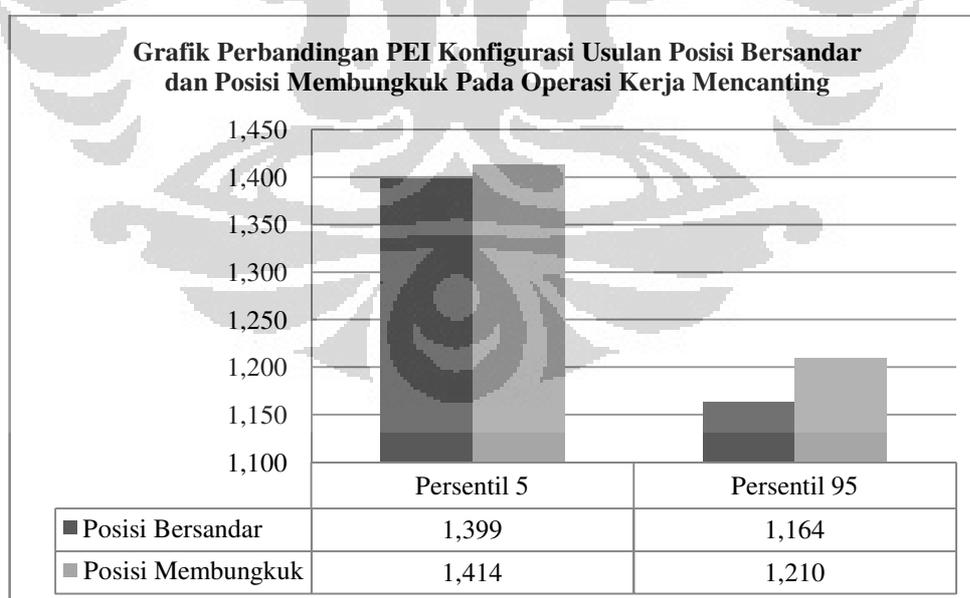
Nilai RULA tertinggi adalah pada konfigurasi 3B1 dengan nilai total 5, sementara untuk kelima konfigurasi lainnya memiliki total nilai RULA yang sama, yakni 4. Nilai ini menunjukkan jika postur kerja masih berada pada nilai yang dapat ditoleransi namun postur kerja ini masih memungkinkan untuk diinvestigasi lebih lanjut guna memperoleh postur kerja yang lebih baik.

Dari hasil perbandingan perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 2B3, merupakan konfigurasi yang paling baik untuk aktivitas kerja menjangkau

dengan posisi bersandar pada persentil pekerja 5 dengan nilai PEI 1,482. Sedangkan untuk persentil 95, konfigurasi 3A2 dan 3A3 merupakan konfigurasi yang paling baik untuk aktivitas kerja menjangkau karena keduanya memiliki nilai PEI yang tidak jauh berbeda, yakni 1,536 untuk konfigurasi 3A2 dan 1,538 untuk konfigurasi 3A3..

4.2.3 Perbandingan Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk

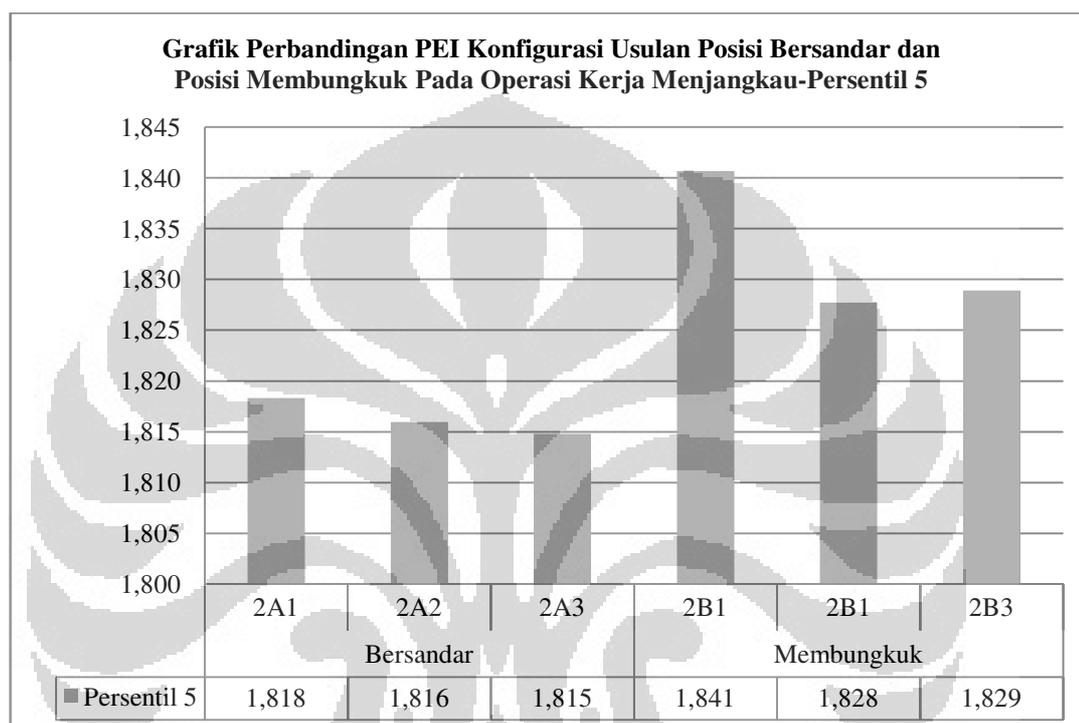
Setelah dilakukan analisis terhadap dua posisi kerja, yakni posisi kerja bersandar pada sandaran kursi usulan dan posisi kerja membungkuk, selanjutnya akan dibandingkan seberapa jauh perbedaan kondisi ergonomi yang terjadi pada dua posisi tersebut yang telah dilakukan. Perbandingan posisi kerja ini dilakukan pada operasi kerja mencanting dan menjangkau. Parameter perbandingan yang digunakan adalah nilai PEI yang dihasilkan pada masing-masing kondisi. Dari nilai PEI yang dihasilkan, dapat diketahui posisi yang lebih memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pekerja. Berikut adalah grafik perbandingan nilai PEI posisi kerja bersandar terhadap posisi kerja membungkuk.



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan PEI Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk

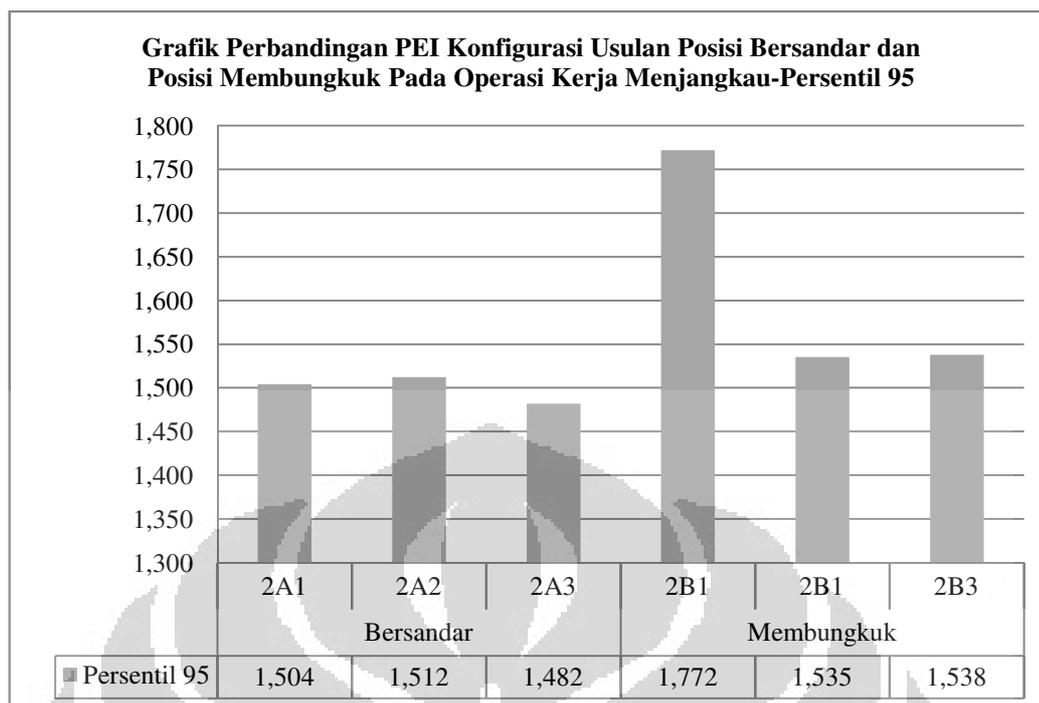
Dari **Gambar 4.25** diketahui bahwa pada operasi kerja mencanting, pekerja dengan posisi bersandar, baik pada persentil 5 maupun 95 memberikan nilai ergonomi yang lebih tinggi dibandingkan posisi membungkuk.

Kemudian untuk operasi kerja menjangkau, berikut adalah grafik perbandingan nilai PEI posisi kerja bersandar terhadap posisi kerja membungkuk.



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan PEI Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk Pada Operasi Kerja Menjangkau-Persentil 5

Dari **Gambar 4.26** diketahui bahwa pada operasi menjangkau, pekerja dengan posisi membungkuk memberikan nilai ergonomi yang lebih tinggi dibandingkan posisi bersandar. Dari **Gambar 4.27** juga diketahui bahwa posisi kerja membungkuk ini juga memberikan nilai ergonomi yang lebih tinggi dibandingkan posisi bersandar.



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan PEI Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar dan Posisi Membungkuk Pada Operasi Kerja Menjangkau-Persentil 95

4.3 Perbandingan Konfigurasi Aktual dengan Konfigurasi Usulan

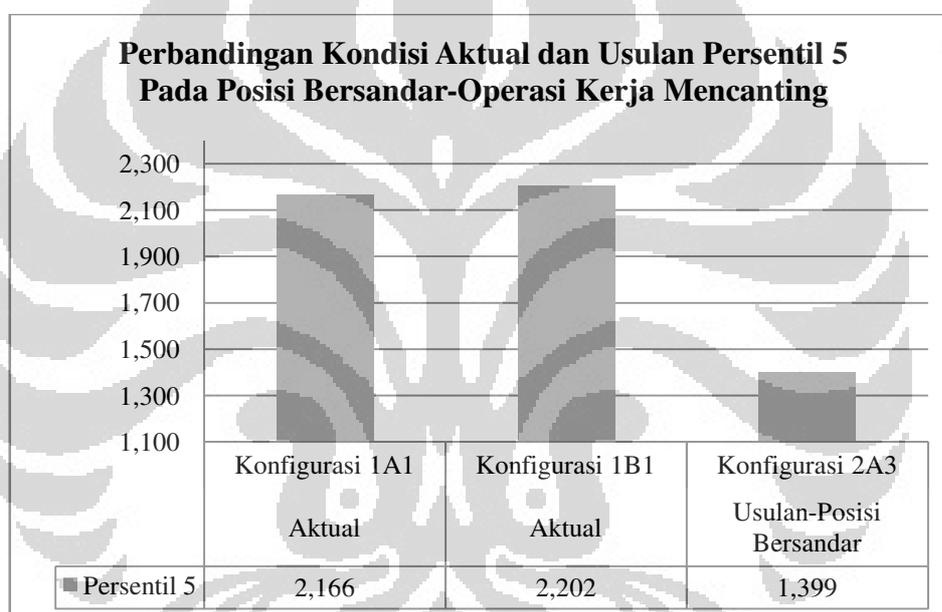
Untuk mengetahui sejauh mana konfigurasi usulan dapat memberikan perbaikan terhadap postur kerja secara keseluruhan dilakukan perbandingan kondisi aktual terhadap konfigurasi usulan. Perbandingan posisi kerja ini dilakukan pada posisi usulan bersandar dan membungkuk dengan operasi kerja mencanting dan menjangkau serta persentil di masing-masing posisi tersebut. Parameter perbandingan yang digunakan adalah nilai PEI yang dihasilkan pada masing-masing kondisi. Dari nilai PEI yang dihasilkan, dapat diketahui posisi yang lebih memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pekerja.

4.3.1 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Pada Operasi Kerja Mencanting

4.3.1.1 Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar-Persentil 5 dan 95

Pada operasi kerja mencanting, perbandingan kondisi usulan terhadap kondisi aktual mengalami perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI maksimum kondisi aktual adalah 2,166 untuk persentil 5 dan 2,123 untuk persentil 95.

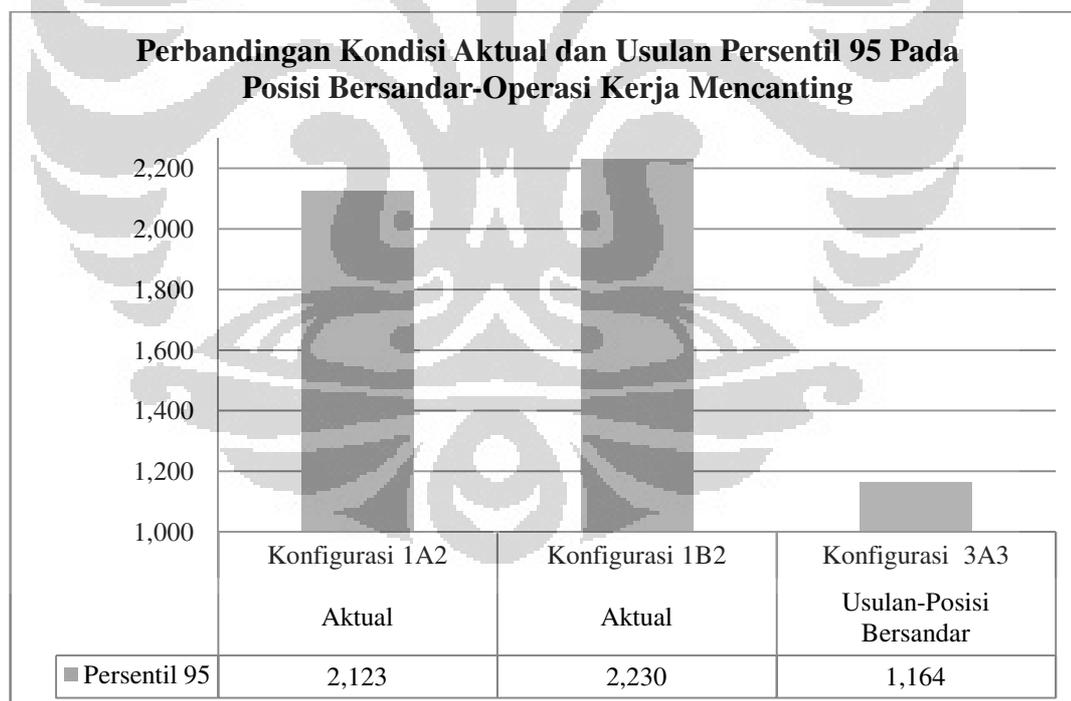
Dengan konfigurasi usulan, maka nilai PEI kedua nilai tersebut menjadi 1,399 untuk persentil 5 dan 1,164 untuk persentil 95. Nilai tersebut dicapai setelah pada konfigurasi usulan digunakan kursi yang sesuai dengan data antropometri pekerja serta pertimbangan ergonomi lainnya untuk mendesain suatu kursi yang memberikan kenyamanan bagi pekerja. Selain kursi, perancangan gawangan yang disesuaikan dengan data antropometri pekerja serta modifikasi pembuatan daerah *visual field* pada gawangan juga menjadi alasan kenaikan nilai ergonomi pada postur kerja mencanting ini. Grafik perbandingan nilai PEI antara kondisi aktual dan konfigurasi usulan dapat dilihat pada **Gambar 4.28** dan **Gambar 4.29**



Gambar 4.28 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Bersandar-Operasi Kerja Mencanting

Perubahan nilai PEI terjadi karena perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, dan RULA. Apabila skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi dibandingkan dan mengalami penurunan maka dapat ditentukan bahwa terdapat perbaikan terhadap kondisi kerja. Pada konfigurasi usulan ini, dari **Tabel 4.23** dan **Tabel 4.24** terlihat bahwa terjadi penurunan LBA dari nilai LBA maksimal pada kondisi aktual, yakni penurunan dari 959 N menjadi 298 N pada pekerja dengan persentil 5 dan penurunana dari nilai 1054 N menjadi 348 N pada persentil 95. Pada nilai OWAS

persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka terjadi penurunan nilai OWAS dari 3 menjadi 2 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B1, nilai OWAS adalah sama namun detail penyusun nilai OWAS diantaranya berbeda. Pada persentil 95, konfigurasi usulan menyebabkan penurunan nilai OWAS pada kedua nilai OWAS kondisi aktual yakni penurunan dari nilai OWAS 3 menjadi 1 untuk kondisi aktual 1A2 dan dari nilai OWAS 2 menjadi 1 pada kondisi aktual 1B2. Untuk nilai RULA, pada nilai RULA persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka terjadi penurunan nilai RULA dari 6 menjadi 4 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B1, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 4. Sedangkan pada nilai RULA persentil 95, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A2 maka terjadi penurunan nilai RULA dari 6 menjadi 4 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B2, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 4. Perbandingan tersebut nilai –nilai tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.23** dan **Tabel 4.24**



Gambar 4.29 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Bersandar-Operasi Kerja Mencanting

Tabel 4.23 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 5-Operasi Kerja Mencanting

Persentil 5	Aktual		Usulan-Posisi Bersandar
	1A1	1B1	
LBA	676	959	298
OWAS	3	2	2
RULA	6	7	4

Tabel 4.24 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 95-Operasi Kerja Mencanting

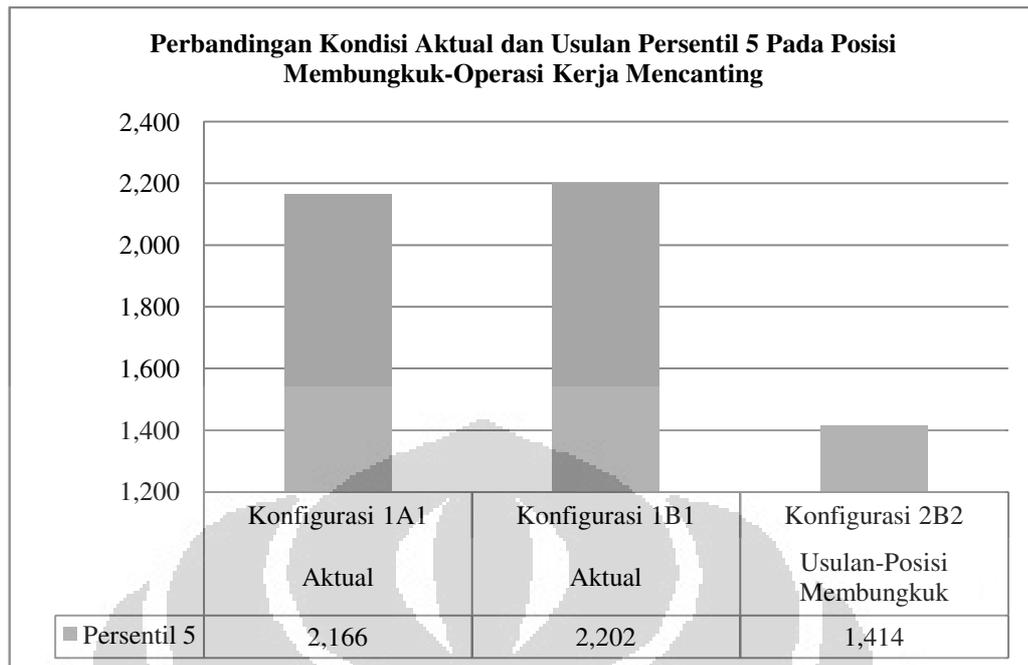
Persentil 95	Aktual		Usulan-Posisi Bersandar
	1A2	1B2	
LBA	530	1054	348
OWAS	3	2	1
RULA	6	7	4

4.3.1.2 Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk-Persentil 5 dan 95

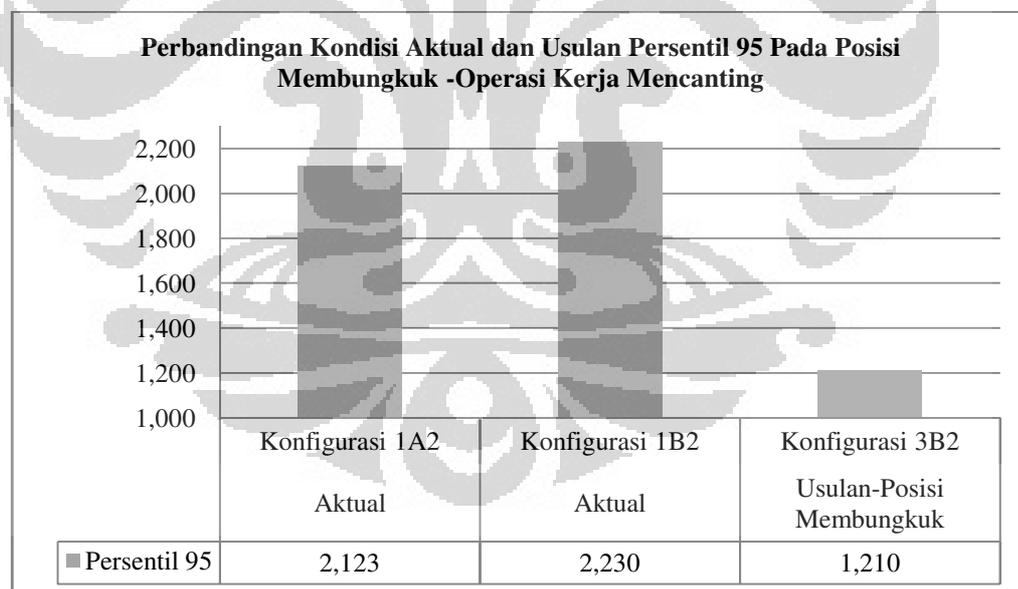
Pada operasi kerja mencanting, perbandingan kondisi usulan terhadap kondisi aktual mengalami perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI maksimum kondisi aktual adalah 2,429 untuk persentil 5 dan 2,394 untuk persentil 95. Dengan konfigurasi usulan, maka nilai PEI kedua nilai tersebut menjadi 1,815 untuk persentil 5 dan 1,482 untuk persentil 95. Nilai tersebut dicapai setelah pada konfigurasi usulan digunakan kursi yang sesuai dengan data antropometri pekerja serta pertimbangan ergonomi lainnya untuk mendesain suatu kursi yang memberikan kenyamanan bagi pekerja. Selain kursi, perancangan gawangan yang disesuaikan dengan data antropometri pekerja serta modifikasi pembuatan daerah *visual field* pada gawangan juga menjadi alasan kenaikan nilai ergonomi pada postur kerja mencanting ini. Grafik perbandingan nilai PEI antara kondisi aktual dan konfigurasi usulan dapat dilihat pada **Gambar 4.30** dan **Gambar 4.31**.

Perubahan nilai PEI terjadi karena perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, dan RULA. Apabila skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada

kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi dibandingkan dan mengalami penurunan maka dapat ditentukan bahwa terdapat perbaikan terhadap kondisi kerja. Pada konfigurasi usulan ini, dari **Tabel 4.25** dan **Tabel 4.26** terlihat bahwa terjadi penurunan LBA dari nilai LBA maksimal pada kondisi aktual, yakni penurunan dari 959 N menjadi 348 N pada pekerja dengan persentil 5 dan penurunana dari nilai 1054 N menjadi 506 N pada persentil 95. Pada nilai OWAS persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka terjadi penurunan nilai OWAS dari 3 menjadi 2 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B1, nilai OWAS adalah sama namun detail penyusun nilai OWAS keduanya berbeda. Pada persentil 95, konfigurasi usulan menyebabkan penurunan nilai OWAS pada kedua nilai OWAS kondisi aktual yakni penurunan dari nilai OWAS 3 menjadi 1 untuk kondisi aktual 1A2 dan dari nilai OWAS 2 menjadi 1 pada kondisi aktual 1B2. . Untuk nilai RULA, pada nilai RULA persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka terjadi penurunan nilai RULA dari 6 menjadi 4 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B1, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 4. Sedangkan pada nilai RULA persentil 95, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A2 maka terjadi penurunan nilai RULA dari 6 menjadi 4 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B2, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 4. Perbandingan tesebut nilai –nilai tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.25**.dan **Tabel 4.26**



Gambar 4.30 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Mencanting



Gambar 4.31 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 95 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Mencanting

Tabel 4.25 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 5-Operasi Kerja Mencanting

Persentil 5	Aktual		Usulan-Posisi Membungkuk
	1A1	1B1	
LBA	676	959	348
OWAS	3	2	2
RULA	6	7	4

Tabel 4.26 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 95-Operasi Kerja Mencanting

Persentil 95	Aktual		Usulan-Posisi Membungkuk
	1A2	1B2	
LBA	530	1054	506
OWAS	3	2	1
RULA	6	7	4

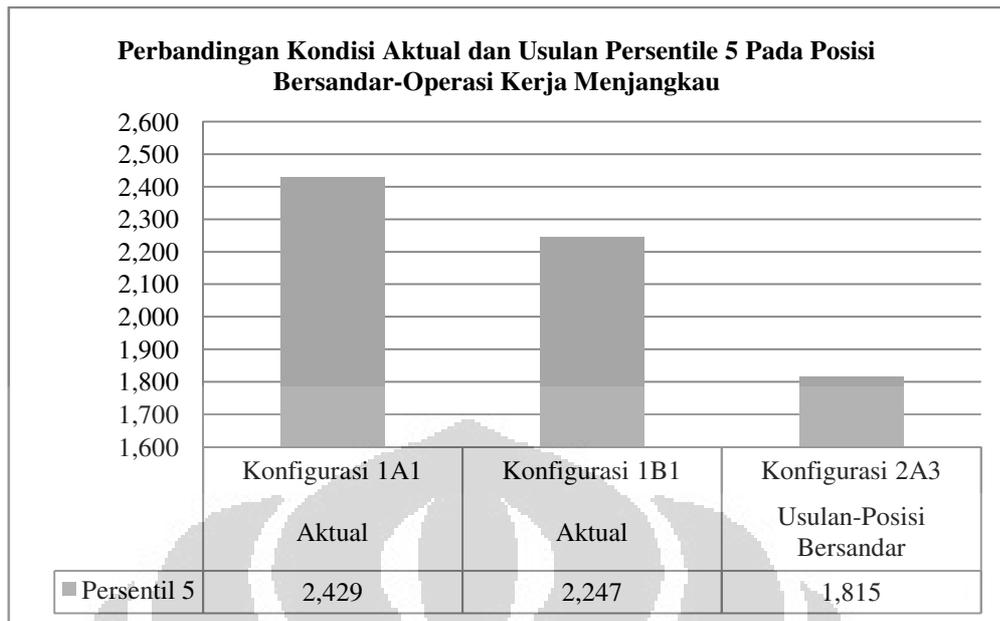
4.3.2 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Pada Operasi Kerja Menjangkau

4.3.2.1 Konfigurasi Usulan Posisi Bersandar-Persentil 5 dan 95

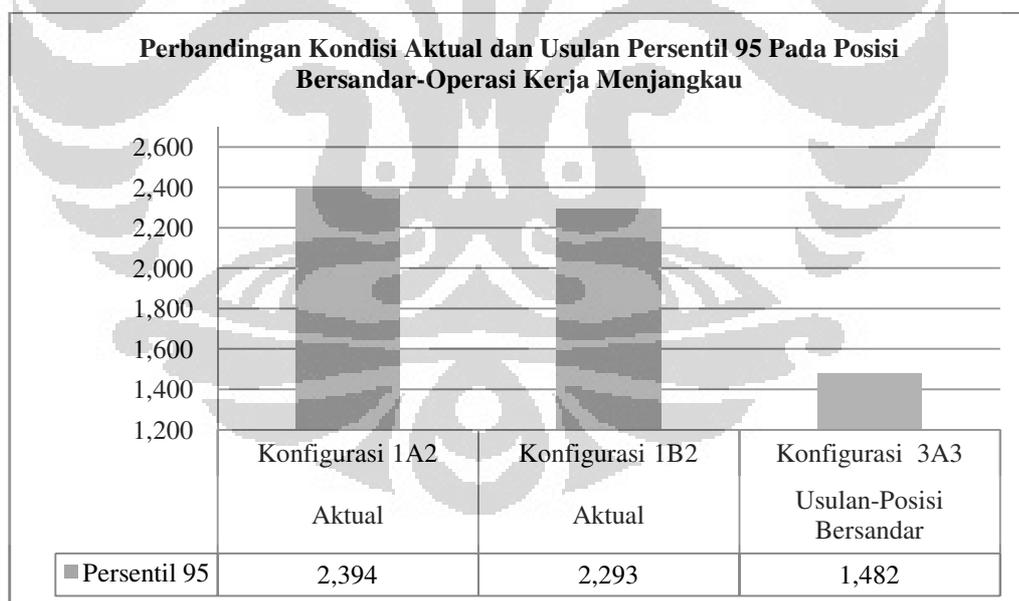
Pada operasi kerja menjangkau, perbandingan kondisi usulan terhadap kondisi aktual mengalami perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI maksimum kondisi aktual adalah 2,166 untuk persentil 5 dan 2,123 untuk persentil 95. Dengan konfigurasi usulan, maka nilai PEI kedua nilai tersebut menjadi 1,399 untuk persentil 5 dan 1,164 untuk persentil 95. Nilai tersebut dicapai setelah pada konfigurasi usulan digunakan kursi yang sesuai dengan data antropometri pekerja serta pertimbangan ergonomi lainnya untuk mendesain suatu kursi yang memberikan kenyamanan bagi pekerja. Selain kursi, perancangan gawangan yang disesuaikan dengan data antropometri pekerja serta modifikasi pembuatan daerah *visual field* pada gawangan juga menjadi alasan kenaikan nilai ergonomi pada postur kerja mencanting ini. Pada operasi kerja ini, selain interaksi posisi duduk pekerja terhadap gawangan juga terdapat interaksi antara posisi duduk pekerja terhadap posisi kompor. Dengan adanya perubahan pada ketinggian kursi yang

digunakan, maka perubahan ketinggian kompor juga perlu dilakukan sehingga pada operasi kerja ini konfigurasi dipengaruhi oleh ketinggian meja kompor yang digunakan. Grafik perbandingan nilai PEI antara kondisi aktual dan konfigurasi usulan dapat dilihat pada **Gambar 4.32** dan **Gambar 4.33**.

Perubahan nilai PEI terjadi karena perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, dan RULA. Apabila skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi dibandingkan dan mengalami penurunan maka dapat ditentukan bahwa terdapat perbaikan terhadap kondisi kerja. Pada konfigurasi usulan ini, dari tabel 4.27 dan tabel 4.28 terlihat bahwa terjadi penurunan LBA dari nilai LBA maksimal pada kondisi aktual, yakni penurunan dari 1112 N menjadi 332 N pada pekerja dengan persentil 5 dan penurunana dari nilai 1268 N menjadi 579 N pada persentil 95. Pada nilai OWAS persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka terjadi penurunan nilai OWAS dari 4 menjadi 2 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B1, nilai OWAS adalah sama namun detail penyusun nilai OWAS keduanya berbeda. Pada persentil 95, konfigurasi usulan menyebabkan penurunan nilai OWAS pada kedua nilai OWAS kondisi aktual yakni penurunan dari nilai OWAS 4 menjadi 2 untuk kondisi aktual 1A2. Sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B2, nilai OWAS adalah sama namun detail penyusun nilai OWAS keduanya berbeda Untuk nilai RULA, pada nilai RULA persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka nilai RULA adalah sama sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktul 1B1, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 6. Sedangkan pada nilai RULA persentil 95, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A2 maka terjadi penurunan nilai RULA dari 6 menjadi 4 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktul 1B2, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 4. Perbandingan tersebut nilai –nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 4.27.dan 4.28



Gambar 4.32 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Bersandar-Operasi Kerja Menjangkau



Gambar 4.33 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 95 Pada Posisi Bersandar-Operasi Kerja Menjangkau

Tabel 4.27 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 5-Operasi Kerja Menjangkau

Persentil 5	Aktual		Usulan-Posisi Bersandar
	1A1	1B1	
LBA	719	1112	332
OWAS	4	2	2
RULA	6	7	6

Tabel 4.28 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Bersandar Persentil 95-Operasi Kerja Menjangkau

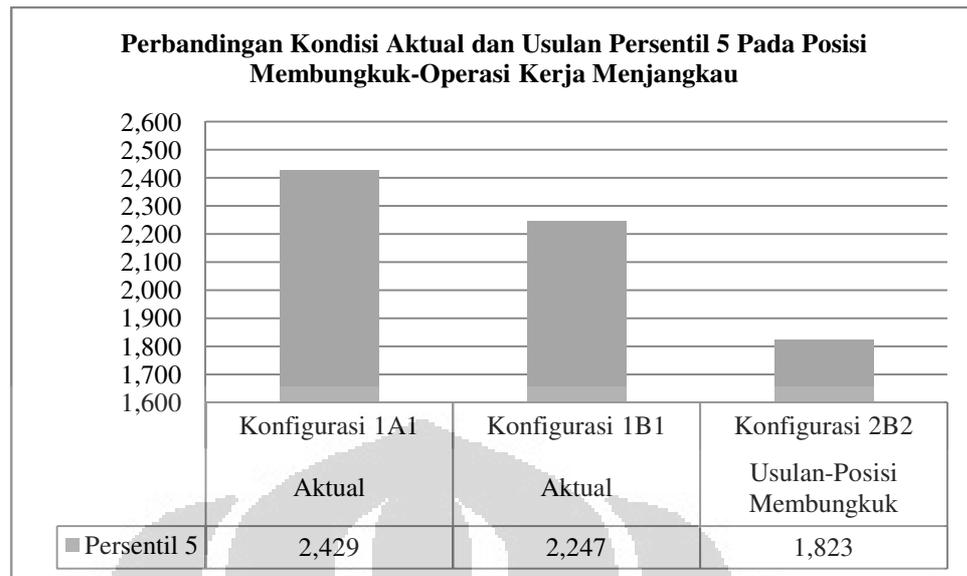
Persentil 95	Aktual		Usulan-Posisi Bersandar
	1A2	1B2	
LBA	602	1268	579
OWAS	4	2	2
RULA	6	7	4

4.3.2.2 Konfigurasi Usulan Posisi Membungkuk-Persentil 5 dan 95

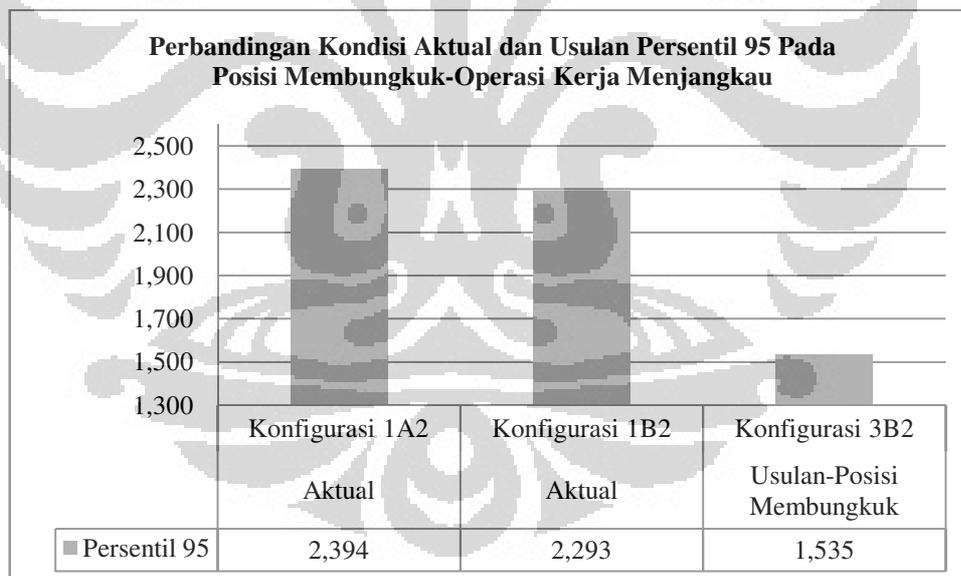
Pada operasi kerja menjangkau, perbandingan kondisi usulan terhadap kondisi aktual mengalami perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI maksimum kondisi aktual adalah 2,429 untuk persentil 5 dan 2,394 untuk persentil 95. Dengan konfigurasi usulan, maka nilai PEI kedua nilai tersebut menjadi 1,823 untuk persentil 5 dan 1,535 untuk persentil 95. Nilai tersebut dicapai setelah pada konfigurasi usulan digunakan kursi yang sesuai dengan data antropometri pekerja serta pertimbangan ergonomi lainnya untuk mendesain suatu kursi yang memberikan kenyamanan bagi pekerja. Selain kursi, perancangan gawangan yang disesuaikan dengan data antropometri pekerja serta modifikasi pembuatan daerah *visual field* pada gawangan juga menjadi alasan kenaikan nilai ergonomi pada postur kerja mencanting ini. Pada operasi kerja ini, selain interaksi posisi duduk pekerja terhadap gawangan juga terdapat interaksi antara posisi duduk pekerja terhadap posisi kompor. Dengan adanya perubahan pada ketinggian kursi yang digunakan, maka perubahan ketinggian kompor juga perlu dilakukan sehingga

pada operasi kerja ini konfigurasi dipengaruhi oleh ketinggian meja kompor yang digunakan. Grafik perbandingan nilai PEI antara kondisi aktual dan konfigurasi usulan dapat dilihat pada **Gambar 4.34** dan **Gambar 4.35**.

Perubahan nilai PEI terjadi karena perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, dan RULA. Apabila skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi dibandingkan dan mengalami penurunan maka dapat ditentukan bahwa terdapat perbaikan terhadap kondisi kerja. Pada konfigurasi usulan ini, dari tabel 4.29 dan tabel 4.30 terlihat bahwa terjadi penurunan LBA dari nilai LBA maksimal pada kondisi aktual, yakni penurunan dari 1112 N menjadi 376 N pada pekerja dengan persentil 5 dan penurunana dari nilai 1268 N menjadi 761 N pada persentil 95. Pada nilai OWAS persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka terjadi penurunan nilai OWAS dari 4 menjadi 2 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B1, nilai OWAS adalah sama namun detail penyusun nilai OWAS keduanya berbeda. Pada persentil 95, konfigurasi usulan menyebabkan penurunan nilai OWAS pada kedua nilai OWAS kondisi aktual yakni penurunan dari nilai OWAS 4 menjadi 2 untuk kondisi aktual 1A2. Sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1B2, nilai OWAS adalah sama namun detail penyusun nilai OWAS keduanya berbeda Untuk nilai RULA, pada nilai RULA persentil 5, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A1 maka nilai RULA adalah sama sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktul 1B1, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 6. Sedangkan pada nilai RULA persentil 95, jika dibandingkan dengan kondisi aktual 1A2 maka terjadi penurunan nilai RULA dari 6 menjadi 4 sementara jika dibandingkan dengan kondisi aktul 1B2, nilai RULA menurun dari 7 menjadi 4. Perbandingan tersebut nilai –nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 4.29.dan 4.30



Gambar 4.34 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Menjangkau



Gambar 4.35 Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan Persentil 5 Pada Posisi Membungkuk-Operasi Kerja Menjangkau

Tabel 4.29 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 5-Operasi Kerja Menjangkau

Persentil 5	Aktual		Usulan-Posisi Membungkuk
	1A1	1B1	
			2B2
LBA	719	1112	376
OWAS	4	2	2
RULA	6	7	6

Tabel 4.30 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Posisi Membungkuk Persentil 95-Operasi Kerja Menjangkau

Persentil 95	Aktual		Usulan-Posisi Membungkuk
	1A2	1B2	
			3B2
LBA	602	1268	761
OWAS	4	2	2
RULA	6	7	4

4.4 Rekapitulasi Hasil Akhir PEI

Setelah dilakukan analisis dan perbandingan kondisi aktual terhadap konfigurasi usulan, berikut adalah rekapitulasi nilai PEI aktual dan konfigurasi. Rekapitulasi nilai PEI dibedakan pada dua operasi kerja yakni operasi kerja mencanting (tabel 4.31) dan operasi kerja menjangkau (tabel 4.32).

Tabel 4.31 Rekapitulasi Nilai PEI Pada Postur Kerja Mencanting

Operasi Kerja Mencanting											
No	Konfigurasi	Persentil	Posisi	Kemiringan Sandaran Kursi (derajat)	Kemiringan Daerah Visual Field Pada Gawangan	Ketinggian Alas Kompur	SSP>90	LBA	OWAS	RULA	PEI
1	1A1	5	Membungkuk, Posisi Kaki Menekuk	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	676	3	6	2,166
	1A2	95	Membungkuk, Posisi Kaki Menekuk	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	530	3	6	2,123
	1B1	5	Membungkuk, Posisi Kaki Terjulang Lurus	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	959	2	7	2,202
	1B2	95	Membungkuk, Posisi Kaki Terjulang Lurus	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	1054	2	7	2,230
2	2A1	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	30	Ya	298	2	4	1,399
	2A2	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	35	Ya				
	2A3	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	40	Ya				
	2B1	5	Membungkuk	100	30	30	Ya	348	2	4	1,414
	2B2	5	Membungkuk	100	30	35	Ya				
	2B3	5	Membungkuk	100	30	40	Ya				

Universitas Indonesia

Tabel 4.31 (lanjutan) Rekapitulasi Nilai PEI Pada Postur Kerja Mencanting

Operasi Kerja Mencanting											
No	Konfigurasi	Persentil	Posisi	Kemiringan Sandaran Kursi (derajat)	Kemiringan Daerah Visual Field Pada Gawangan	Ketinggian Alas Kompur	SSP>90	LBA	OWAS	RULA	PEI
3	3A1	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	30	Ya	348	1	4	1,164
	3A2	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	35	Ya				
	3A3	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	40	Ya				
	3B1	95	Membungkuk	100	30	30	Ya	506	1	4	
	3B2	95	Membungkuk	100	30	35	Ya				
	3B3	95	Membungkuk	100	30	40	Ya				

Tabel 4.32 Rekapitulasi Nilai PEI Pada Postur Kerja Menjangkau

Operasi Kerja Menjangkau											
No	Konfigurasi	Persenti	Posisi tubuh	Kemiringan Sandaran Kursi (derajat)	Kemiringan Daerah Visual Field Pada Gawangan (derajat)	Ketinggian Alas Korpore	SSP>90	LBA	OWAS	RULA	PEI
1	1A1	5	Membungkuk, Posisi Kaki Menekuk	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	719	4	6	2,429
	1A2	95	Membungkuk, Posisi Kaki Menekuk	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	602	4	6	2,394
	1B1	5	Membungkuk, Posisi Kaki Terjulang Lurus	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	1112	2	7	2,247
	1B2	95	Membungkuk, Posisi Kaki Terjulang Lurus	Aktual	Aktual	Aktual	Ya	1268	2	7	2,293
2	2A1	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	30	Ya	344	2	6	1,818
	2A2	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	35	Ya	336	2	6	1,816
	2A3	5	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	40	Ya	332	2	6	1,815
	2B1	5	Membungkuk	100	30	30	Ya	420	2	6	1,841
	2B2	5	Membungkuk	100	30	35	Ya	376	2	6	1,828
	2B3	5	Membungkuk	100	30	40	Ya	380	2	6	1,829

Tabel 4.32 (lanjutan) Rekapitulasi Nilai PEI Pada Postur Kerja Menjangkau

Operasi Kerja Menjangkau											
No	Konfigurasi	Persentil	Posisi tubuh	Kemiringan Sandaran Kursi (derajat)	Kemiringan Daerah Visual Field Pada Gawangan (derajat)	Ketinggian Alas Korpore	SSP>90	LBA	OWAS	RULA	PEI
3	3A1	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	30	Ya	655	2	4	1,504
	3A2	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	35	Ya	682	2	4	1,512
	3A3	95	Bersandar pada sandaran kursi	100	30	40	Ya	579	2	4	1,482
	3B1	95	Membungkuk	100	30	30	Ya	876	2	5	1,772
	3B2	95	Membungkuk	100	30	35	Ya	761	2	4	1,535
	3B3	95	Membungkuk	100	30	40	Ya	769	2	4	1,538

BAB 5

KESIMPULAN

Dalam bab 5 ini akan dijelaskan kesimpulan dari keseluruhan penelitian “Perancangan Kursi dan Gawangan yang Ergonomis Pada Pengrajin Batik Tulis Dalam Virtual Environment : Studi Kasus Pengrajin Batik Tulis Kampung Laweyan“ yang telah dilakukan disertai dengan masukan dan saran yang diajukan berdasarkan hasil yang telah dicapai.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengrajin batik tulis cenderung mengalami keluhan muskuloskeletal pada anggota tubuh mereka selama melakukan rangkaian aktivitas membatik. Berdasarkan kuitioner keluhan muskuloskeletal, psotur kerja membatik telah menyebabkan gangguan diatas 50% pada beberapa anggota tubuh, yakni bahu kanan, punggung bagian atas, lengan atas kanan, lengan bawah kanan, bokong, kaki kanan serta kaki kiri. Hal ini membuktikan jika postur kerja yang dialami pengrajin batik tulis saat ini bermasalah baik akibat dimensi kursi serta gawangan yang tidak sesuai dengan ukuran antropometri pekerja maupun akibat postur kerja tidak nyaman yang dialami pekerja.
2. Nilai PEI maksimal yang dihasilkan dari aktivitas membatik operasi kerja mencanting adalah kondisi aktual adalah 2,166 untuk aktivitas mencanting yang dialami pekerja dengan persentil 5, sementara nilai PEI aktual maksimal untuk persentil 95 adalah 2,230.
3. Nilai PEI yang dihasilkan dari konfigurasi-konfigurasi usulan dalam Aktivitas mencanting dengan posisi kerja bersandar yang terbaik adalah 1,399 untuk persentil 5 dan 1,164 untuk persentil 95
4. Nilai PEI yang dihasilkan dari konfigurasi-konfigurasi usulan dalam Aktivitas Mencanting dengan posisi kerja membungkuk yang terbaik adalah 1,414 untuk persentil 5 dan 1,210 untuk persentil 95.
5. Nilai PEI yang dihasilkan dari konfigurasi-konfigurasi usulan dalam Aktivitas Menjangkau dengan posisi kerja bersandar yang terbaik adalah konfigurasi

- 2A3 untuk persentil 5 dan konfigurasi 3A3 untuk persentil 95. Konfigurasi 2A3 dan 3A3 memiliki ketinggian meja kompor 40 cm.
6. Nilai PEI yang dihasilkan dari konfigurasi-konfigurasi usulan dalam Aktivitas Menjangkau dengan posisi kerja membungkuk yang terbaik adalah konfigurasi 2B2 untuk persentil 5 dan konfigurasi 3B2 untuk persentil 95. Konfigurasi 2B2 dan 3B2 memiliki ketinggian meja kompor 35 cm.
 7. Dari kedua postur kerja yang dibentuk pada konfigurasi usulan, yakni pada operasi kerja mencanting dan menjangkau, posisi kerja bersandar menghasilkan nilai PEI yang lebih baik dibandingkan posisi membungkuk
 8. Dari nilai PEI yang dihasilkan pada konfigurasi usulan memiliki nilai PEI yang lebih baik dibandingkan kondisi aktual sehingga penggunaan rancangan kursi dan gawangan yang diajukan dianggap mampu memberikan nilai ergonomis bagi pekerja

5.2 Saran

Untuk dapat memperbaiki kualitas postur kerja duduk yang dialami pengrajin batik tulis maka kursi yang digunakan pekerja harus dibuat berdasarkan data antropometri pengrajin batik tulis. Gawangan yang digunakan pun seharusnya memperhatikan tinggi badan pengguna dan pertimbangan antropometri lainnya. Selain itu, pembuatan daerah *visual field* pada gawangan perlu dilakukan untuk menghindari postur kerja yang ekstrem seperti pekerja yang terlalu membungkuk atau pekerja yang terlalu menaikkan sudut angkat lengan. Selain itu, pembuatan daerah *visual field* juga bertujuan untuk menjaga jarak pandang mata terhadap permukaan kain mori sehingga dapat mengurangi *visual fatigue*.

Selain itu, untuk pengembangan lebih lanjut, studi mengenai implementasi secara nyata desain kursi dan gawangan usulan pada penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap postur kenyamanan pekerja saat membatik serta menguji apakah hasil nilai PEI konfigurasi yang jauh lebih kecil dari kondisi aktual pada penelitian ini sesuai dengan kondisi yang nantinya dialami pekerja (peningkatan kenyamanan kerja).

DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S.(2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.).New York : Taylor & Francis.
- Caputo, F., Di Gironimo., Marzano.A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No.5/2006*.
- Chaffin, Don B., G Lawton, and Louise G.,Johnson. (2003). Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention, University of Michigan.
- Corlett, N., Wilson, J. And Manenica, I. *The Ergonomics of Working Postures*, Taylor & Francis, London, *QQ 44-53*.
- Corlett, E.N. (2008). Sitting as a Hazard. *Safety Science 46 (2008) 815-82*.
- Di Gironimo, Giuseppe.,G Monacellia and S. Patalano. (2004). A Design Methodology For Maintainability of Utomotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference-Design 2004 Dubrovnik*.
- E. Occhipinti and D. Colombini. Assessment of Exposure to Repetitive Upper Limb Movement: an IEA Consensus Document, *TU TB Newsletter, 1999, hal.11-12*.
- Franco, G.,Fusetti, L. (2004). Bernardino Ramzzini's Early Observation of The Link Between Musculoskeletal Disorders and Ergonomic Factors. *Applied Ergonomic 35, 67-70*
- Gouvali, K., M. Boudolos, K.(2006). Match Between School Furniture Dimensions and Children's Anthropometry. *Applied Ergonomic 37,765-773*.
- Hedge, Alan. (2010). Ergonomic Seating. Cornell University. *DEA 3250/6510*.
- Helander, Martin. (1997). A Guide to Ergonomics of Manufacturing. London : Taylor & Francis.
- Jack Task Analysis Toolkit Manual. (2008). Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
- Kalawsky, R. (1993) *The Science of Virtual Reality and Virtual Environmnets*. Gambridge : Addison-Wesley Publishing Company

Universitas Indonesia

- Keyserling, W.M. 1986 'Postural analysis of the trunk and shoulders in simulated real time' *Ergonomics* 29 (4), 569-583
- Keyserling, W.M., Donoghue, J.L., Punnett & L. and Miller, A.B.(1982). *Repetitive trauma disorders in the garment industry Report No. 81-3220*, Department of Environmental Health Sciences, Harvard School of Public Health, Boston
- Kilbom, A., Persson, J. and Jonsson, B. (1985). Risk Factors for Work Related Disorders of The Neck and Shoulder - with Special Emphasis on Working Postures and Movements
- Li', Guangyan, et al. (1995). Factors Affecting Posture for Machine Sewing Tasks. *Applied Ergonomics vol 26 no.1 pp 35-46*.
- Myung, et al. (2010). The Effect of Knee Angles on Subjective Discomfort Rating, Heart Rates, and Muscle Fatigue of Lower Extremities in Static-Sustaining Tasks. *Applied Ergonomics* 42 (2010) 184-192.
- Niebel, Benjamin W., Freivalds, Andris. (2003). *Methods, Standard and Work Design*. New York : McGraw-Hill
- Oyewole, Samuel A, et al. (2010).The Ergonomic Design of Classroom Furniture/Computer Work Station for First Graders in The Elementary School. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40 (2010) 437e44
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and Design of Work*. London : Taylor & Francis.
- R. Lueder, A. Proposed RULA for Computer Users in Occupational and Environmental Health. UC Berkeley Center, San Francisco, 1996
- Sanders, Mark and Ernest McCormick. (1993). *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Siemens PLM Software Inc. (2008). Jack User Manual Version 6.0. California : Author
- Siemens PLM Software Inc. (2008). Jack Analysis Toolkit (TAT) Training Manual. California : Author

- Sondergaard, et al. (2010). The Variability and Complexity of Sitting Postural Control Are Associated With Discomfort. *Journal of Biomechanics* 43 (2010) 1997–2001.
- Sutalaksana, I.Z. dkk. (1979). *Teknik Tata Cara Kerja*, Lab. PSK&E. Bandung: Teknik Industri ITB.
- Tarwaka, B., Solichul, & Sudiajeng, L.(2004). *Ergonomi Untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*. Surakarta: Uniba Press.
- Thalmann, Daniel, *Introduction to Virtual Environment*, Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland, 1998.
- Waldemar, Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomis and Human Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal.3299
- Wignjosoebroto, Sritomo. (2000). *Ergonomi, Untuk Gerak dan Waktu : Teknik Analisis Untuk Peningkatan Produktivitas Kerja*, Surabaya: Penerbit Guna Widya
- Wilson, J.R. (1999). Virtual Environemnet and Applied Ergonomic. *Applied Ergonomics* 30.