

**ANALISIS POSTUR KERJA DAN USULAN PERBAIKAN
STASIUN KERJA DI DIVISI SEWING INDUSTRI GARMEN
DENGAN MENGGUNAKAN *POSTURE EVALUATION INDEX*
(PEI) PADA *VIRTUAL ENVIRONMENT MODELING***

SKRIPSI

**I NYOMAN ADI PRADANA
04 05 07 02 83**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JULI 2009**

**ANALISIS POSTUR KERJA DAN USULAN PERBAIKAN
STASIUN KERJA DI DIVISI SEWING INDUSTRI GARMEN
DENGAN MENGGUNAKAN *POSTURE EVALUATION INDEX*
(PEI) PADA *VIRTUAL ENVIRONMENT MODELING***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana teknik**

**I NYOMAN ADI PRADANA
04 05 07 02 83**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : I Nyoman Adi Pradana

NPM : 0405070283

Tanda tangan :

Tanggal : Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : I Nyoman Adi Pradana
NPM : 0405070283
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Postur Kerja Dan Usulan Perbaikan Stasiun Kerja Di Divisi *Sewing* Industri Garmen Dengan Menggunakan *Posture Evaluation Index* (PEI) Pada *Virtual Environment Modelling*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE ()

Penguji : Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel, M.Eng.Sc. ()

Penguji : Armand Omar Moeis, ST, MSc ()

Penguji : Ir. Rahmat Nurcahyo, M.Eng.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2009

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

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

Nama : I Nyoman Adi Pradana

NPM : 0405070283

Program Studi : Teknik Industri

Departemen : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

**Analisis Postur Kerja Dan Usulan Perbaikan Stasiun Kerja Di Divisi Sewing
Industri Garmen Dengan Menggunakan *Posture Evaluation Index* (PEI)
Pada *Virtual Environment Modelling***

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

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2009

Yang Menyatakan

(I Nyoman Adi Pradana)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan, sebab hanya atas rahmat dan bimbingan-Nya penelitian ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Penelitian ini disusun dalam rangka melengkapi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Progam Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dan bimbingan dari berbagai pihak, penelitian ini tentunya mustahil dapat diselesaikan, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE dan Ir. Erlinda Muslim, MEE., selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini.
- (2) Bapak Baban Rumbana, Bapak Syamsul Haris, Bapak Heri, Bapak Edi, Bapak Kasmadi, Mbak Sri dan seluruh karyawan PT. X, atas segala kemudahan dan keramahan yang diberikan selama pengambilan data di sana.
- (3) Keluarga Besar Adria, Papa, Mama, Bang Gede & Bang Made yang tercinta, atas seluruh perhatian dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang ini.
- (4) Bapak Ir. Agung Prehadi dan keluarga atas segala bantuannya, keramahan, saran-saran dan tutor yang diberikan.
- (5) Seluruh karyawan Departemen Teknik Industri terutama Mas Latief, Mas Iwan, dan Pak Mursyid atas kesediaannya menunggu tim ergonomi memakai perpustakaan hingga larut malam dan bahkan di akhir pekan.
- (6) Professor Giuseppe Di Girinimo dan Adelaide Marzano, dari Departemen Desain dan Metode Teknik Industri, Universitas Naples Federico II, Italia, atas kesediaannya berkorespondensi dengan penulis mengenai penelitiannya yang sangat menarik.
- (7) Tan Yi Ming dan Bapak Anton. Terima kasih atas pelatihan ergonomi dan bantuannya dalam memperpanjang lisensi dari *software* Jack.

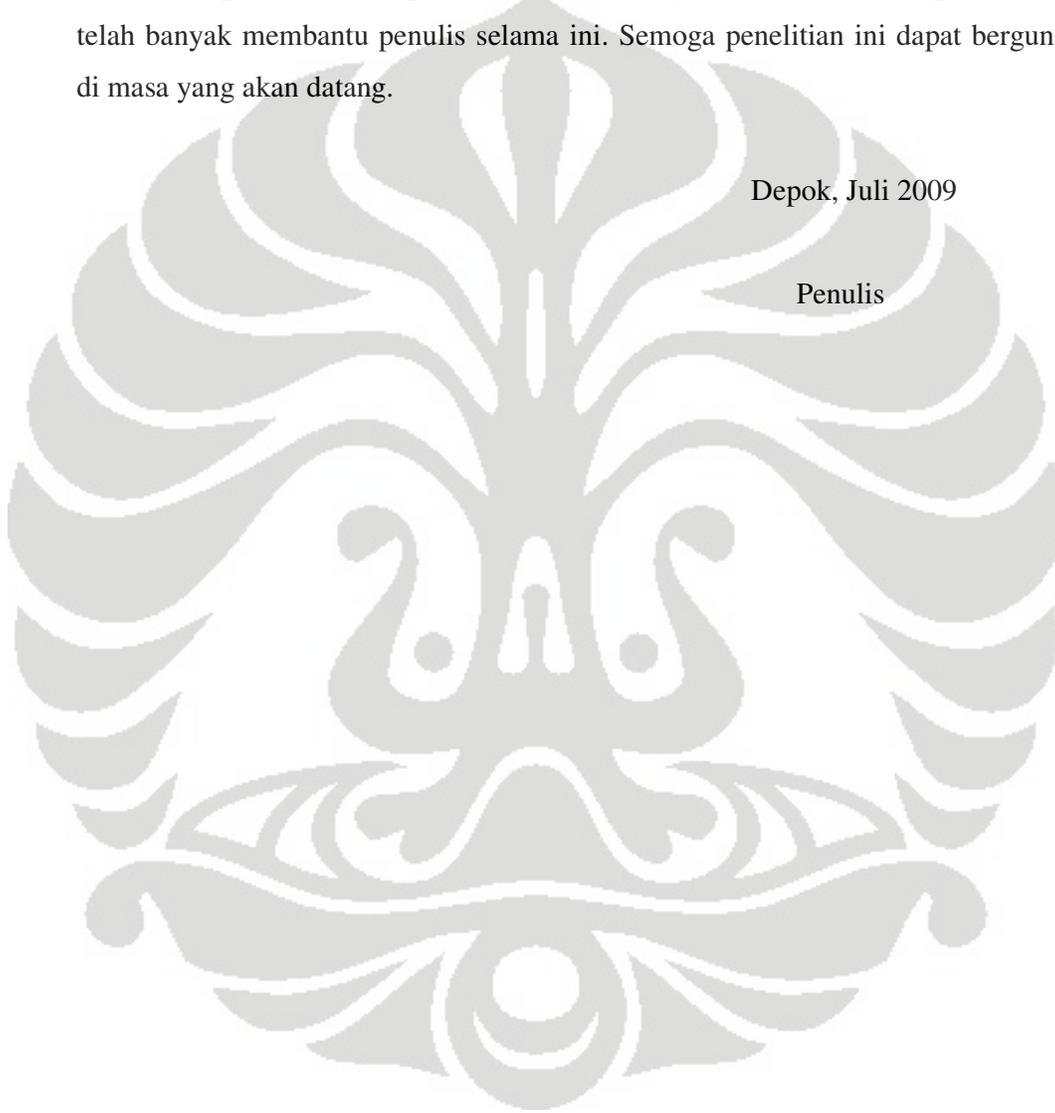
(8) Nandyka Yogamaya, Liza Afrinotha, Romadhani Ardi , Cindy Anggraini, Zulkarnain, Muthia Amelia dan Ricky Prabowo atas 6 bulan yang hebat dan penuh perjuangan dalam tim skripsi ergonomi (UKM dan sepeda).

(9) Rekan-rekan TI 2005 lainnya yang telah menjadi sahabat setia penulis baik dalam suka maupun duka selama kuliah.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini. Semoga penelitian ini dapat berguna di masa yang akan datang.

Depok, Juli 2009

Penulis



ABSTRAK

Nama : I Nyoman Adipradana
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Analisis Postur Kerja dan Usulan Perbaikan Stasiun Kerja Di Divisi *Sewing* Industri Garmen dengan Menggunakan *Posture Evaluation Index* (PEI) pada *Virtual Environment Modelling*.

Pekerjaan pada divisi *sewing* industri garmen melibatkan pekerjaan yang bersifat repetitif dan dalam jangka waktu yang lama. Sehingga berisiko menimbulkan gangguan muskuloskeletal dan ketidaknyamanan dalam bekerja. Penelitian ini mencoba untuk mempelajari rangkaian kerja dan aspek ergonomi yang mempengaruhi postur pekerja pada divisi *sewing* tersebut dengan menggunakan metode simulasi pada lingkungan virtual. Penyesuaian dilakukan terhadap ketinggian meja kerja untuk mendapatkan konfigurasi ketinggian yang ideal bagi pekerja. Penilaian postur kerja dilakukan dengan mengevaluasi *Postur Evaluation Index* (PEI) untuk masing-masing konfigurasi kerja. PEI tersebut akan mengintegrasikan hasil penilaian RULA, OWAS, dan LBA dari *task analysis toolkit* yang terdapat pada *software* Jack 6.0 ke dalam suatu skor penilaian yang dapat memberikan gambaran kondisi stasiun kerja yang ada. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain stasiun kerja yang sesuai dengan aspek-aspek ergonomi.

Kata Kunci:

Ergonomi, *Virtual Environment*, Divisi *Sewing* Industri Garmen, *Posture Evaluation Index*

ABSTRACT

Name : I Nyoman Adipradana
Study Program: Industrial Engineering
Title : The Analysis of Working Posture and Recommendation for Improvement in Sewing Division of A Garment Industry Using Posture Evaluation Index (PEI) in A Virtual Environment Modelling

The work characteristics of sewing division in garment industry involve a static posture and repetitive movement, which results to the appearance of work musculoskeletal disorders and discomfort level of work. This research tries to study the ergonomic aspect of work sequence which impact to the posture of workers in sewing division. The methodology is based on the use of human simulation in virtual environment. The goal of this research is to get the ideal configuration of table height which is ideal for the workers. The evaluation of work posture is conducted by using a tool called Posture Evaluation Index (PEI). PEI integrates the score of RULA, OWAS and LBA from Jack software. The value of PEI gives a brief description of workstation condition. The result of this research can be used as a reference to design an ergonomic workplace.

Keywords:
Ergonomics, Virtual Environment, Sewing Division of Garment Industry, Posture Evaluation Index (PEI)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
DAFTAR SINGKATAN	xx
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Perumusan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	7
1.6 Metodologi Penelitian.....	7
1.7 Sistematika Penulisan	10
BAB 2	12
DASAR TEORI	12
2.1 Ergonomi.....	12
2.1.1 Pengertian Ergonomi	12

2.1.2 Risiko Kesalahan Ergonomi	13
2.2 <i>Workplace Ergonomic</i>	19
2.3 Antropometri.....	21
2.3.1 Antropometri Statis.....	21
2.3.2 Antropometri Dinamis	23
2.3.3 Penggunaan Data Antropometri.....	23
2.4 <i>Virtual Environment</i>	24
2.5 <i>Software Jack</i>	26
2.6 Metode <i>Postur Evaluation Index (PEI)</i>	29
2.6.1 Metode <i>Static Strenth Prediction (SSP)</i>	33
2.6.2 Metode <i>Low Back Analysis (LBA)</i>	35
2.6.3 Metode <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i>	36
2.6.4 Metode <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i>	38
BAB 3	40
PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL	40
3.1 Tinjauan Umum PT.X.....	40
3.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan.....	40
3.1.2 Departemen Produksi PT. X	43
3.1.3 Proses Produksi	46
3.1.4 Mesin dan Peralatan.....	51
3.1.5 Sumber Daya Manusia.....	54
3.2 Pengumpulan Data	56
3.2.1 Identifikasi Permasalahan Kerja	57
3.2.2 Data Bentuk dan Dimensi Mesin	58
3.2.3 Data Antopometri.....	61
3.2.4 Data Postur dan Gerakan Pekerja	64

3.3	Pembuatan Model Simulasi Di Divisi <i>Sewing</i>	68
3.3.1	Penentuan konfigurasi model.....	68
3.3.2	Alur Pembuatan Model.....	69
3.3.3	Analisis Simulasi kerja dengan <i>Jack Task Analysis Toolkit (TAT)</i>	78
3.3.4	Perhitungan Nilai PEI	80
3.3.5	Pengujian Model	82
BAB 4	87
ANALISIS	87
4.1	Analisis Kondisi Aktual	87
4.1.1	Analisis Kondisi Aktual Mesin Jarum Satu (Konfigurasi 1A)	87
4.1.2	Analisis Kondisi Aktual Mesin Obras (Konfigurasi 1B).....	90
4.1.3	Analisis Aktual Mesin Bartex (Konfigurasi 1C)	94
4.1.4	Analisis Aktual Mesin Make-Up (Konfigurasi 1D).....	97
4.2	Analisis Konfigurasi.....	100
4.2.1	Konfigurasi Mesin Jarum Satu.....	100
4.2.2	Konfigurasi Mesin Obras	102
4.2.3	Konfigurasi Mesin Bartex.....	104
4.2.4	Konfigurasi Mesin Make-Up	106
4.3	Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi	108
4.3.1	Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Jarum Satu 108	
4.3.2	Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Obras.....	109
4.3.3	Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Bartex	110
4.3.4	Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Make-Up..	111
BAB 5	114
KESIMPULAN	114

5.1 Kesimpulan114
5.2 Saran115
DAFTAR PUSTAKA117
LAMPIRAN.....119



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Keterkaitan Masalah	5
Gambar 1. 2 Perumusan Masalah	6
Gambar 1. 3 Diagram Alir Penelitian	9
Gambar 2. 1 Gambaran Umum Dari Bagian Tubuh Yang Rentan Terkena Cedera Muskuloskeletal a) lengan bawah, pergelangan dan telapak tangan, b) anggota tubuh bagian atas (Upper Limb).	16
Gambar 2. 2 Parameter Untuk Desain Stasiun Kerja Mesin Jahit	21
Gambar 2. 3 Struktur lingkaran kepala.....	22
Gambar 2. 4 Struktur antropometri tubuh manusia.....	22
Gambar 2. 5 Contoh Tampilan Manusia Virtual Pada Software Jack	27
Gambar 2. 6 Diagram Alir Metode PEI	30
Gambar 2. 7 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya Pada Persendian.....	34
Gambar 2. 8 Struktur Tulang Belakang Manusia	36
Gambar 2. 9 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh.....	38
Gambar 3. 1 Tata Letak Pabrik PT.X 42	
Gambar 3. 2 Departemen Produksi PT. X	44
Gambar 3. 3 <i>Line</i> Produksi Pada Divisi <i>Sewing</i>	48
Gambar 3. 4 Pola Pakaian Berikut Informasi Ukuran dan Jenis Jahitan	49
Gambar 3. 5 Proses Pemberian Tanda Pada Kain.....	49
Gambar 3. 6 <i>Flowchart</i> Produksi Divisi <i>Sewing</i>	50
Gambar 3. 7 Penggunaan Bantal Untuk Mengganjal Posisi Duduk	57
Gambar 3. 8 Mesin Jarum Satu.....	59
Gambar 3. 9 Mesin Obras	60
Gambar 3. 10 Mesin Bartex	60
Gambar 3. 11 Mesin Make-Up	61
Gambar 3. 12 Postur Kerja Operator Mesin Jarum Satu	65
Gambar 3. 13 Postur Kerja Operator Mesin Obras.....	66
Gambar 3. 14 Postur Kerja Operator Mesin Bartex.....	67

Gambar 3. 15 Postur Kerja Operator Mesin Make-Up	67
Gambar 3. 16 Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi	69
Gambar 3. 17 AutoCAD Mesin-Mesin di Divisi <i>Sewing</i>	70
Gambar 3. 18 AutoCAD Stasiun Kerja di Divisi <i>Sewing</i>	71
Gambar 3. 19 Tata Letak Stasiun Kerja Divisi <i>Sewing</i> Pada <i>Virtual Environment</i>	72
Gambar 3. 20 Pembuatan <i>Virtual Human</i> dengan <i>Advanced Scaling</i>	73
Gambar 3. 21 Kotak Dialog <i>Human Control</i>	74
Gambar 3. 22 Kotak Dialog <i>Adjust Joint</i>	74
Gambar 3. 23 Postur Kerja Untuk Tiap-Tiap Operator Mesin Pada Model Manusia Virtual	75
Gambar 3. 24 Pemberian Distribusi Gaya Pada Bagian Kaki Operator Mesin Jarum 1.....	76
Gambar 3. 25 Pemberian Beban Kerja Pada Operator Mesin Jarum Satu.....	77
Gambar 3. 26 Rangkaian Gerakan Kerja Pada Operator Mesin Jarum Satu	78
Gambar 3. 27 Hasil Analisa SSP Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu).....	79
Gambar 3. 28 Hasil Analisa LBA Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu)	79
Gambar 3. 29 Hasil Analisa OWAS Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu).	79
Gambar 3. 30 Hasil Analisa RULA Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu).	80
Gambar 3. 31 Hasil Uji Dimensi/Analisis Unit Pada <i>Software Jack</i>	83
Gambar 3. 32 Uji Validitas Dengan Penambahan Gaya Yang Bersifat Ekstrem ..	84
Gambar 3. 33 Hasil Analisis LBA Setelah Penambahan Beban 5 kg Pada Model85	
Gambar 3. 34 Hasil Analisis SSP Setelah Penambahan Beban 5 kg Pada Model.	86
Gambar 4. 1 Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrim Pada Konfigurasi 1A	89
Gambar 4. 2 Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrim Pada Konfigurasi 1B	92
Gambar 4. 3 Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrim Pada Konfigurasi 1C	95
Gambar 4. 4 Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrim Pada Konfigurasi 1D	98
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Jarum Satu	108
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Obras.....	109
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Bartex....	110

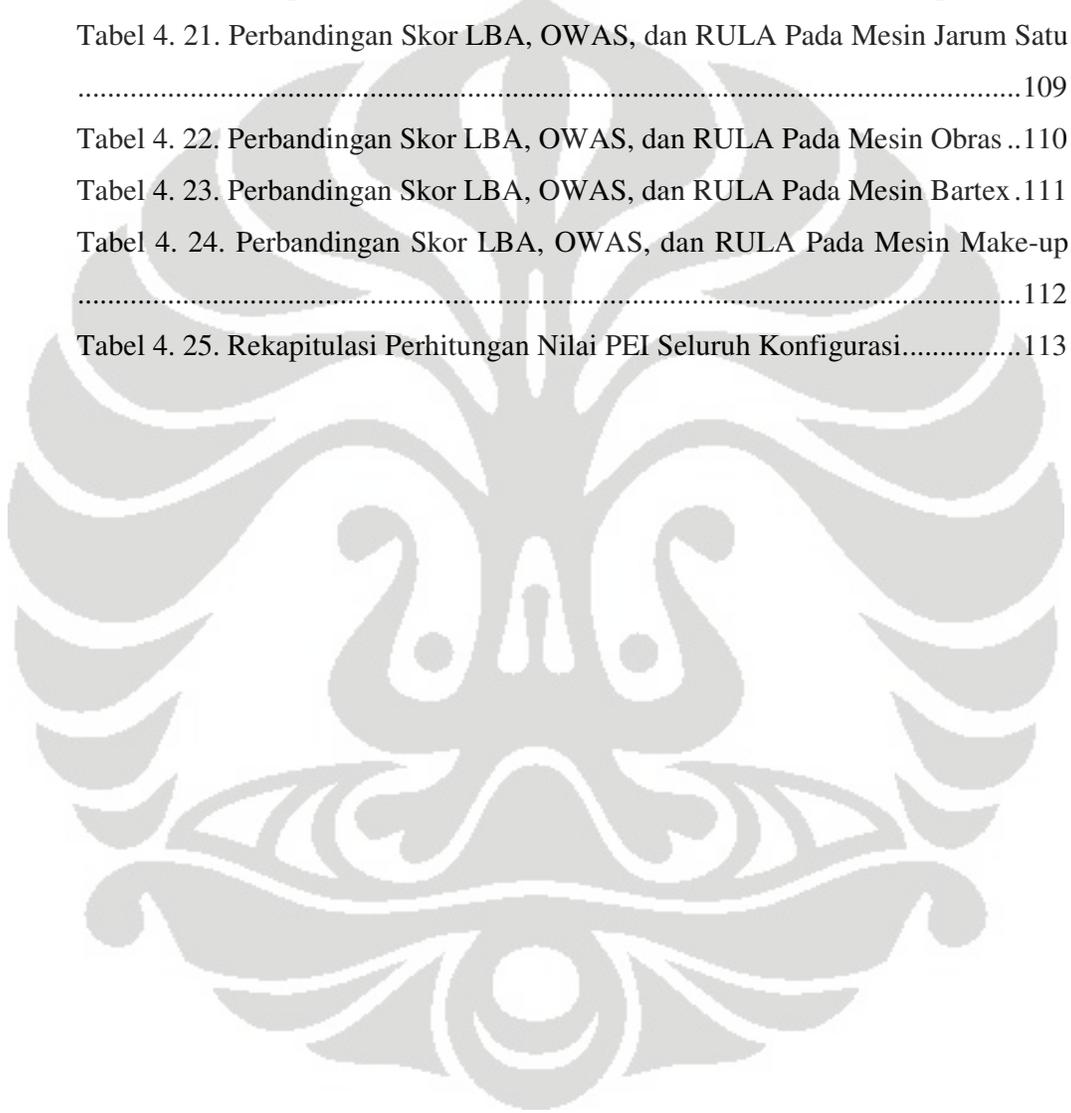
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Make-Up
.....111



DAFTAR TABEL

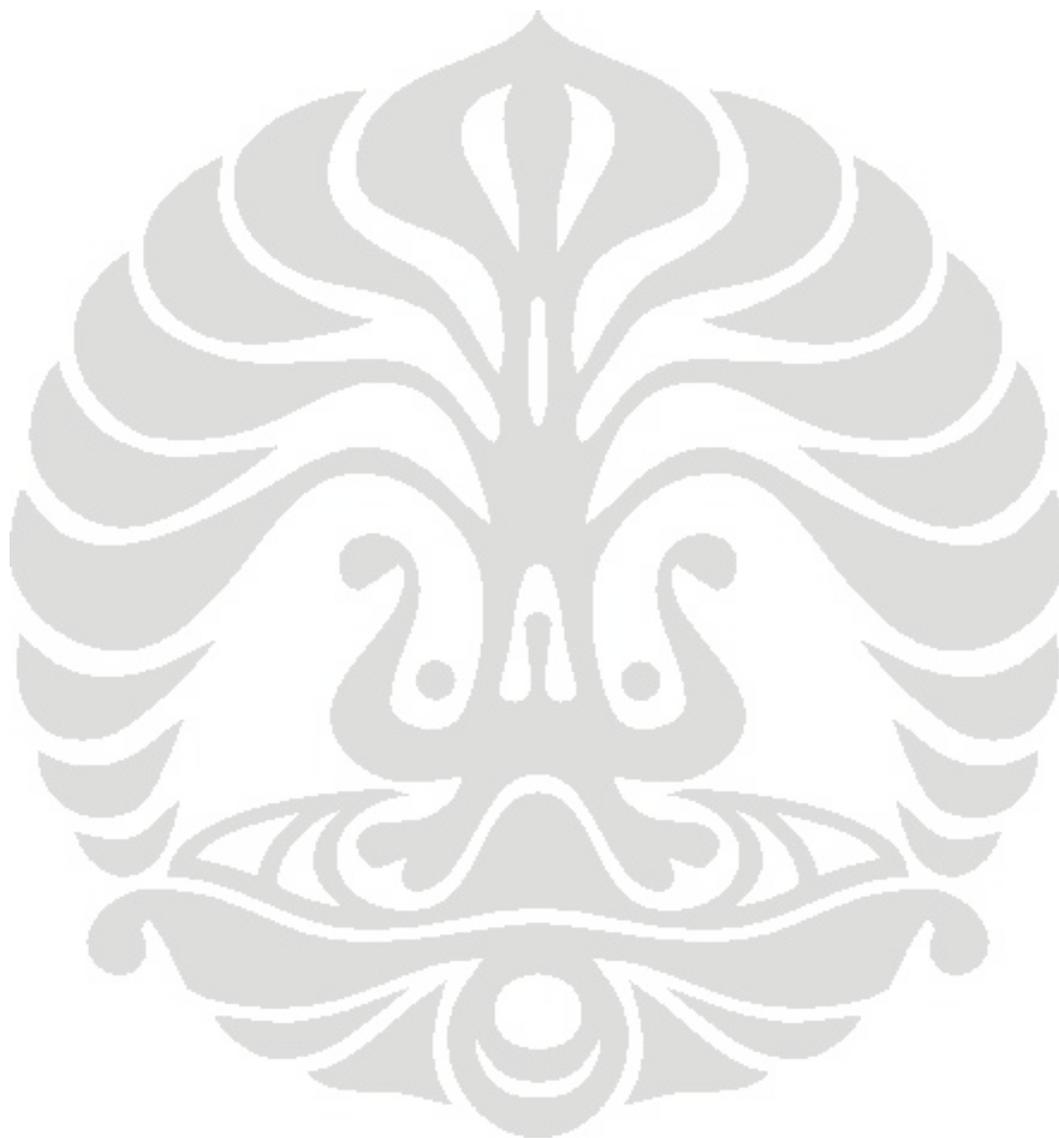
Tabel 2. 1. Tabel Risiko Kesalahan Ergonomi	14
Tabel 2. 2. Metode Identifikasi Ergonomi Untuk Kegiatan Repetitif.....	18
Tabel 2. 3. Metode Identifikasi Ergonomi Untuk Kegiatan Repetitif (Sambungan)	19
Tabel 2. 4 Pembobotan nilai pada OWAS	37
Tabel 2. 5 Pembobotan nilai pada RULA	39
Tabel 3. 1. Daftar Pelanggan Utama PT. X	41
Tabel 3. 2. Daftar Mesin PT.X.....	52
Tabel 3. 3. <i>Database</i> Karyawan PT.X	55
Tabel 3. 4. Data Antropometri Pekerja PT. X.....	62
Tabel 3. 5. Data Antropometri Pekerja Indonesia.....	63
Tabel 3. 6. Perbandingan Data Antropometri PT.X dan Persatuan Ergonomi Indonesia.....	64
Tabel 3. 7. Rancangan Konfigurasi Pada Stasiun Kerja PT.X.....	68
Tabel 3. 8. Tabel Kapabilitas SSP Untuk Konfigurasi 1A.....	81
Tabel 3. 9 Resume Skor LBA, OWAS, RULA	81
Tabel 4. 1. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1A.....	88
Tabel 4. 2. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Jarum Satu	88
Tabel 4. 3. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Jarum Satu	90
Tabel 4. 4. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1B.....	91
Tabel 4. 5. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Obras	91
Tabel 4. 6. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Obras.....	93
Tabel 4. 7. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1C.....	94
Tabel 4. 8. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Bartex	95
Tabel 4. 9. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Bartex.....	96
Tabel 4. 10. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1D.....	97
Tabel 4. 11. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Make-Up	98
Tabel 4. 12. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Make-Up.....	99
Tabel 4. 13. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Jarum Satu	100
Tabel 4. 14. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Jarum	101

Tabel 4. 15. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Obras	102
Tabel 4. 16. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Obras.....	103
Tabel 4. 17. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Bartex	104
Tabel 4. 18. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Bartex	105
Tabel 4. 19. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Make-Up.....	106
Tabel 4. 20. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Make-Up.....	107
Tabel 4. 21. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Jarum Satu	109
Tabel 4. 22. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Obras ..	110
Tabel 4. 23. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Bartex .	111
Tabel 4. 24. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Make-up	112
Tabel 4. 25. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi.....	113

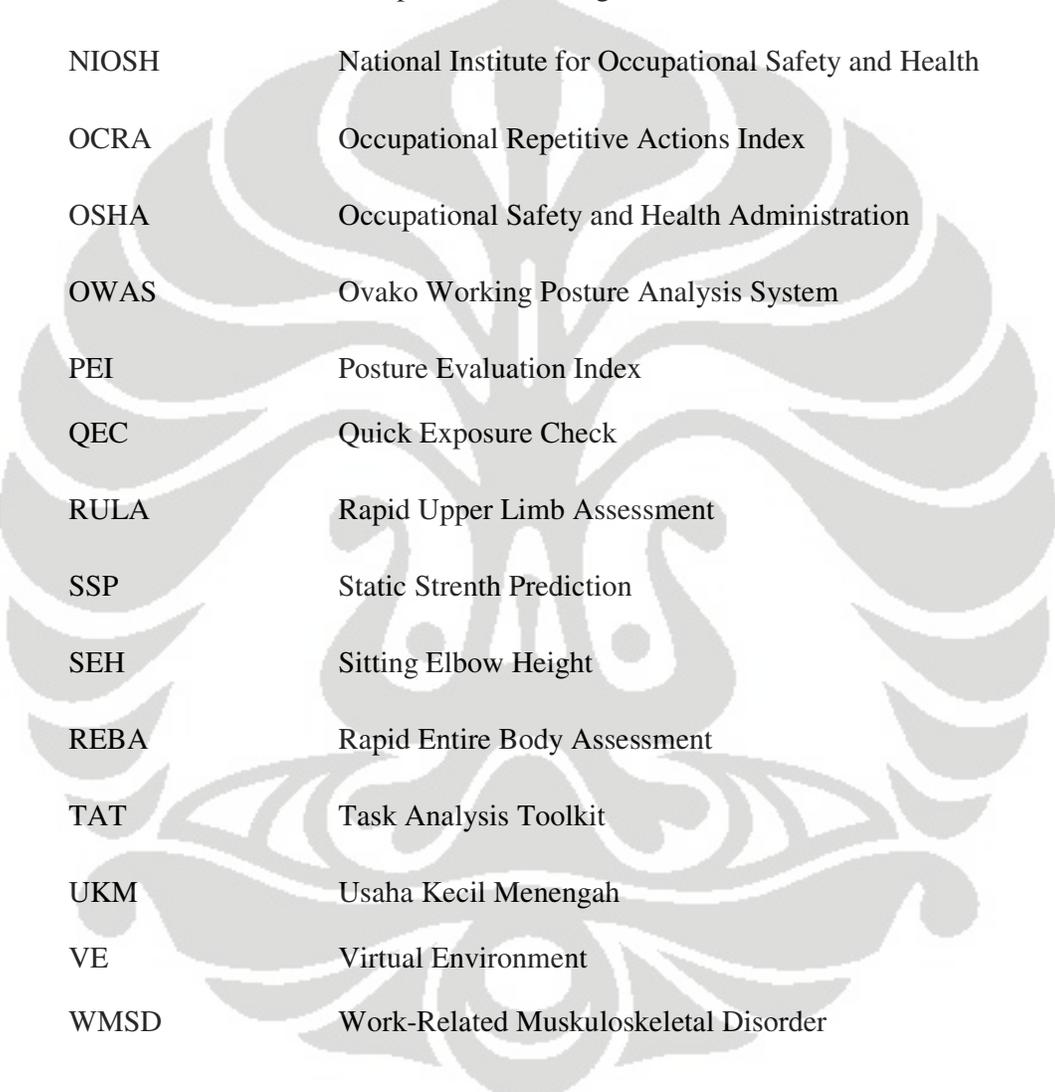


DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Evaluasi Postur Kerja Pada Operator Mesin Jarum 1.....	119
--	-----



DAFTAR SINGKATAN



ANSUR	Army Natick Survey User Requirements
LBA	Low Back Analysis
CAD	Computer-aided Design
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OCRA	Occupational Repetitive Actions Index
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
OWAS	Ovako Working Posture Analysis System
PEI	Posture Evaluation Index
QEC	Quick Exposure Check
RULA	Rapid Upper Limb Assessment
SSP	Static Strength Prediction
SEH	Sitting Elbow Height
REBA	Rapid Entire Body Assessment
TAT	Task Analysis Toolkit
UKM	Usaha Kecil Menengah
VE	Virtual Environment
WMSD	Work-Related Musculoskeletal Disorder

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kunci keberhasilan suatu industri dalam menghadapi persaingan global adalah kemampuan industri tersebut dalam melakukan suatu usaha peningkatan untuk dapat mempertahankan kelangsungan usahanya. Salah satu langkah yang dapat diambil adalah dengan meningkatkan efisiensi perusahaan dan mempertahankan tingkat produktivitas agar selalu berada pada titik yang optimal. Tingkat produktivitas perusahaan memiliki keterkaitan yang erat dengan kemampuan sumber daya manusia yang bekerja di dalamnya, sedangkan kemampuan pekerja tersebut dalam mempertahankan produktivitasnya tentunya harus didukung oleh berbagai faktor antara lain sistem kerja yang efisien, peralatan yang ergonomis, beban kerja yang ideal, serta interaksi yang sehat dengan lingkungan kerja yang dihadapi oleh para pekerja.

Ergonomi ialah suatu ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai sehingga dapat berperan untuk menyelesaikan masalah ketidakserasian antara manusia dengan peralatan yang digunakan olehnya¹. Ergonomi juga berfokus pada peningkatan produktivitas dan kualitas sistem kerja dengan memperhatikan kemampuan dan keterbatasan dari manusia pada sistem kerja tersebut. Pada industri padat karya seperti industri garmen yang mengandalkan tenaga kerja manusia dan banyak menggunakan teknologi tepat guna, interaksi antara pekerja dan mesin selalu terjadi setiap saat. Faktor ergonomi pada sistem kerja yang perlu mendapat perhatian selama interaksi tersebut berlangsung antara lain beban tugas yang meliputi metode dan postur kerja, serta lingkungan kerja yang berkaitan dengan karakteristik dan batasan yang dimiliki oleh pekerja di dalamnya, dalam hal ini adalah pekerja pada industri garmen.

Masalah ergonomi dalam proses produksi di industri garmen sering kali dipengaruhi oleh postur kerja saat mengoperasikan alat atau mesin secara berulang-ulang (*repetitive action*). Pekerja yang melakukan *repetitive action* dengan

¹ Bridger.R.S, *Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal..1.

gerakan dan posisi tubuh yang tidak alamiah selama bekerja, sangat rentan mengalami gangguan cedera yang disebut dengan gangguan muskuloskeletal atau WMSD (*Work-Related Musculoskeletal Disorder*). Gangguan muskuloskeletal merupakan gangguan cedera yang menyerang bagian tubuh seperti otot, syaraf, tendon, ligamen, sendi, dan tulang belakang manusia. Selain faktor postur yang tidak alamiah dan pengulangan berkali-kali, gangguan muskuloskeletal juga dapat dipicu oleh pengeluaran tenaga yang berlebihan dan lamanya waktu kerja². Selain akibat postur kerja, masalah ergonomi yang muncul dalam proses produksi di industri garmen juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan desain ergonomi stasiun kerja yang ada pada industri tersebut (*workplace ergonomic*). Faktor lingkungan dan desain stasiun kerja yang ada pada industri garmen di Indonesia seringkali kurang memperhatikan aspek-aspek ergonomi dan kesehatan pekerjaanya. Perusahaan seringkali meningkatkan kapasitas produksi dengan penambahan waktu kerja (*overtime*) tanpa memperhatikan faktor manusia di dalamnya. Stasiun kerja yang didesain secara buruk, dan furnitur kerja yang tidak sesuai dengan karakteristik pekerjaan dan pengguna merupakan salah satu hal yang seringkali diabaikan oleh perusahaan

Karakteristik pekerjaan pada industri garmen umumnya merupakan proses *material-handling* (pengangkutan material) maupun proses permesinan yang dilakukan dengan posisi duduk dan berdiri. Operasi pekerjaan tersebut seringkali berkaitan dengan tingkat pengulangan kerja yang tinggi pada satu jenis otot, interaksi dengan benda tajam (gunting, jarum, dan pisau potong), kebisingan dan getaran mesin, debu-debu dan aroma kain, dan lain sebagainya. Pekerjaan pada stasiun kerja di divisi *sewing* industri garmen merupakan salah satu operasi kerja yang memiliki karakteristik pekerjaan seperti itu. Penggunaan mesin pada divisi jahit telah menimbulkan beberapa kasus gangguan kesehatan pada penggunanya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa operator mesin jahit mengalami keluhan pada tubuh bagian leher, tulang punggung, bahu, dan lengan bagian bawah³.

² Purnomo et al. *Sistem Kerja dengan Pendekatan Ergonomi Total Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal, Kelelahan, dan Beban Kerja Serta Meningkatkan Produktivitas Pekerja Industri Gerabah di Kasongan, Bantul*. Universitas Udayana, Denpasar, 2006.

³ Blader et al. *Neck and shoulder complaints among sewing-machine operator: a study concerning frequency, symptomatology and dysfunction*. *Applied ergonomics* 22, 1991, hal. 251-257.

Keluhan tersebut mungkin diakibatkan oleh akumulasi pengulangan rangkaian pekerjaan yang dilakukan oleh operator pada kondisi duduk, seperti gerakan mengangkat lengan bagian atas, gerakan batang tubuh dan leher yang condong (membungkuk) ke depan, dan posisi sudut pergelangan kaki dan lutut yang tidak optimum. Postur kerja dan rangkaian pekerjaan tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu posisi mata untuk kontrol visual terhadap pekerjaan, posisi tangan yang bersentuhan langsung dengan material jahit, dan gerakan kaki untuk menjalankan mesin⁴. Pengetahuan terhadap variabel-variabel tersebut dapat menjadi dasar dalam memperbaiki postur kerja dan pembuatan model rekomendasi stasiun kerja yang ideal.

Operator yang bekerja pada stasiun kerja yang ergonomis akan sangat diuntungkan dalam hal produktivitas dan kualitas kerjanya, seiring pula dengan penurunan kelelahan dan cedera yang diakibatkan oleh beban pada bagian muskuloskeletal tubuh. Penelitian ini mencoba untuk mengkaji secara ergonomi terhadap kondisi stasiun kerja pada industri garmen, khususnya di divisi penjahitan baju (*sewing*). Kajian tersebut terutama perlu dilakukan pada variabel-variabel tertentu untuk menjawab pertanyaan mengapa operator menerapkan postur-postur kerja tertentu yang sebenarnya dirasakan tidak nyaman bagi tubuh mereka, sehingga nantinya dapat dihasilkan suatu perbaikan pada postur pekerja dan juga pengurangan terhadap keluhan cedera yang mungkin dialami pekerja. Penelitian dilakukan dengan melakukan konfigurasi terhadap parameter (ketinggian meja dan kursi kerja) stasiun kerja yang ideal bagi pekerja yang menggunakan mesin jahit.

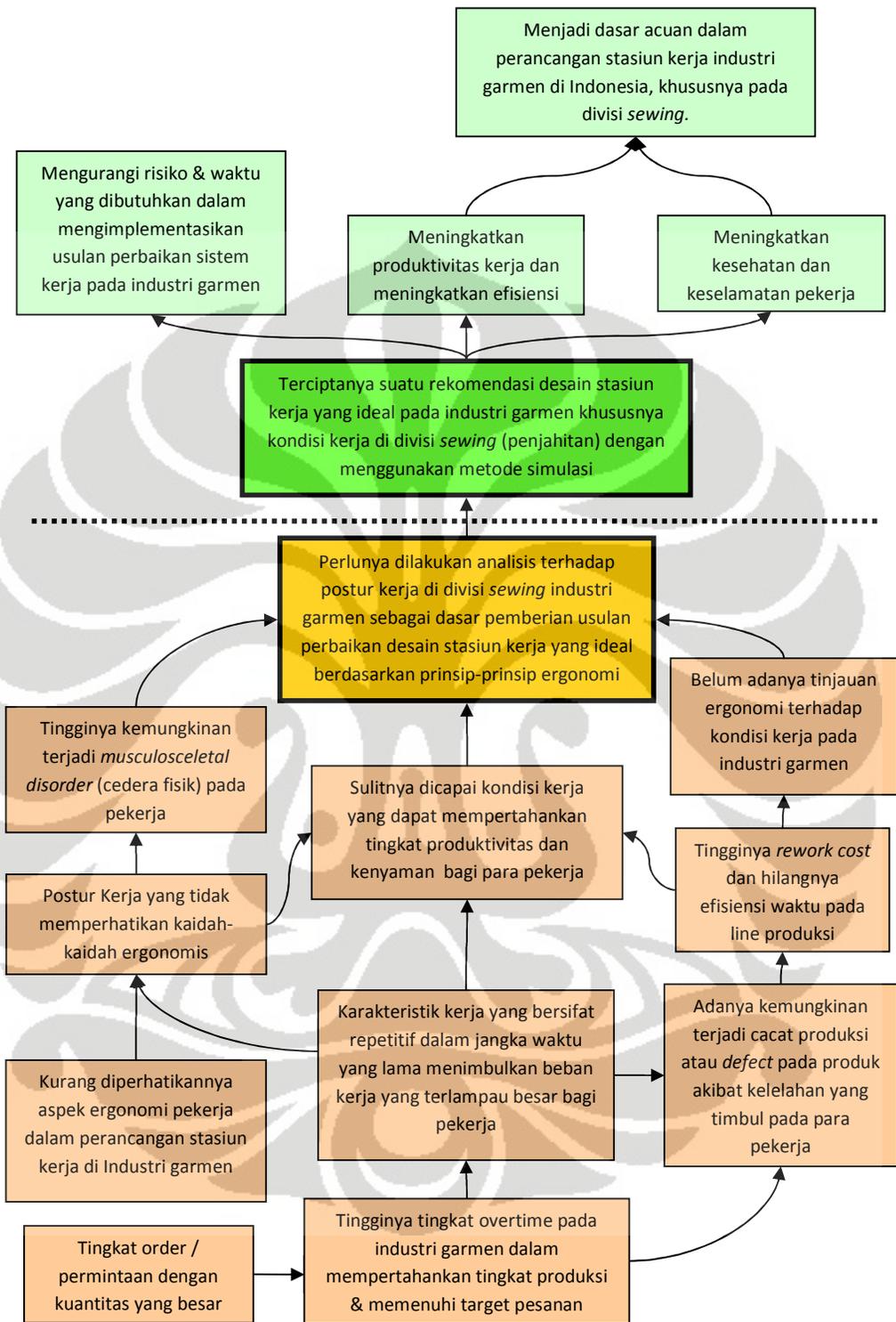
Dalam proses analisis pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi terhadap postur kerja terhadap tubuh bagian atas (*upper limb*) dan bagian bawah pada pekerja yang dipengaruhi oleh karakteristik operator, keadaan stasiun kerja, dan rangkaian operasi yang dijalankan. Analisis tersebut akan dilakukan pada berbagai ketinggian meja dan kursi pada stasiun kerja mesin jahit untuk mendapatkan tinggi stasiun kerja yang paling ideal bagi pekerja. Hasil analisis tersebut merupakan sebuah penilaian yang bersifat kuantitatif terhadap tingkat kenyamanan pada suatu stasiun kerja yang dirasakan oleh operator.

⁴ Balraj et al. *Ergonomics considerations in sewing machine work station design*. Department of Mechanical & Production Engineering. Guru Nanak Dev Engineering College. India

Hasil rancangan penelitian akan disimulasikan pada sebuah *virtual environment* dengan menggunakan *software* Jack. Penggunaan metode simulasi virtual merupakan suatu cara dalam membuat suatu rekomendasi penyesuaian pada stasiun kerja mesin jahit tanpa perlu melakukan penerapan secara langsung kepada subjek dan lingkungan yang aktual. Hasil perbaikan dan usulan sistem kerja yang ergonomis melalui metode simulasi virtual ini diharapkan akan menjadi acuan yang ideal bagi pengembangan desain stasiun kerja industri garmen skala menengah yang ada di Indonesia.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

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

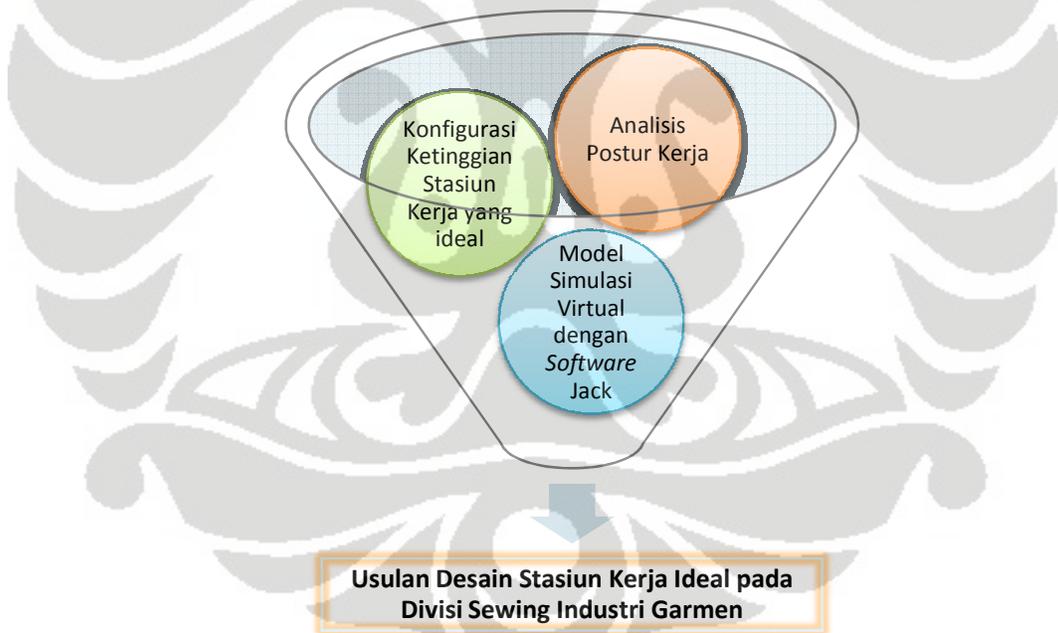


Gambar 1. 1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan diagram keterkaitan masalah di atas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah perlunya dilakukan analisis secara ergonomis terhadap postur kerja pada industri garmen. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat cedera dan kelelahan yang terjadi pada pekerja di industri garmen. Analisis tersebut juga akan menjadi dasar usulan perbaikan stasiun kerja yang ergonomis dengan cara menentukan ketinggian meja dan kursi kerja yang ideal bagi pekerja dengan postur tertentu.

Penelitian ini akan difokuskan pada satu divisi, yaitu divisi *sewing* (penjahitan) di industri garmen, terutama dalam pengaruh desain tempat kerja terhadap sisi ergonomis ideal pekerjaannya. Sehingga diharapkan akan dapat mengurangi terjadinya kemungkinan cedera (*musculoskeletal disorders*) dan kelelahan yang mungkin dialami oleh pekerja pada industri garmen.



Gambar 1. 2 Perumusan Masalah

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan *output* berupa pembuatan model simulasi kerja dan skor penilaian postur kerja para operator mesin di divisi *sewing* industri garmen

dengan menggunakan *virtual human model* dan *virtual environment* yang ada pada *software* ergonomi JACKTM.

2. Mendapatkan *outcome* berupa rekomendasi stasiun kerja yang ideal pada divisi *sewing* industri garmen, yaitu dari segi konfigurasi ketinggian meja yang ideal terhadap postur pekerja pada stasiun kerja mesin jarum satu, mesin obras, mesin bartex, dan mesin make-up.

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:

1. Proses pengambilan data penelitian dilakukan di PT. X sebagai representasi UKM industri garmen berskala menengah di Indonesia.
2. Respon teknis untuk sebagai bahan dalam membuat model simulasi didapatkan melalui hasil pengamatan dan wawancara yang dilakukan dengan pihak pekerja pada divisi penjahitan.
3. Penelitian terhadap ergonomi sistem kerja hanya dilakukan pada pekerja di divisi *sewing* (penjahitan) dan tidak dilakukan terhadap keseluruhan divisi yang terdapat pada lini produksi di Industri Garmen.
4. Penelitian hanya difokuskan pada proses penjahitan dengan menggunakan mesin jahit utama pada divisi penjahitan tersebut.
5. Pengolahan data dan model simulasi dibuat dengan menggunakan *task analysis toolkit* yang terdapat pada *software* JackTM 6.0
6. Model pemecahan masalah pada penelitian ini hanya merupakan sebuah model konseptual yang dirancang berdasarkan penelitian dan dilakukan dengan menggunakan sebuah model simulasi.
7. Penelitian dibuat tanpa memperhitungkan biaya dan waktu yang dibutuhkan dalam mengimplementasikan model kerja yang akan dirancang dalam penelitian ini.

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian yang digunakan dalam skripsi ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang disusun secara sistematis sebagai berikut:

1. Tahap persiapan penelitian

Pada tahapan awal penelitian, hal pertama yang harus dilakukan adalah dengan menentukan tema dan topik yang ingin diteliti secara lebih dalam. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan dasar teori yang dapat mendukung penelitian ini, disertai perumusan tujuan penelitian dengan cara melakukan observasi, serta wawancara kepada pihak pekerja dan personalia untuk memberikan gambaran perlunya penelitian ini dilakukan. Kemudian penyusunan landasan teori untuk penelitian juga dibuat pada tahapan ini.

2. Tahap pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi dan pengumpulan data-data yang akan digunakan dalam penelitian. Data-data tersebut dikumpulkan dengan cara observasi secara langsung disertai dengan pengukuran pada objek penelitian yang bersangkutan. Data-data yang diperlukan antara lain data antropometri, postur tubuh pekerja, rangkain operasi kerja, dan bentuk serta dimensi mesin.

3. Tahap pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan metode simulasi menggunakan *software* ergonomi bernama *Jack software*. Data-data yang telah dikumpulkan akan diterjemahkan ke dalam bentuk simulasi virtual dengan cara membuat mesin-mesin tersebut pada lingkungan virtual, serta membuat model manusia dengan memasukan data antropometri dan postur tubuh pekerja pada *software* Jack. Simulasi gerakan kerja akan dilakukan pada setiap konfigurasi stasiun kerja yang telah dirancang, untuk kemudian dianalisis secara lebih lanjut.

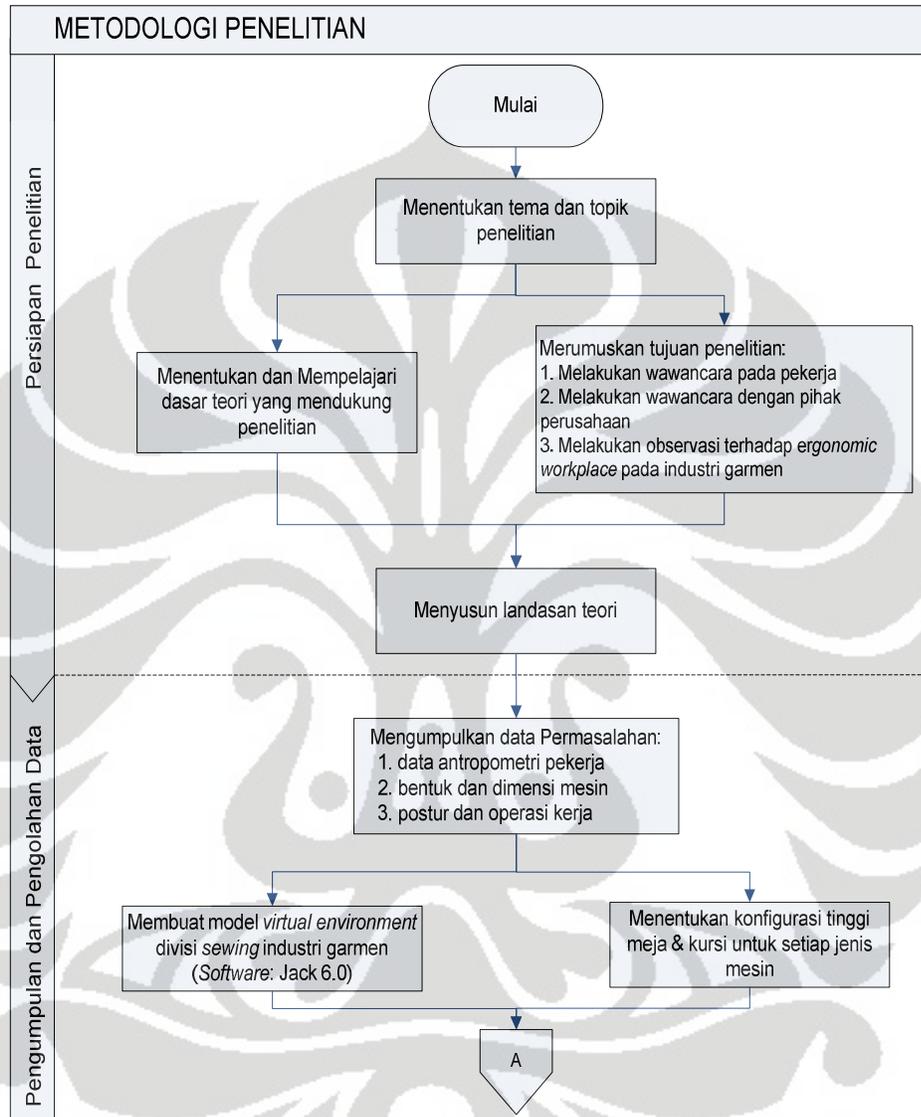
4. Tahap analisis data

Analisis dilakukan dengan cara pengolahan hasil simulasi yang dikeluarkan oleh *software* Jack sehingga didapatkan nilai *Postur 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 stasiun kerja yang ada.

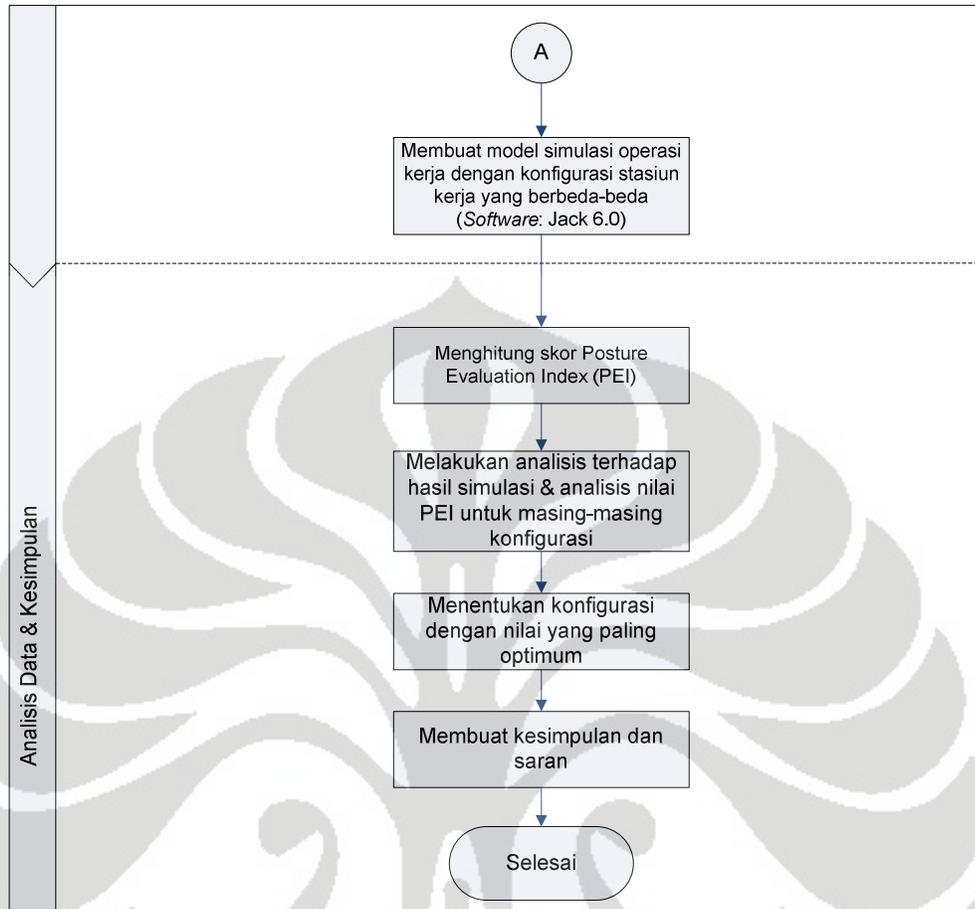
5. Tahap penarikan kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat dan model simulasi kerja yang telah dirancang maka keseluruhan penelitian ini dapat disimpulkan untuk kemudian

diberikan saran dan masukan yang berguna bagi pihak yang terkait dengan penelitian ini.



Gambar 1. 3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. 3 Diagram Alir Penelitian (Sambungan)

1.7 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penulisan 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 yang ada, beserta ruang lingkup yang membatasi penelitian ini. 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 *ergonomic*

design, antropometri, risiko cedera muskuloskeletal, *Postur 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 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 pada divisi *sewing* dengan menggunakan model simulasi juga akan dijelaskan pada bagian ini.

Bab 4 menjelaskan tentang analisis dari data-data yang telah diolah pada bab sebelumnya untuk kemudian dibuat sebuah konfigurasi mengenai kondisi kerja yaitu ketinggian meja yang ideal bagi operator mesin kerja pada industri garmen.

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

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Ergonomi

2.1.1 Pengertian Ergonomi

Ergonomi atau yang dikenal dengan istilah lain yaitu *human factors*, merupakan suatu ilmu yang mempelajari manusia dan interaksi mereka dengan lingkungan kerja beserta peralatan, produk, dan fasilitas yang mereka gunakan sehari-hari, dalam rangka menyesuaikan lingkungan kerja dan peralatan tersebut agar lebih sesuai dengan kebutuhan dan batas kemampuan mereka⁵.

Tujuan dari ilmu ergonomi terbagi menjadi dua. Pertama adalah meningkatkan efisiensi dan efektifitas pekerjaan, termasuk di dalamnya meningkatkan keserasian dan mengurangi kesalahan kerja dalam rangka meningkatkan produktivitas. Tujuan yang kedua adalah meningkatkan segi keselamatan kerja, mengurangi kelelahan dan ketegangan mental, serta meningkatkan kenyamanan kerja sehingga dapat tercapai peningkatan kepuasan pekerja.

Pendekatan ergonomi merupakan gabungan antara informasi-informasi yang relevan mengenai batas kemampuan, karakteristik, dan perilaku manusia yang berfungsi sebagai dasar pembuatan prosedur dan desain peralatan kerja beserta lingkungan dimana mereka melakukan pekerjaan tersebut. Penelitian ergonomi meliputi hal-hal yang berkaitan, yaitu:

- a. Anatomi (struktur tubuh), fisiologi, dan antropometri (ukuran) tubuh manusia
- b. Psikologi yaitu mengenai sistem otak dan jaringan syaraf yang berperan dalam tingkah laku manusia
- c. Kondisi-kondisi kerja yang dapat mencederai baik dalam jangka waktu yang pendek maupun panjang, dan sebaliknya kondisi-kondisi kerja yang nyaman bagi pekerja

Ilmu ergonomi diterapkan pada berbagai macam aspek kerja, diantaranya:

1. Posisi kerja

⁵ Mark Sanders dan Ernest McCormick, *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*, McGraw-Hill, Inc, New York, 1993.

Posisi berdiri dan posisi duduk merupakan posisi kerja yang sering dievaluasi dengan menggunakan pendekatan ergonomi. Posisi berdiri yang ideal merupakan posisi dimana letak tulang belakang vertikal dan berat badan tertumpu secara seimbang pada kedua kaki. Sedangkan posisi duduk ideal merupakan posisi dimana kaki tidak terbebani dengan berat tubuh dan stabil selama bekerja

2. Proses kerja

Pendekatan ergonomi digunakan untuk mengevaluasi jangkauan dan gerakan kerja agar sesuai dengan ukuran antropometri pekerja dan posisi sewaktu bekerja

3. Tata letak tempat kerja

Evaluasi tata letak menekankan pada kemudahan meraih dan kejelasan penglihatan pada saat melakukan suatu pekerjaan.

4. Pengangkatan beban

Pendekatan ergonomi digunakan untuk mencari solusi optimal dalam mengangkat suatu beban, sehingga beban yang diangkat tidak menimbulkan gangguan cedera pada tulang punggung, leher, bahu dan anggota tubuh lainnya

2.1.2 Risiko Kesalahan Ergonomi

Peristiwa kecelakaan maupun cedera dalam aktivitas kerja dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik yang disebabkan oleh pihak pekerja maupun yang disebabkan oleh keadaan lingkungan. Tabel 2.1 berikut ini menunjukkan risiko-risiko yang umum terjadi pada aktivitas kerja:

Tabel 2. 1. Tabel Risiko Kesalahan Ergonomi

NO.	FAKTOR RISIKO	DEFINISI
1	Pengulangan yang banyak	Menjalankan gerakan yang sama berulang-ulang
2	Beban berat	Beban fisik yang berlebihan selama bekerja (menarik, memukul, mendorong, dll). Semakin banyak daya yang harus dikeluarkan, semakin berat beban bagi tubuh
3	Postur yang kaku	Menekuk atau memutar bagian tubuh
4	Beban Statis	Bertahan lama pada satu postur sehingga menyebabkan kontraksi otot
5	Tekanan	Tubuh tertekan pada suatu permukaan atau tepian
6	Getaran	Menggunakan peralatan yang memiliki getaran yang kuat
7	Dingin atau panas yang ekstrim	Dingin dapat mengurangi daya sentuh, arus darah, kekuatan dan keseimbangan. Panas dapat menyebabkan kelelahan
8	Organisasi kerja yang buruk	Termasuk di dalamnya bekerja mengikuti irama mesin, istirahat yang tidak cukup, kerja yang monoton, serta beberapa pekerjaan yang harus dikerjakan dalam satu waktu.

Sumber: Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi Industri, Departemen Pendidikan Nasional, 2008

2.1.2.1 Fatigue

Setelah pekerja melakukan aktivitas pada rentang waktu tertentu maka umumnya akan muncul gejala kelelahan pada tubuh. Beberapa ahli membedakan kelelahan dalam beberapa jenis, yaitu:

- Kelelahan fisik

Kelelahan fisik diakibatkan oleh aktivitas kerja yang berlebihan, namun performa tubuh masih dapat dikompensasi dan diperbaiki seperti semula. Jika tidak terlalu berat kelelahan ini dapat hilang setelah melalui istirahat dan tidur yang cukup.

- Kelelahan patologis

Kelelahan ini muncul seiring dengan penyakit yang diderita, seringkali muncul secara tiba-tiba dan memiliki gejala yang cukup berat.

- Kelelahan psikologis dan *emotional fatigue*

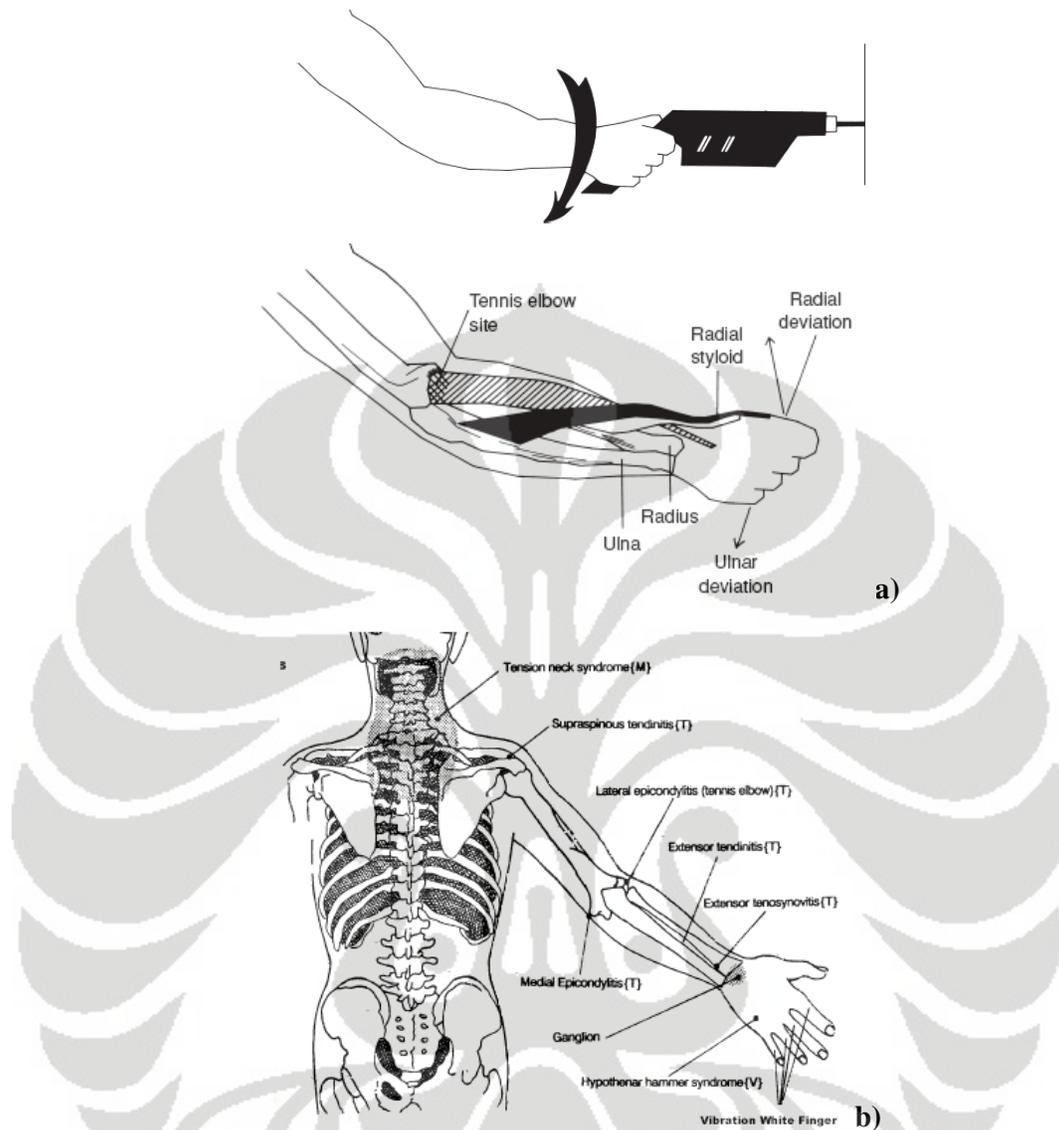
Kelelahan ini merupakan suatu bentuk yang umum. Kemungkinan merupakan sejenis mekanisme melarikan diri dari kenyataan pada penderita psikosomatik. Semangat yang baik dan motivasi kerja akan mengurangi angka kejadiannya di tempat kerja.

Tes kelelahan dapat dilakukan dengan memeriksa kecepatan reflek jari dan mata, serta kecepatan dalam mendeteksi sinyal. Persoalan yang perlu diperhatikan adalah apabila kelelahan yang terjadi berkaitan dengan masalah ergonomi yang ada di tempat kerja. Karena desain ergonomi yang kurang baik sedikit banyak akan mempercepat terjadinya kelelahan pada pekerja.

2.1.2.2 *Work-Related Musculoskeletal Disorder (WMSD)*

WMSD atau cedera muskuloskeletal yang terkait dengan pekerjaan, terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Sebaliknya, keluhan otot kemungkinan tidak terjadi apabila kontraksi otot hanya berkisar antara 15 – 20 % dari kekuatan otot maksimum. Namun apabila kontraksi otot melebihi 20%, maka peredaran darah ke otot akan berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen yang menurun menyebabkan proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang akan menyebabkan timbulnya rasa nyeri pada otot⁶.

⁶ P.K. Suma'mur, *Ergonomi Untuk Produktivitas Kerja*. Yayasan Swabhawa Karya, Jakarta, 1982



Gambar 2. 1 Gambaran Umum Dari Bagian Tubuh Yang Rentan Terkena Cedera Muskuloskeletal a) lengan bawah, pergelangan dan telapak tangan, b) anggota tubuh bagian atas (Upper Limb).

Sumber: Bridger.R.S, *Introduction to Ergonomics*, Taylor & Francis, London, 2003, p.1. telah diolah kembali

Istilah lain dari WMSD antara lain adalah: *Repetitive Strain Injury (RSI)*, *Cumulative Trauma Disorder (CTD)*, *repetitive strain disorder*, dan *occupational overuse syndrome*. RSI terjadi saat otot, saraf, atau tendon menjadi radang atau teriritasi. RSI sering terjadi pada orang yang memiliki radang sendi karena kecelakaan olahraga atau kecelakaan di tempat kerja. Hal ini disebabkan dari seringnya melakukan gerakan yang repetitif, menggunakan kekuatan berlebihan,

atau melakukan pergerakan yang ekstrem. Penyebab dari cedera muskuloskeletal antara lain:

1. Pekerjaan yang bersifat repetitif (gerakan sedikit dan cepat yang berulang)
2. Posisi duduk atau berdiri yang tidak alami
3. Perpindahan beban yang berat (menggunakan kekuatan atau memindahkan beban yang berat)
4. Kurangnya waktu istirahat

Gejala dari cedera muskuloskeletal dapat dilihat dari beberapa gejala berikut ini:

1. Otot menegang pada tangan, pergelangan tangan, jari, lengan, bahu, atau lengan
2. Tangan dingin
3. Koordinasi tangan berkurang
4. Kesakitan pada bagian tubuh tertentu

Tindakan preventif yang dapat dilakukan untuk mencegah timbulnya keluhan cedera muskuloskeletal antara lain:

1. Memastikan bahwa stasiun kerja terasa nyaman
2. Melakukan istirahat secara berkala sebelum gejala sakit atau ketidaknyamanan meningkat
3. Menggunakan waktu untuk melakukan peregangan dan latihan dengan hati-hati selama waktu istirahat tersebut
4. Meluncurkan atau menggelindingkan objek jika memungkinkan⁷

2.1.2.3 Repetitive Task

Gerakan yang dilakukan secara berulang-ulang merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan muskuloskeletal pada tubuh. Namun, efek gangguan cedera akibat kegiatan yang berulang tersebut dapat diminimalkan apabila pekerjaan dilakukan dengan mengikuti prinsip-prinsip ergonomi yang ada. Tabel berikut merupakan beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengevaluasi kegiatan yang bersifat repetitif tersebut:

⁷ Anon., Repetitive Strain Injury, 2002, http://www.articleset.com/Health_articles_en_Repetitive-Strain-Injury.htm, (last updated 28 Sep 2002, accessed 24 Apr 2007)

Tabel 2. 2 Metode Identifikasi Ergonomi Untuk Kegiatan Repetitif

Metode	Karakteristik Utama	Output	Bagian Tubuh Yang Dianalisa
OWAS	Analisa terhadap postur tubuh pada beberapa segmen tubuh dan juga mempertimbangkan frekuensi gerak tubuh setiap <i>shift</i> .	Kuantitatif	Seluruh Anggota Tubuh
RULA	Melakukan analisa terhadap postur tubuh baik yang statis maupun dinamis dengan mempertimbangkan faktor <i>force</i> dan frekuensi tindakan. Hasilnya berupa <i>exposure score</i> .	Kuantitatif	Anggota tubuh bagian atas
REBA	Sama dengan RULA, mempertimbangkan seluruh segmen anggota tubuh dan juga berat beban yang diangkat.	Kuantitatif	Seluruh Anggota Tubuh
PLIBEL	Checklist untuk mengidentifikasi faktor resiko pada setiap segmen tubuh yang berbeda.	Kuantitatif	Seluruh Anggota Tubuh
Strain Index	Metode yang detail dimana mempertimbangkan faktor resiko, intensitas, durasi kerja, usaha per menit, postur tangan, kecepatan kerja.	Kuantitatif	Anggota tubuh bagian atas
QEC	Metode yang mengestimasi <i>level exposure</i> dengan mempertimbangkan factor postur tubuh, <i>force</i> , beban (load), durasi aktivitas dengan <i>hypothesized scores</i> .	Kuantitatif	Seluruh Anggota Tubuh
OSHA Checklist	Checklist ini merupakan pengembangan standar OSHA dengan mempertimbangkan keberulangan, postur tubuh yang kaku, <i>force</i> , faktor tambahan, faktor organisasi.	Kuantitatif	Anggota tubuh bagian atas

Tabel 2. 3 Metode Identifikasi Ergonomi Untuk Kegiatan Repetitif (Sambungan)

OCRA Index	Metode detail yang mempertimbangkan berbagai factor-faktor resiko yaitu: frekuensi tindakan teknis, keberulangan, postur yang kaku, <i>force</i> , faktor tambahan, periode pemulihan, dan durasi dari <i>repetitive task</i> .	Kuantitatif	Anggota tubuh bagian atas
OCRA Checklist	Metode semi-detail, mempertimbangkan cara yang <i>simple</i> , factor resiko, <i>level exposure</i> diklasifikasikan ke dalam 3 zona. Juga diaplikasikan pada <i>multitask repetitive job</i> .	Kuantitatif	Anggota tubuh bagian atas

Sumber: Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi Industri, Departemen Pendidikan Nasional, 2008

2.2 Workplace Ergonomic

Desain dari stasiun kerja mempunyai kaitan yang erat dengan kesehatan, kenyamanan dan performa kerja pada suatu industri manufaktur. Stasiun kerja yang ergonomis (*workplace ergonomic*) harus dapat mengakomodasi karakteristik dari pekerja dan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja tersebut. Secara umum terdapat dua jenis postur kerja yang umum ditemui dalam suatu industri manufaktur, yaitu pekerjaan dalam posisi duduk (*sitting work*) dan posisi berdiri (*standing work*).

Posisi berdiri pada saat bekerja sangat dipengaruhi oleh ketinggian alas kerja (*work-surface height*) dalam hal ini adalah ketinggian meja kerja. Ketinggian meja yang digunakan untuk bekerja dipengaruhi oleh jenis pekerjaan. Beberapa rekomendasi ketinggian meja kerja yang ideal sesuai jenis pekerjaan untuk *standing workstation* adalah⁸:

- 4 inci di atas tinggi siku untuk jenis pekerjaan yang membutuhkan ketelitian (*precision work*), seperti: mengetik atau *electronic assembly*

⁸ *Standing Workstation Guidelines*, 2009, < <http://www.scif.com/safety/ergomatters/StandingGuidelines.html>>

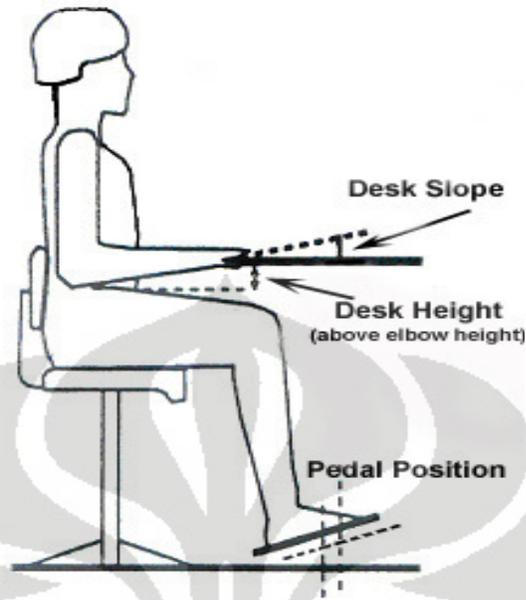
- sejajar dengan tinggi siku untuk jenis pekerjaan mekanik atau *assembly line (light work)*
- 4 sampai 6 inci di atas tinggi siku untuk jenis pekerjaan mendorong, menarik, mengangkat, atau memindahkan yang membutuhkan banyak gaya (*heavy work*)

Rekomendasi rancangan stasiun kerja untuk pekerja dengan posisi berdiri sangat dipengaruhi oleh tinggi siku yang ada pada populasi pekerja. Tinggi siku (*elbow height*) merupakan jarak antara permukaan lantai dengan siku pekerja yang berada pada posisi berdiri.

Sedangkan untuk pekerjaan yang dilakukan pada posisi duduk, selain dipengaruhi oleh ketinggian alas kerja (*work-surface height*), juga dipengaruhi oleh ketinggian kursi kerja. Ketinggian meja yang dianjurkan pada pekerjaan dengan posisi duduk adalah 5 cm, 10 cm dan 15 cm di atas *sitting elbow height* (tinggi siku duduk)⁹. Tinggi siku duduk merupakan jarak antara lantai dengan siku pekerja yang berada pada posisi duduk. Sedangkan tinggi kursi didapatkan dengan mengurangi tinggi meja kerja yang didapat dengan tinggi siku duduk tersebut.

Gambar berikut ini menunjukkan postur kerja yang ideal bagi pekerja yang mengoperasikan mesin jahit.

⁹Balraj Singh Brar, Chandandeep Singh Grewal and Kuldeep Kumar Sareen, *Ergonomics Considerations in Sewing Machine Work Station Design*, India, 2008



Gambar 2. 2Parameter Untuk Desain Stasiun Kerja Mesin Jahit

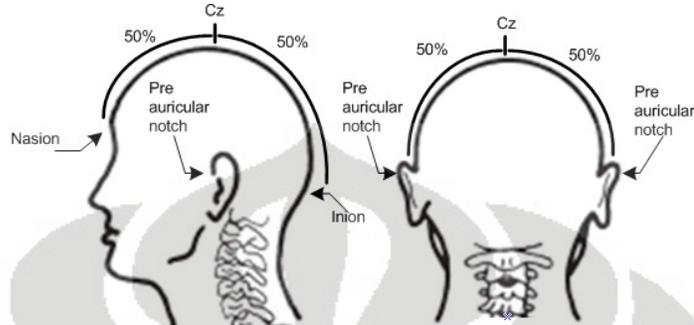
2.3 Antropometri

Antropometri berhubungan dengan pengukuran suatu dimensi dan karakteristik tertentu dari tubuh seperti volume, pusat gravitasi, sifat kelembaman, serta massa dari segmen tubuh. Antropometri merupakan elemen penting di dalam melakukan penanganan terhadap permasalahan desain ergonomi. Terdapat dua jenis tipe pengukuran tubuh, yaitu statis dan dinamis. Sedangkan aplikasi dari kedua jenis data tersebut pada perancangan peralatan dan benda-benda yang digunakan oleh manusia disebut dengan antropometri teknik (*engineering anthropometry*).

2.3.1 Antropometri Statis

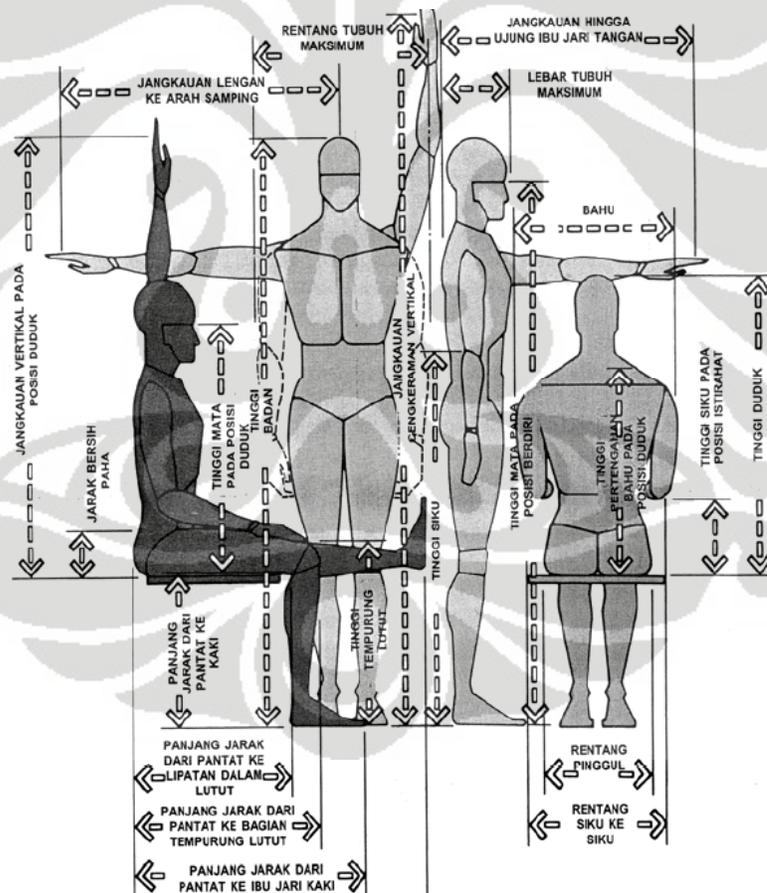
Dimensi statis merupakan pengukuran yang dilakukan pada waktu tubuh berada pada kondisi diam (statis). Pengukuran ini meliputi dimensi kerangka (antara pusat persendian: seperti antara persendian siku dan pergelangan tangan) seperti yang terlihat pada gambar 2.2, atau dimensi kontur (dimensi permukaan kulit, antara lain lingkaran kepala) seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Pengukuran tubuh ini bervariasi akibat adanya fungsi umur, gender, dan populasi etnis yang berbeda-beda (Stoudt, 1981). Oleh karena itu, perbedaan dimensi antropometri diantara orang-orang yang memiliki pekerjaan berbeda umum

dijumpai. Hal tersebut diakibatkan oleh berbagai faktor termasuk beban kerja yang berbeda, jenis aktivitas fisik yang dilakukan, serta persyaratan kerja tertentu demi alasan sosiologis dan kepraktisan.



Gambar 2. 3 Struktur lingkaran kepala

Sumber: Bridger.R.S, *Introduction to Ergonomics*, Taylor & Francis, London, 2003, p.1., telah diolah kembali



Gambar 2. 4 Struktur antropometri tubuh manusia

(Sumber: *Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi Industri*, Departemen Pendidikan Nasional, 2008)

2.3.2 Antropometri Dinamis

Pengukuran dinamis merupakan pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam kondisi bergerak atau pengukuran gerakan-gerakan yang mungkin terjadi pada saat pekerja melaksanakan suatu kegiatan. Pada sebagian besar aktivitas fisik (menyetir mobil, merakit barang, atau meraih benda) setiap anggota tubuh berfungsi secara bersamaan. Sebagai contoh, batas jangkauan tangan tidak hanya dipengaruhi oleh panjang lengan, tetapi juga dipengaruhi oleh pergerakan bahu, perputaran batang tubuh dan tulang belakang, serta gerakan tangan.

2.3.3 Penggunaan Data Antropometri

Dalam menggunakan data antropometri untuk mendesain suatu produk atau stasiun kerja, data tersebut harus dapat merepresentasikan populasi manusia yang akan menggunakannya. Atau dengan kata lain, desain tersebut harus dapat mengakomodasi populasi pengguna yang memiliki ukuran tubuh yang beragam.

Penentuan dimensi untuk perancangan sebuah produk dapat dilakukan dengan menggunakan nilai persentil dari populasi. Nilai *95th percentile*, menandakan bahwa 95 persen dari populasi berada dibawah nilai tertinggi atau mewakili sebagian besar populasi. Nilai *50th percentile* menandakan nilai tengah (median), dimana 50 persen populasi berada di atas median, dan sisanya berada di bawah median. Sedangkan *5th percentile* menandakan bahwa hanya 5 persen dari populasi yang berada dibawah nilai terendah, atau hanya mewakili sebagian kecil populasi.

Terdapat 3 prinsip umum dalam mengaplikasikan data antropometri pada suatu aktivitas perancangan tertentu, yaitu:

1. Desain untuk individu dengan ukuran ekstrim

Dalam beberapa kondisi, dimensi desain yang spesifik dapat menjadi faktor yang membatasi penggunaan suatu fasilitas oleh individu. Untuk mengatasi keterbatasan penggunaan oleh individu yang memiliki ukuran tubuh yang ekstrim (terlalu besar ataupun terlalu kecil dibandingkan rata-rata), maka perlu digunakan nilai parameter maksimum dan minimum yang mampu mengakomodasi ukuran yang ekstrim tersebut.

Parameter pengukuran yang digunakan untuk dimensi maksimum adalah dengan menggunakan persentil 95 dari ukuran tubuh laki-laki, sedangkan parameter pengukuran untuk dimensi minimum menggunakan persentil 5 dari ukuran tubuh perempuan. Penggunaan kedua persentil ini dapat mengakomodasi keseluruhan populasi

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

Beberapa peralatan seperti bangku mobil dan kursi kantor dapat didesain sedemikian rupa sehingga dapat disesuaikan pada individu yang menggunakannya. Desain untuk peralatan jenis ini menggunakan rentang ukuran persentil antara persentil 5 dari tubuh perempuan dan persentil 95 dari ukuran tubuh laki-laki. Desain dengan jarak yang dapat disesuaikan merupakan metode desain yang ideal, namun tidak selalu memungkinkan untuk menerapkan hal tersebut pada sebuah desain.

3. Desain untuk ukuran rata-rata

Seorang individu mungkin memiliki ukuran rata-rata pada beberapa ukuran dimensi tubuhnya, namun hampir mustahil untuk menentukan ukuran rata-rata manusia. Namun, seringkali ukuran rata-rata diambil untuk mengatasi kompleksitas dari ukuran antropometri. Suatu ukuran rata-rata dapat diterima apabila situasinya tidak meliputi pekerjaan yang bersifat kritis dan dilakukan setelah melalui pertimbangan yang hati-hati, serta bukan sebagai jalan keluar desain yang bersifat praktis.

2.4 *Virtual Environment*

Virtual Environment (VE) atau yang juga dikenal dengan istilah *Virtual Reality* (VR) merupakan representasi tiruan sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis (tiruan) yang memiliki kemiripan dengan lingkungan nyata¹⁰. Pengertian lain dari VE yaitu merupakan 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

¹⁰ R. Kalawsky, *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Addison-Wesley Publishing Company, Gambridge, 1993, hal. 396.

berinteraksi dengan lingkungan dan objek yang ada pada lingkungan virtual tersebut. Hasil manipulasi pada VE harus memiliki ekuivalensi dengan hasil manipulasi yang berada pada lingkungan nyata dalam hal interaksi manusia dengan objek, dan interaksi antar objek.

Analisis dengan menggunakan VE dapat berlangsung dengan dua cara, yaitu dengan membuat simulasi manusia virtual yang berinteraksi pada lingkungan virtual, maupun dengan interaksi langsung antara pengguna dengan lingkungan virtual dengan menggunakan teknologi *Virtual Reality (VR) interface* seperti kacamata *display*, sarung tangan khusus, *headphone*, dan *tactile feedback device* untuk tubuh¹¹. Teknologi tersebut memungkinkan pengguna untuk pindah ke lingkungan virtual tanpa harus melakukan perpindahan secara fisik.

VE dan VR dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam pengumpulan data dan penelitian, antara lain¹²:

- Operasi kerja di lingkungan yang berbahaya
yaitu simulasi kerja bagi orang-orang yang bekerja di tempat kerja yang mengandung unsur *radioactive* atau zat racun, serta orang-orang yang bekerja di luar angkasa dapat melakukan penanganan material yang sifatnya berbahaya
- Visualisasi ilmiah
VE dan VR mendukung adanya *feedback* grafis secara *real-time* selama simulasi berlangsung sehingga peneliti dapat berkonsentrasi terhadap area-area penelitian yang penting
- Kedokteran
Dengan adanya VE dan VR maka akan sangat memungkinkan untuk membuat tampilan pasien virtual yang realistis. Simulasi fisiologis tubuh manusia ini dapat digunakan untuk mengetahui efek dari berbagai penyakit dan juga penggantian organ terhadap tubuh manusia seperti layaknya yang terjadi di dunia nyata.
- Rehabilitasi dan bantuan untuk orang-orang cacat

¹¹ Timo Määttä, *Virtual Environments in Machinery Safety Analysis*, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, 2003, hal 45.

¹² Roy C. Davies, *Application of Systems Design Using Virtual Environment*, University of Lund, Sweden, 2000.

Penelitian yang ada menunjukkan bahwa VE dan VR dapat digunakan untuk membuat kotak dialog berdasarkan isyarat tangan. Kotak dialog ini dibuat berdasarkan *American Sign Language* dan dapat membantu komunikasi untuk manusia yang tuli. Manfaat lainnya adalah penggunaan teknik VR untuk memperbaiki kondisi pasien cacat yang mengalami gangguan otak.

- Visualisasi arsitektur

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

- Desain

VE dan VR menyediakan peralatan 3D yang sangat bermanfaat dalam pembuatan desain barang-barang 3D. Contoh desain 3D adalah desain interior dan eksterior dari mobil

- Simulasi ergonomi

VE dan VR adalah *tool* yang sangat bermanfaat untuk membuat simulasi situasi baru terutama untuk menguji aspek efisiensi dan ergonomi. Contoh simulasi yang dapat dibuat adalah, simulasi bandara, stasiun kereta, rumah sakit, pabrik, *assembly line*, kabin pilot, *control panel* pada kendaraan dan mesin, dan lain-lain.

- *Entertainment*

VE dan VR dapat membuat simulasi dari game, taman bermain, dan kasino.

2.5 Software Jack

Software Jack 6.0, merupakan salah satu *software* ergonomi terbaru yang dapat 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. Dimana, kondisi postur tubuh dan ukuran data antropometri manusia virtual tersebut dapat disesuaikan dengan

manusia nyata yang menjadi model dari simulasi tersebut. Beberapa kemampuan yang dimiliki oleh *software* Jack antara lain:

- memasukkan pria dan wanita digital dan mengatur skala mereka berdasarkan tinggi dan berat badan
- membuat postur manusia digital dengan memanipulasi sendi-sendi manusia tersebut
- mengevaluasi apa saja yang dapat dilihat seorang manusia dari sudut pandang mereka dengan memanfaatkan tampilan dari *feature view cone*
- mengevaluasi kemampuan menjangkau dari manusia digital
- menentukan reaksi perilaku ketika manusia bekerja dengan postur tertentu
- mengimpor gambar CAD sehingga pengguna dapat mendesain *virtual environment* secara lebih fleksibel

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam menciptakan suatu model pada *software* Jack adalah sebagai berikut.

1. Membangun sebuah lingkungan virtual (*virtual environment*)
2. Menciptakan manusia virtual
3. Memposisikan manusia virtual di dalam *virtual environment* tersebut
4. Memberikan tugas kepada manusia virtual untuk berinteraksi dengan objek dan melakukan gerakan tertentu
5. Menganalisa performa manusia virtual tersebut



Gambar 2.5 Contoh Tampilan Manusia Virtual Pada Software Jack
Sumber: *Siemens PLM Software Inc.*, 2008, hal.xiv

Di dalam *software* Jack, terdapat *tools* analisa yang dapat digunakan untuk mengukur performa dari manusia virtual yang telah diberikan suatu tugas tertentu, yaitu *Task Analysis Toolkit* (TAT). TAT merupakan sebuah alat analisa faktor manusia yang akan membantu penggunaannya dalam mendesain area kerja yang lebih baik dan juga memperbaiki eksekusi dari sebuah operasi pekerjaan. Alat ini akan sangat berguna terutama ketika seorang desainer sedang mengembangkan model desain tempat kerja dan operasi pekerjaan karena aspek manusia dapat diperhitungkan dalam proses desain sehingga dapat lebih dipastikan tingkat kenyamanan pekerja di dalamnya. Di dalam TAT terdapat 9 *tools* analisa ergonomi yang memiliki fungsi sebagai berikut:

1. *low-back spinal force analysis tool*, berguna dalam mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu
2. *static strength prediction tool*, berguna dalam mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan antropometri
3. *NIOSH lifting analysis tool*, berguna dalam mengevaluasi pekerjaan yang melibatkan proses pengangkatan suatu benda, dan penilaian dilakukan berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh NIOSH
4. *predetermined time analysis tool*, berguna dalam memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*
5. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA) tool*, berguna dalam mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan pada tubuh bagian atas
6. *manual handling limits tool*, berguna dalam mengevaluasi dan mendesain pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang
7. *working posture analysis (OWAS) tool*, berguna dalam menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan suatu operasi kerja

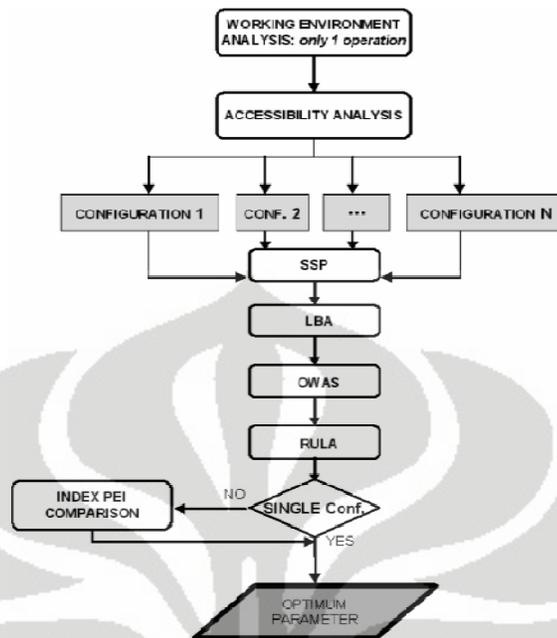
8. *metabolic energy expenditure tool*, berguna untuk memprediksi kebutuhan energi yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan
9. *fatigue and recovery time analysis tool*, berguna dalam memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja

2.6 Metode *Postur Evaluation Index* (PEI)

Permasalahan dalam melakukan optimasi dari sebuah tempat kerja adalah bagaimana mendesain tempat kerja yang dapat mengakomodasi kenyamanan operator yang memiliki perbedaan antropometri selama proses kerja berlangsung. Optimasi terhadap sebuah tempat kerja juga terikat dengan ketat pada tata letak elemen-elemen fisik yang berada di area kerja tersebut. Untuk itulah dikembangkan suatu metode yang didasari oleh alat ukur penilaian kerja (*Task Analysis Toolkit*) dari sebuah aplikasi bernama *JACK software* yang disebut dengan metode *Postur Evaluation Index* (PEI)¹³.

Diantara alat ukur penilaian kerja yang ada pada *JACK software* (*NIOSH Lifting Analysis, Low Back Analysis, RULA, OWAS*, dll.) tidak terdapat sebuah metode yang dapat memberikan solusi yang menyeluruh antara satu dan lainnya. Untuk mendapatkan kombinasi penilaian secara keseluruhan itulah metode PEI dapat digunakan. Tujuan dari metode PEI adalah menetapkan optimasi secara ergonomi pada sebuah operasi yang berada di sebuah area kerja. Namun, secara umum PEI tidak dapat digunakan apabila terdapat lebih dari satu operasi pada area kerja yang ada. Gambar 2.6 ini menunjukkan diagram alir dari pendekatan yang menggunakan metode PEI.

¹³ F. Caputo, G. Di Gironimo, A. Marzano, *Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment*, University of Naples, Italy, 2006.



Gambar 2. 6 Diagram Alir Metode PEI

Postur Evaluation Index (PEI) bertujuan untuk memberikan sebuah penilaian optimal diantara solusi perbaikan berupa kombinasi-kombinasi postur pada sebuah operasi di stasiun kerja. Komparasi penilaian tersebut memungkinkan kita untuk mengklasifikasikan risiko-risiko yang mungkin terjadi pada operator yang memiliki keluhan cedera muskuloskeletal pada jangka waktu menengah hingga lama. Metode PEI terdiri dari 7 fase, yaitu:

1. Analisis lingkungan Kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan alternative-alternatif pergerakan alternatif memungkinkan. Secara umum, pada fase ini peneliti harus mencoba untuk memahami factor-faktor yang akan berkontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil, mencakup: rute alternatif, postur dan kecepatan eksekusi pekerjaan. Dalam simulasi di *virtual environment*, sangatlah penting melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternatif gerakan. Hal ini bertujuan untuk memverifikasi kelayakan tugas yang dilakukan operator. Diantara seluruh fase dalam metode PEI ini, fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena pada fase ini peneliti harus membuat *real-time simulation* dalam jumlah yang sangat banyak

dengan adanya kemungkinan beberapa simulasi yang telah dibuat tersebut tidak akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

2. Analisis jangkauan dan aksesibilitas

Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu memerlukan studi pendahuluan untuk mengevaluasi aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Misalkan, pada saat operator melakukan kegiatan mengangkat, terdapat kemungkinan rak tempat meletakkan benda terlalu tinggi sehingga tidak dapat dijangkau oleh operator, akibatnya operator tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang tidak memuaskan pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Dari analisa lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas, konfigurasi yang akan dianalisa pada fase berikutnya dapat ditentukan. Jika jumlah konfigurasi yang dilaksanakan terlalu banyak, maka prosedur *Design of Experiment* (DOE) dapat diterapkan.

3. Analisis *Static Strength Prediction* (SSP)

Pada tahapan ini maka akan dinilai apakah pekerjaan yang dilakukan dapat dipertimbangkan dalam analisis selanjutnya. Pekerjaan tersebut dipertimbangkan untuk tahap analisis selanjutnya jika nilai skor SSP yang dikeluarkan software Jack minimal 90%. Pekerjaan yang memiliki skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut (hasil wawancara dengan Adelaide Marzano salah satu anggota dari tim pengembang metode PEI dan WEI, 11 Mei 2009).

4. Penilaian *Low Back Analysis* (LBA)

Analisa ini mengevaluasi secara *real time* beban yang diterima oleh bagian tulang belakang model manekin saat melakukan tugas yang diberikan. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu 3400 N.

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

Pada tahap ini maka akan dievaluasi tingkat kenyamanan pekerja ketika melakukan suatu pekerjaan. Analisa yang dikeluarkan oleh OWAS juga

memberikan rekomendasi perlunya perbaikan postur kerja atau tidak. Indeks tingkat kenyamanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan yang ada pada OWAS yaitu 4.

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

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

7. Perhitungan skor PEI

PEI merupakan integrasi dari hasil penilaian menggunakan metode *Low Back Analysis*, OWAS, dan RULA yang dirangkum ke dalam tiga variabel adimensional I_1 , I_2 dan I_3 . Variabel I_1 menunjukkan evaluasi dari nilai LBA dengan batas *compression strength* yang mengikuti standar NIOSH (3400 N). Variabel I_2 dan I_3 menunjukkan index OWAS yang dibagi dengan nilai kritisnya ("3") dan index RULA yang dibagi dengan nilai kritisnya ("5"). Berikut persamaan dari metode PEI:

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

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

$$I_2 = OWAS/4$$

$$I_3 = RULA/7$$

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

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

- Prinsip faktor risiko untuk pekerjaan yang membutuhkan pengangkutan beban meliputi: pengulangan kerja, frekuensi, postur, usaha, dan *recovery time*
- Faktor yang paling mempengaruhi evaluasi dari pelaksanaan kerja adalah postur yang ekstrim, khususnya di bagian tubuh atas, serta aktivitas kerja yang membutuhkan usaha cukup tinggi

Variabel-variabel yang mendefinisikan PEI, bergantung kepada tingkat ketidaknyamanan dari postur kerja yang diteliti: dimana semakin besar ketidaknyamanan, semakin besar nilai dari I_1 , I_2 , I_3 dan semakin besar pula nilai PEI. Sehingga dengan kata lain, PEI menunjukkan kualitas dari sebuah postur

kerja dengan nilai minimal menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan postur kerja yang memiliki nilai lebih besar. Untuk menjamin kesesuaian kerja dengan standard keselamatan dan kesehatan, postur dengan nilai index I_l melebihi atau sama dengan 1 dianggap tidak berlaku. Postur yang memiliki nilai tersebut memiliki *compression strength* pada ruas L4 dan L5 tulang belakang yang melebihi standar NIOSH yaitu 3400 N.

Keempat *tools* penilaian yang digunakan dalam perhitungan nilai PEI merupakan *tools* penilaian ergonomi pada *task analysis toolkit* yang terdapat di dalam *software* Jack, yaitu SSP, LBA, OWAS dan RULA.

2.6.1 Metode *Static Strength Prediction* (SSP)

Static Strength Prediction (SSP) merupakan metode peninjauan yang berfokus pada penelitian ergonomi pekerja pada sebuah rangkaian kerja yang memiliki karakteristik tertentu, dimana pekerjaan yang dilakukan membutuhkan kekuatan dan pergerakan tersendiri dari pekerja yang memiliki gender, umur, dan tinggi tertentu¹⁴.

Prinsip dasar dari SSP adalah sebagai berikut¹⁵:

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

SSP digunakan untuk mengevaluasi persentase dari keseluruhan populasi pekerja yang memiliki kemampuan untuk melakukan suatu tugas atau pekerjaan yang membutuhkan karakteristik postur, antropometri, dan persyaratan tertentu tersebut. Secara keseluruhan, SSP bertujuan untuk:

- Menganalisa pekerjaan yang berhubungan dengan pengoperasian material yang meliputi: pengangkatan barang, penurunan barang, mendorong, dan menarik, yang membutuhkan pergerakan pada pinggang, serta gerakan tangan dan gaya yang kompleks
- Memprediksikan persentase pekerja wanita dan pria yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan yang telah ditentukan

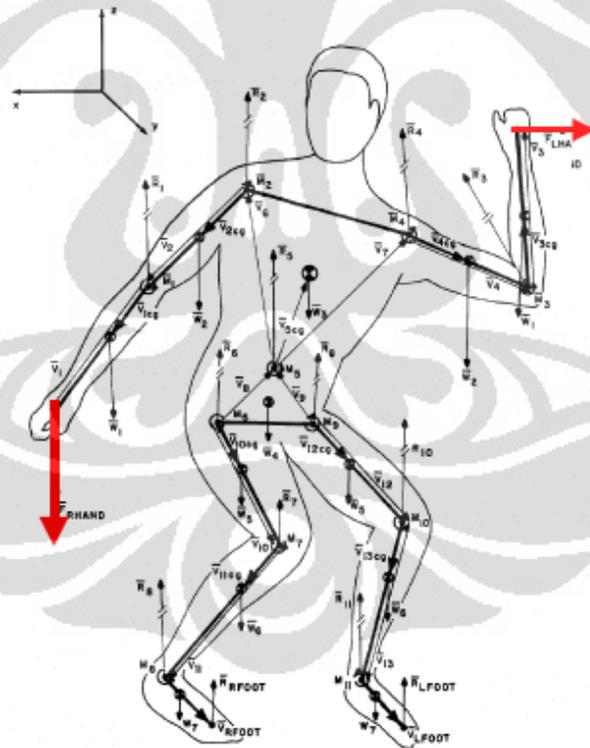
¹⁴ *Task Analysis Toolkit (TAT) for Jack*. Siemens PLM Software. 2008 <www.siemens.com/plm>

¹⁵ Don B. Chaffin,, G Lawton, dan Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, University of Michigan, 2003

- Mengidentifikasi postur-postur kerja tertentu yang membutuhkan karakteristik kekuatan yang melebihi batas beban ideal, maupun melebihi batas kemampuan pekerja

SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. 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 perlu diperhatikan dalam perhitungan metode SSP ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Berikut adalah gambar model biomekanika manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan suatu aktivitas.



Gambar 2. 7 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya Pada Persendian

Sumber: Chaffin, Don B., G Lawton, dan Louise G. Johnson. *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan. 2003

Pada kenyataannya, sangat jarang terdapat aktivitas-aktivitas kerja yang memiliki persentase sempurna untuk dilakukan oleh seluruh pekerja, maka dari itu seringkali dibuat batasan tertentu yang dapat mewakili persentase pekerja yang memiliki persyaratan untuk melakukan aktivitas kerja tersebut.

2.6.2 Metode *Low Back Analysis* (LBA)

Low Back Analysis (LBA) merupakan metode untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja di tulang belakang manusia pada kondisi beban dan postur tertentu¹⁶. Metode LBA bertujuan untuk:

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

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

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

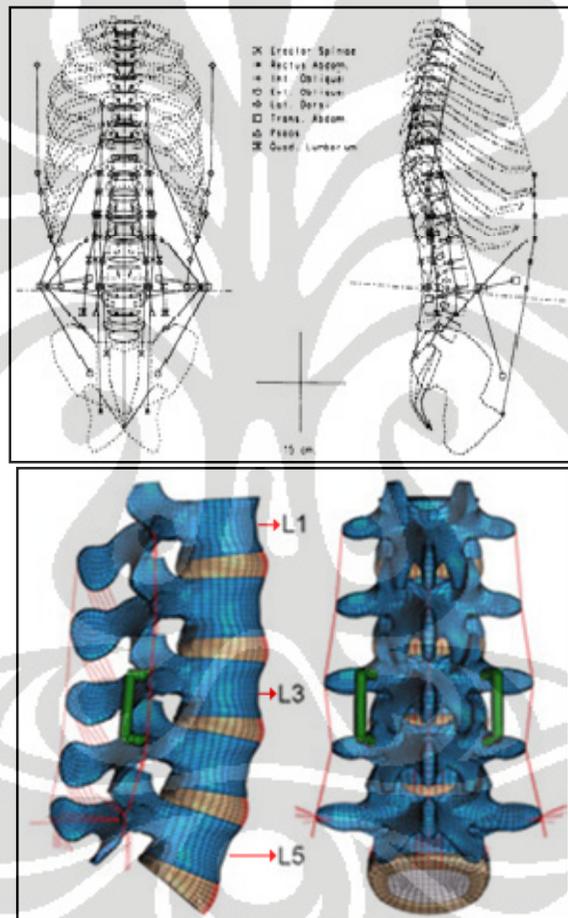
dimana:

- RWL = *recommended weight limit* (batas beban yang direkomendasikan)
- LC = beban konstan
- HM = faktor "*Horizontal Multiplier*",

¹⁶ Siemens PLM Software, Op.Cit, hal. 2-3.

- 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*"

Daerah ruas lumbar 4 (L4) dan lumbar 5 (L5) dari struktur tulang belakang manusia yang umumnya mengalami gaya kompresi terbesar dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2. 8 Struktur Tulang Belakang Manusia

Sumber: Julius Wolff Institut of the Charite, telah diolah kembali

2.6.3 Metode *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*

OWAS merupakan metode untuk mengevaluasi segi kenyamanan dari suatu postur kerja dan dapat digunakan untuk menentukan perlunya pengambilan

suatu tindakan perbaikan dari postur kerja yang ada¹⁷. Metode OWAS bertujuan untuk:

- Mengevaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur kerja terhadap posisi tulang punggung, kedua tangan dan kaki, dan juga beban kerja yang dijalankan
- Memberikan suatu skor penilaian yang menunjukkan tingkat prioritas dari perlunya pengambilan suatu tindakan perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera dari postur kerja sebelumnya

Metode OWAS dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain manual kerja dan juga sebagai pedoman dalam merancang lingkungan kerja dan meningkatkan segi kenyamanan kerja. OWAS juga berfungsi untuk mengidentifikasi skala prioritas dari postur kerja yang paling membutuhkan perbaikan secara ergonomi. Tabel 2.4 berikut merupakan pembobotan nilai yang didapatkan dari metode OWAS:

Tabel 2. 4 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

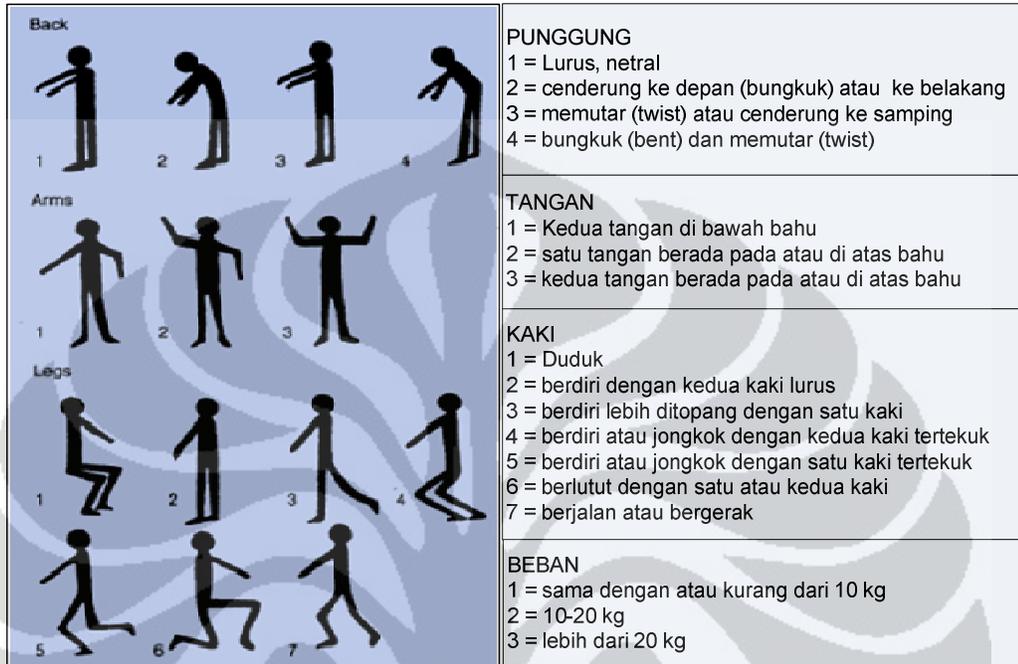
Sumber: Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002

Pengelompokan di atas dibuat berdasarkan estimasi para ahli dengan mempertimbangkan risiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem muskuloskeletal¹⁸. Nilai skor tunggal dengan range 1 hingga 4 yang dikeluarkan oleh OWAS pada tabel 2.4 di atas, memiliki penjabaran lanjutan yang dituangkan dalam empat baris kode angka yang mengindikasikan posisi-posisi yang dialami oleh tubuh selama melakukan suatu aktivitas tertentu. Penjabaran kode tersebut secara berturut-turut mengindikasikan postur yang dialami oleh punggung, lengan, kaki, dan beban

¹⁷ Ibid, hal 35-36

¹⁸ Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal.3299.

yang diterima oleh tubuh. Ilustrasi gambar 2.6 berikut ini memperlihatkan indikasi postur yang dialami oleh pekerja, beserta detail penilaian dari kode OWAS tersebut.



Gambar 2. 9 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

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

2.6.4 Metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA)

RULA merupakan metode yang dikembangkan untuk menginvestigasi secara ergonomi keadaan di tempat kerja dimana terdapat adanya keluhan-keluhan cedera yang disebabkan oleh beban kerja pada tubuh bagian atas (McAtamney dan Corlett 1993, p.91-99). Metode ini dapat menilai beban yang diterima oleh tubuh dan postur keseluruhan yang dialami oleh bagian leher, batang tubuh, dan anggota tubuh bagian atas. Untuk kegiatan manual yang diteliti, RULA bertujuan untuk:

- Menilai risiko cedera pada tubuh bagian atas berdasarkan postur kerja, penggunaan otot, berat beban yang ditanggung, durasi kerja serta frekuensi kerja

- Memberikan suatu skor penilaian yang dapat mengindikasikan tingkat penanganan yang dibutuhkan untuk mengurangi risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas

Prosedur penggunaan metode RULA dikelompokkan menjadi tiga langkah, yaitu¹⁹:

1. Mengamati dan memilih postur untuk dinilai

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

2. Merekam dan menilai postur

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

3. Level Aksi

Nilai akhir dapat dibandingkan dengan daftar tindakan yang harus dilakukan. bobot nilai akhir pada metode RULA terdiri skor 1 hingga 7. Untuk lebih jelasnya, pembobotan nilai tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 5 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*

¹⁹ N. Stanton, et al, *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, CRC Press LLC, 2000, p.55.

BAB 3

PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL

3.1 Tinjauan Umum PT.X

3.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan

PT. X didirikan pada tahun 1974 sebagai sebuah industri rumahan yang berlokasi di Jl. DR Saharjo No. 317 A Tebet, Jakarta Selatan. Perusahaan ini pada mulanya menggunakan nama 'Jacolin Fitrab', dan mengkonsentrasikan diri untuk memproduksi pakaian jadi yang diperuntukkan untuk konsumsi lokal dengan mempekerjakan tidak lebih dari sepuluh orang karyawan. Pada tanggal 29 Desember 1979, dengan Akta Notaris di Jakarta; Mohammad Ali, nama PT. Jacolin Fitrab diubah menjadi PT. X, dan sampai saat itu tetap memproduksi pakaian jadi untuk konsumsi lokal.

Pada tahun 1984, PT. X untuk pertama kalinya melakukan ekspor hasil produksinya ke Amerika Serikat, dan sejak saat itu PT. X memfokuskan usahanya pada produksi pakaian jadi untuk ekspor dengan menggunakan model dan label sesuai dengan yang diinginkan oleh pihak *buyer*. Sejak tahun 1984 perkembangan industri pakaian jadi secara nasional mengalami perkembangan yang mengembirakan dan memberikan dampak positif bagi PT. X. Karena itu, perusahaan melakukan penambahan kapasitas produksi dan penambahan karyawan.

Dengan semakin mendesaknya kebutuhan akan pengembangan produksi, lahan milik perusahaan yang berada di Jl. DR Saharjo No. 317 A Tebet, Jakarta Selatan dirasakan kurang mendukung pengembangan kapasitas produksi karena kapasitasnya yang sangat terbatas. Untuk itu manajemen memutuskan membuka pabrik baru di wilayah Bogor dengan tetap mempertahankan keberadaan pabrik di Jl. DR Saharjo. Pembukaan pabrik baru di wilayah Bogor direalisasi pada tanggal 15 September 1990. Sumber daya pendukung diperoleh dari mutasi karyawan yang semula berdinan di Tebet, dan penambahan karyawan-karyawan baru. Namun seiring dengan perkembangan yang terjadi, saat ini pabrik di Bogor dan di Jl. DR Saharjo telah ditutup, dan sebagai gantinya dibuka pabrik di daerah

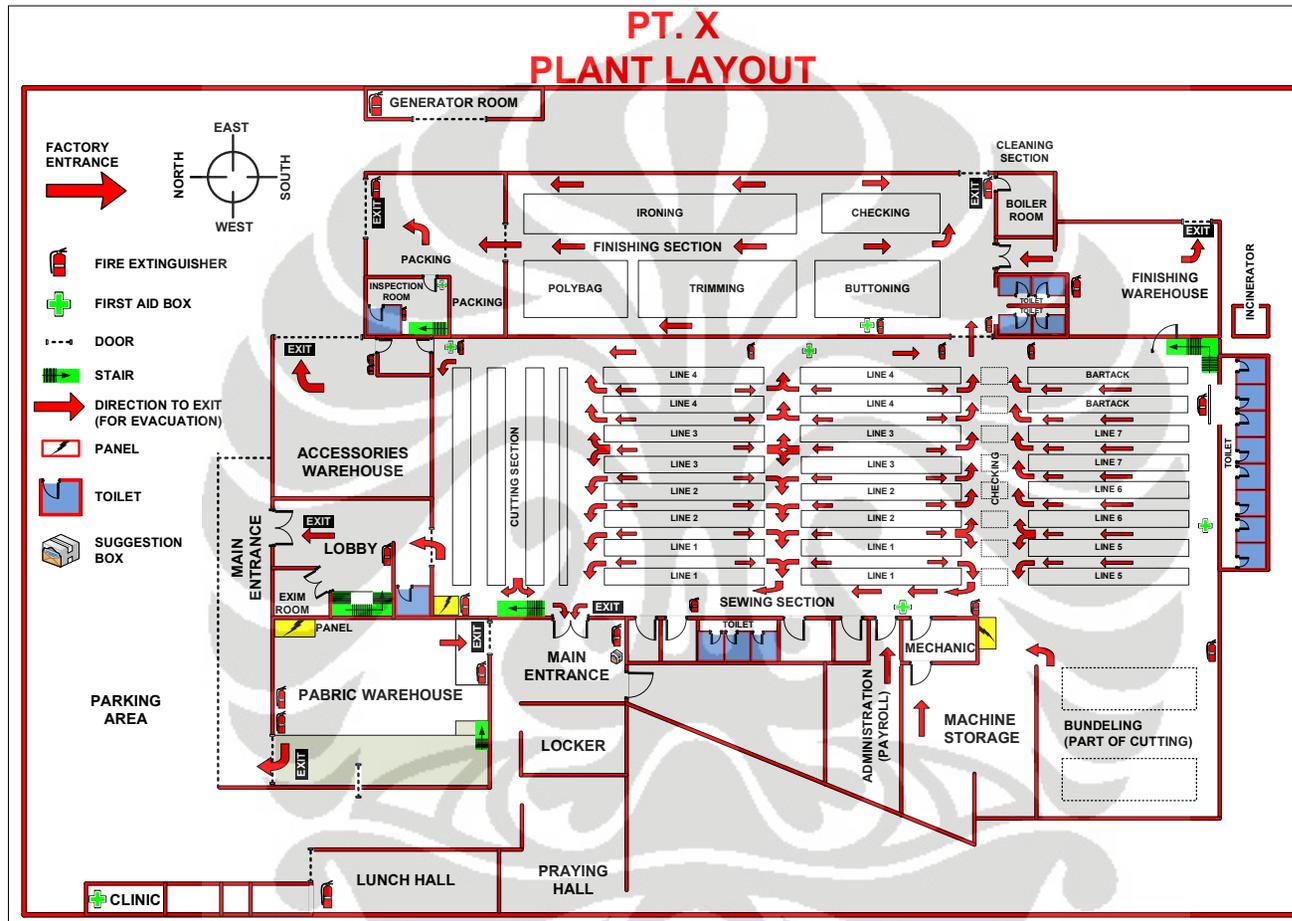
Pondok Labu dan Sukabumi yang masih terus beroperasi hingga sekarang. Kantor pusat PT. X saat ini berada di Jl. Prof. Soepomo, SH No. 49A, Jakarta.

Dewasa ini PT. X melakukan ekspor pakaian pria dan wanita ke berbagai negara, dan mempekerjakan kurang lebih 700 orang karyawan. Ekspor mayoritas dilakukan ke Amerika Serikat. Selain itu ekspor juga dilakukan ke Kanada, Australia, serta beberapa negara di Eropa sesuai dengan kuota yang dikeluarkan oleh pemerintah. PT. X mempekerjakan kurang lebih 700 orang karyawan dengan kapasitas produksi berkisar antara 60-7200 potong per bulan. Pimpinan tertinggi di PT. X dipegang oleh komisaris yang langsung membawahi direktur utama. Direktur membawahi langsung 5 departemen, yaitu akunting (*finance*), unit Sukabumi, produksi, pemasaran (*marketing*), dan personalia.

Tabel 3. 1. Daftar Pelanggan Utama PT. X

Main Buyer	Country
Lerner, Limited, Meijer, Swire, Tommy Hilfiger, Wet Seal, Royal Robins, Carter's, Hollister, Abercrombie & Fitch, Sara Lee (Champion), Polo Jeans	USA
Tommy Hilfiger, Oneill, ZARA, Najapiri Esprits (Germany), Machu Pichu,	Europe
Esprits	Australia

(Sumber: Company Profile PT. X)



Gambar 3. 1 Tata Letak Pabrik PT.X

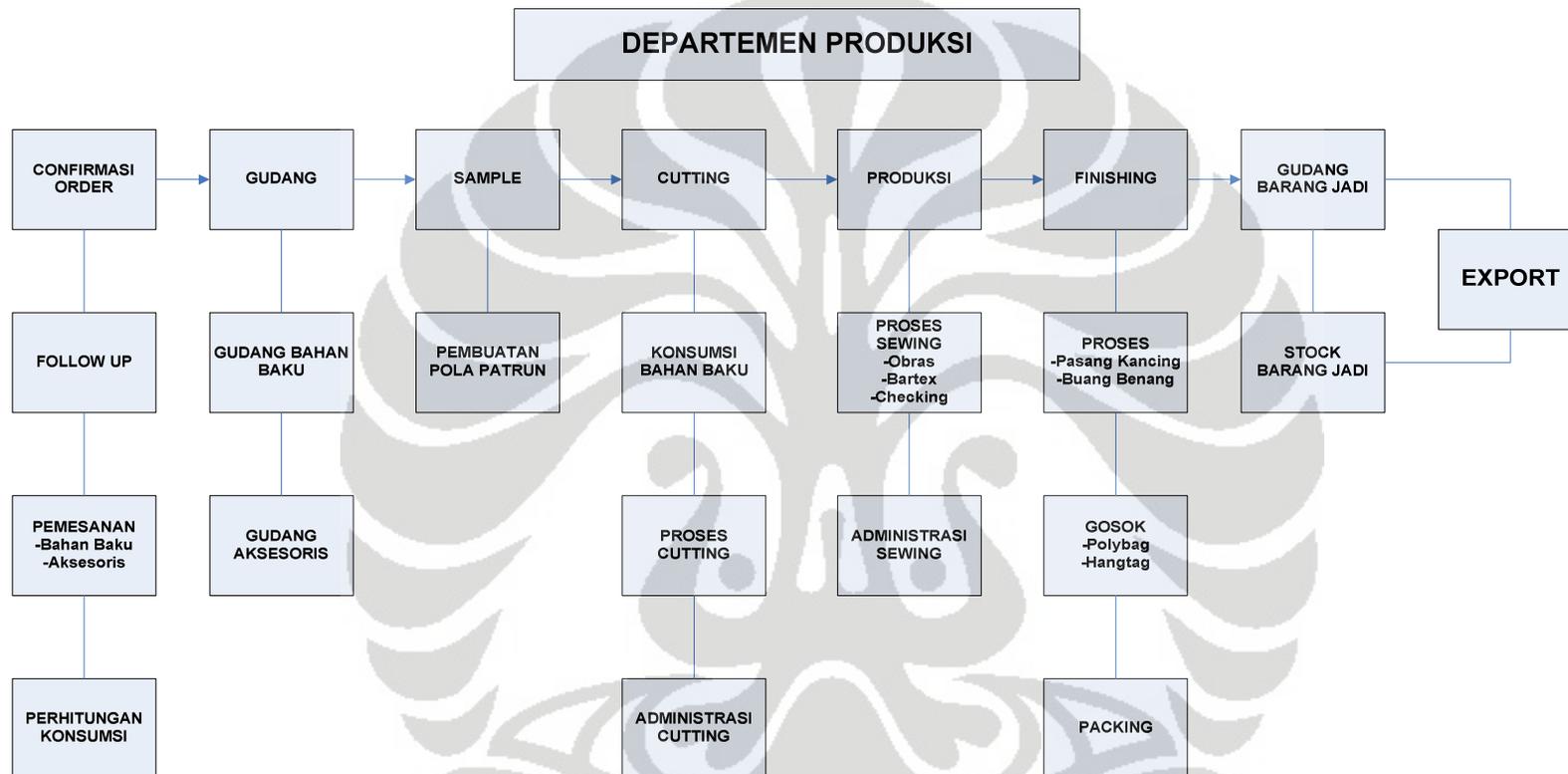
(Sumber: *Company Profile* PT. X)

3.1.2 Departemen Produksi PT. X

Departemen produksi pada PT. X dikepalai langsung oleh seorang manajer produksi. Departemen produksi membawahi beberapa divisi, yaitu :

1. Divisi *follow up* yang bertanggung jawab untuk berhubungan dengan pelanggan pada masa awal pelanggan melakukan *order*, dan bertanggung jawab atas pengadaan material pakaian beserta segala pendukungnya, seperti aksesoris (kancing, resleting, dsb), benang, label, dan lain-lain
2. Divisi sampel yang bertanggung jawab untuk membuat sampel produk-produk yang dipesan oleh pihak pelanggan untuk kemudian diperiksa dan disetujui oleh pelanggan sebelum dilakukan produksi massal
3. Divisi *cutting* yang bertanggung jawab terhadap proses pemotongan material bahan baku, termasuk merencanakan penandaan posisi pola yang akan diletakkan dibagian atas *layer* bahan pakaian seoptimal mungkin agar menghasilkan *waste* yang seminimal mungkin
4. Divisi *sewing* yang bertanggung jawab terhadap terhadap proses jahit, termasuk didalamnya proses penjahitan tiap bagian pakaian, dan proses *join* (penggabungan) bagian-bagian tersebut hingga menjadi pakaian yang utuh.
5. Divisi *finishing* yang bertanggung jawab terhadap proses produksi tahap akhir yang meliputi proses pembuatan lubang kancing, pemasangan tali, pemasangan kancing, *zipper*, atau aksesoris lain, proses pencucian (*washing*) untuk pakaian tertentu saja jika diinginkan oleh pembeli, proses penggosokkan (*ironing*), proses *labelling* (pemberian label), serta proses pengemasan (*packaging* dan *packing*)
6. Divisi pemasangan kancing yang bertanggung jawab terhadap proses penandaan lubang kancing, pemasangan kancing, pembuatan lubang kancing serta segala aktivitas yang berhubungan dengan pemasangan kancing.
7. Divisi gudang yang bertanggung jawab terhadap *handle* material digudang dan melakukan pencatatan arus keluar masuk bahan-bahan dari gudang, baik bahan pakaian maupun aksesoris-aksesoris lain yang diperlukan

Pembagian divisi pada PT. X dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3. 2 Departemen Produksi PT. X

(Sumber: Departemen Produksi PT. X)

3.1.2.1 Divisi Cutting

Divisi *cutting* dikepalai oleh seorang kepala dan wakil kepala yang membawahi beberapa orang administrasi dan pekerja *cutting*. Secara umum tugas kepala dan wakil kepala *cutting* adalah mengawasi keseluruhan pekerjaan dan pekerja *cutting*. Bagian administrasi bertugas untuk mengatur dan mempersiapkan pekerjaan, mencatat hasil kerja, dan mencatat bon keluar masuk permintaan bahan baku yang dipotong atau di-*cutting*. Sedangkan pekerja *cutting* bertugas untuk melaksanakan proses *cutting* itu sendiri. Proses kerja yang dilakukan adalah :

- Menerima pola dari bagian sampel
- Mengkalkulasi pembuatan *marker* untuk tiap *size* berdasarkan *worksheet* jumlah produk yang akan diproduksi sesuai nomor *style*-nya
- Membuat *marker* yang akan digunakan untuk menghitung kebutuhan kain, menghemat penggunaan kain, dan mempermudah proses *cutting*
- Mengkalkulasi panjang kain (bahan baku) yang akan digunakan
- Menggelar layer-layer kain di atas meja pemotongan. Panjangnya layer ini sesuai dengan *marker* yang dibuat, sedangkan jumlah tumpukan layer juga telah diperhitungkan sebelumnya berdasarkan jumlah pesanan barang dan standar tumpukan untuk tiap jenis bahan pakaian yang digunakan
- Meletakkan *marker* yang telah dibuat ditumpukan paling atas
- Melakukan proses pemotongan menggunakan pisau otomatis
- Jumlah unit hasil pemotongan akan dihitung kembali untuk dibuatkan administrasinya (pencatatan *cutting order*). Tiap satu grup bagian pakaian akan ditemplei kartu yang berisi informasi tentang nomor *style*, nomor *cutting*, nomor urut rol, dan kuantitas atau jumlah per-grup ikatannya

3.1.2.2 Divisi Sewing

Divisi *sewing* dikepalai oleh 3 orang pengawas yang masing-masingnya mengawasi pekerjaan di empat *line* produksi. Masing-masing pengawas ini membawahi lagi beberapa orang *supervisor line* yang masing-masingnya bertanggung jawab terhadap *satu* line tertentu. Para *supervisor line* ini membawahi secara langsung para operator atau para pekerja. Proses kerja yang dilakukan adalah menjahit tiap bagian pola satu per satu hingga menjadi pakaian

yang lengkap dan utuh. Tiap operator hanya dikhususkan untuk mengerjakan satu jenis pekerjaan tertentu saja, dan operator di depannya akan melanjutkan pekerjaan tersebut, sehingga semakin ke depan pekerjaan menjahit akan semakin lengkap.

3.1.2.3 Divisi Pemasangan Kancing

Divisi pemasangan kancing merupakan area perakitan terakhir sebelum pakaian dapat diproses lebih lanjut di area pengepakan (divisi *finishing*). Divisi ini bertanggung jawab terhadap proses penandaan lubang kancing, pemasangan kancing, pembuatan lubang kancing serta segala aktivitas yang berhubungan dengan pemasangan kancing.

3.1.2.4 Divisi Finishing

Divisi *finishing* merupakan bagian akhir dari seluruh area produksi yang dilalui dalam proses pembuatan pakaian jadi. Selain itu, divisi ini juga mengatur perihal proses pencucian pakaian. Meskipun untuk keseluruhan divisi *finishing* memiliki lima stasiun kerja, hanya empat diantaranya yang rutin digunakan dalam proses produksi, yaitu stasiun kerja pencabutan benang, penyedotan debu dan benang, penyetricaan pakaian, dan pelipatan pakaian dan pembungkusan.

3.1.3 Proses Produksi

Secara garis besarnya, proses produksi pakaian jadi dapat dibagi menjadi tiga proses utama, yaitu *cutting*, *sewing*, dan *finishing* yang masing-masingnya memiliki beberapa operasi lagi di dalamnya. Penelitian ini difokuskan pada divisi jahit (*sewing*), namun akan diberikan gambaran secara umum mengenai proses yang terjadi di divisi *cutting* dan divisi *finishing*.

3.1.3.1 Proses Cutting

Proses *cutting* adalah proses pemotongan bahan baku kain sesuai dengan pola pakaian yang dibuat. Pola pakaian ini telah dibuat sebelumnya oleh divisi *sample* dan telah diperiksa oleh pihak *buyer*. Sebelum melakukan pemotongan, divisi *cutting* terlebih dahulu membuat *marker* untuk dapat mencetak pola-pola

tersebut pada *layer* bahan kain seoptimal mungkin sehingga menghasilkan *waste* seminimal mungkin. Pembuatan *marker* harus memperhitungkan pola dan arah serat kain. *Marker* yang dibuat juga akan digunakan untuk menentukan panjangnya *layer*.

Setelah *marker* selesai dibuat, barulah beberapa tumpukan *layer* digelar pada meja pemotongan, dan *marker* yang telah dibuat pada kertas roti diletakkan pada tumpukan paling atas sebagai penanda. Kemudian tepi kiri dan kanan *layer* ditahan dengan diberi besi penahan di atasnya. Setelah itu proses pemotongan dimulai menggunakan sebuah mesin potong otomatis yang dioperasikan oleh seorang operator. Kain yang telah berbentuk pola kemudian ditandai dengan label sesuai dengan ukuran dan jahitan yang diinginkan oleh pihak *buyer*. Pemberian label ini sangat penting untuk memudahkan operator di divisi *sewing* dalam melakukan pekerjaannya. Secara keseluruhan terdapat empat jenis mesin yang digunakan pada divisi *cutting*, yaitu:

- mesin *layer*, berfungsi untuk memotong gulungan kain menjadi lembaran-lembaran kain (*layer*) dengan panjang tertentu
- mesin potong tangan, berfungsi untuk memotong kain *layer* menjadi bentuk pola yang diinginkan
- mesin *benoit*, berfungsi untuk memotong kain-kain yang berukuran kecil
- mesin *press*, berfungsi untuk memberi lapisan pada kain agar menjadi lebih kaku

3.1.3.2 Proses Sewing

Proses *sewing* adalah proses menjahit, termasuk didalamnya proses penjahitan tiap bagian pakaian, dan proses *join* (penggabungan) bagian-bagian tersebut hingga menjadi pakaian yang utuh. Tiap stasiun kerja dispesifikasikan untuk mengerjakan satu pekerjaan tertentu saja, seperti menjahit kantong saja, menyatukan bagian kantong belakang dan bagian badan belakang saja, dan lain sebagainya secara bertahap ke baris depan (seperti ban berjalan) makin lengkap sehingga akhirnya dihasilkan pakaian yang utuh. Pengaturan *layout* produksi untuk tiap-tiap *line* produksi bersifat fleksibel karena harus menyesuaikan dengan

jenis-jenis jahitan pada pakaian yang akan dibuat. Namun, pada umumnya perubahan pengaturan tata letak mesin tersebut tidak dilakukan secara ekstrim.



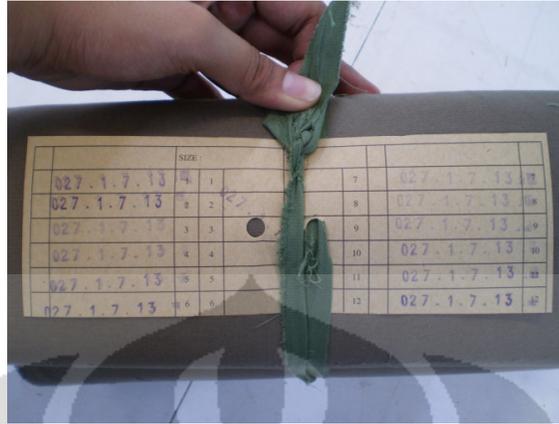
Gambar 3. 3 *Line* Produksi Pada Divisi *Sewing*

Proses penjahitan pada divisi ini menggunakan beberapa jenis mesin, yaitu:

- mesin jahit (jarum satu dan jarum dua)
- mesin obras
- mesin make-up
- mesin bartex

Masing-masing proses pada mesin tersebut ditangani oleh seorang operator yang bekerja secara bersamaan dalam satu line produksi. Alur kerja yang dilalui oleh operator adalah:

- Menjahit pola pakaian yang sesuai dengan deskripsi pekerjaan masing-masing, dimana setiap operator akan menerima pola yang telah diberi label informasi



Gambar 3. 4 Pola Pakaian Berikut Informasi Ukuran dan Jenis Jahitan

- Melakukan inspeksi bahan, dan meneruskan ke bagian *marker* apabila bahan tersebut membutuhkan presisi yang tepat dalam proses penjahitannya

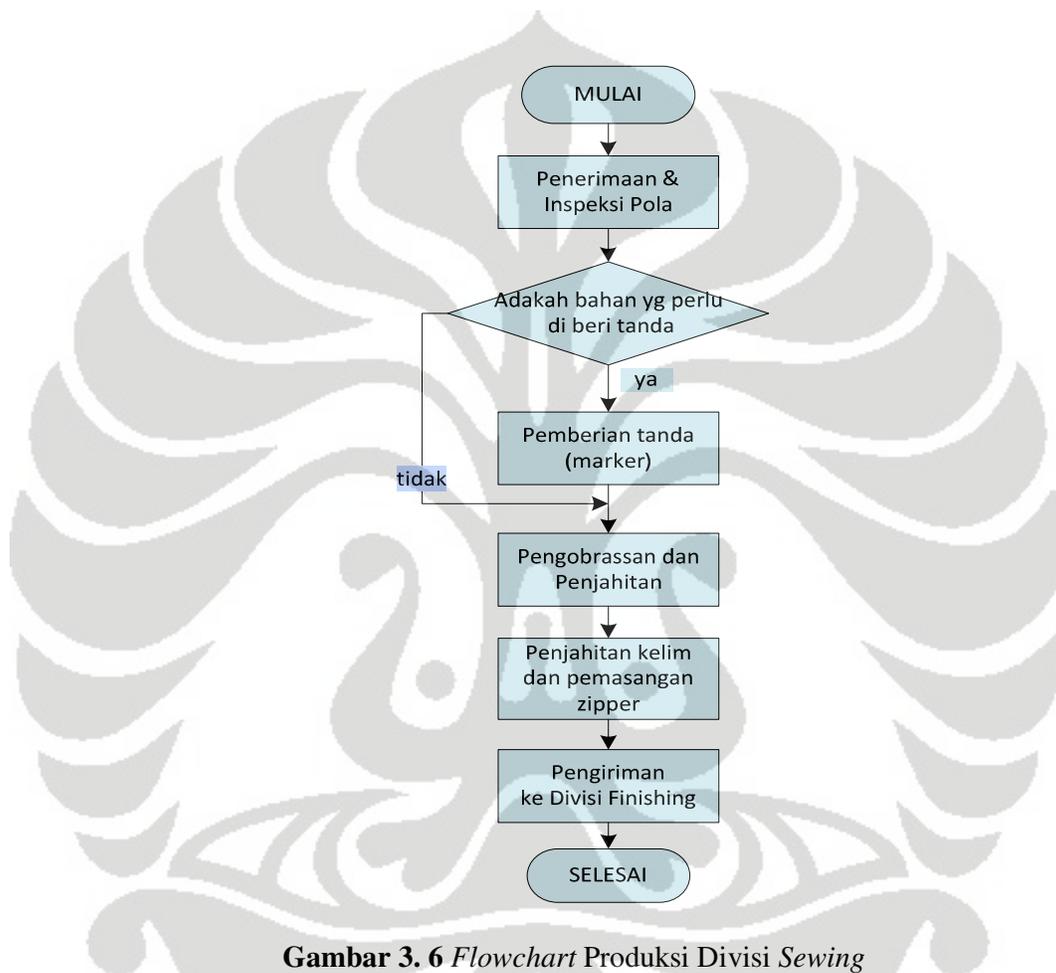


Gambar 3. 5 Proses Pemberian Tanda Pada Kain

- Melakukan proses penjahitan. Umumnya proses penjahitan diawali dengan pengobrasan kain dan penjahitan dengan menggunakan mesin jarum. Kemudian diakhiri dengan pemasangan ban pinggang dan zipper serta kelim bawah dengan menggunakan mesin make-up dan mesin bartex

Setelah proses penjahitan selesai, pakaian akan diinspeksi oleh inspektor, meliputi pemeriksaan tampilan luar (*appearance*) yang meliputi jahitan, bentuk, dan warna bahan serta pemeriksaan spesifikasi ukuran untuk mengetahui kesesuaiannya dengan standar yang telah ditetapkan. Pemeriksaan ukuran hanya dilakukan pada beberapa sampel produk pakaian jadi beberapa kali selama masa produksi pakaian dengan nomor *style* tersebut karena variasinya seringkali tidak

terlalu tinggi dan masih berada dalam batas toleransi atau batas spesifikasi, sedangkan pemeriksaan *appearance* dilakukan terus menerus pada semua unit produk pakaian karena cacat *appearance* ini selalu terjadi. Produk cacat akan dipisahkan untuk diperbaiki atau dilakukan pengerjaan ulang (*repair/rework*). Alur produksi pada divisi sewing dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3. 6 Flowchart Produksi Divisi Sewing

3.1.3.3 Proses Finishing

Proses *finishing* merupakan tahap akhir dari proses produksi yang meliputi proses pengguntingan dan pencabutan benang, proses pembersihan sisa benang (*vacuum*), proses penggosokan (*ironing*), proses *labelling* (pemberian label), dan proses pengemasan (proses *packaging*). Selain itu, jika diinginkan oleh pihak pembeli, divisi ini juga mengatur pencucian (*washing*) untuk jenis pakaian tertentu, seperti jeans dan kemeja. Namun, proses pencucian tidak dilakukan oleh

pabrik, melainkan dilakukan dengan menggunakan jasa pihak ketiga (*outsourcing*).

Pada divisi ini juga terdapat divisi kancing yang bertugas untuk melakukan pembuatan lubang dan pemasangan kancing untuk semua pakaian. Proses pemasangan kancing ini dilakukan dengan menggunakan beberapa mesin antara lain:

- mesin snap, berguna untuk melubangi kain yang akan dipasang kancing
- mesin taking, berguna untuk memasang kancing pada pakaian
- mesin reece, berguna untuk menjahit lubang kancing

3.1.4 Mesin dan Peralatan

Sebagai perusahaan yang bergerak dibidang *garment*, PT. X memiliki berbagai macam mesin dan peralatan jahit otomatis serta mesin-mesin pendukung lainnya. Jenis mesin yang dimiliki perusahaan antara lain:

- Mesin potong otomatis
- Berbagai jenis mesin jahit dan mesin obras
- Mesin pembuat lubang kancing otomatis
- Mesin pasang kancing
- Mesin bartex
- Mesin kansai
- Mesin layer dan mesin potong tali
- Setrika uap

Daftar mesin selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.2. berikut ini.

Tabel 3. 2. Daftar Mesin PT.X

No	Mesin	Brand	Jumlah
1	Mesin Jarum 1	PFAFF	186
2	Mesin Jarum 1	BROTHER	57
3	Mesin Jarum 1	TYPICAL	17
4	Mesin Jarum 1	MITSUBISHI	3
5	Mesin Jarum 1	SISTER	1
6	Mesin Jarum 1	JUKI	5
7	Mesin Jarum 1	METRO SPECIAL	1
8	Mesin Jarum 1 Otomatis	BROTHER	46
9	Otomatic Single Needle Machine	JUKI	1
10	Otomatic Single Needle Machine	PFAFF	9
11	Mesin Jarum 2	JUKI	12
12	Mesin Jarum 2	BROTHER	9
13	Mesin Jarum 2 Otomatis	BROTHER	4
14	Mesin Potong Otomatis	JUKI	7
15	Mesin Obras Benang 5	BROTHER	46
16	Mesin Obras Benang 5	JUKI	4
17	Mesin Obras Benang 5	YAMATO	2
18	Mesin Obras Benang 4	PEGASUS	2
19	Mesin Obras Benang 3	JUKI	3
20	Mesin Obras Benang 3	BROTHER	1
21	Mesin Obras Neci	PEGASUS	1
22	Mesin Snap Button		7
23	Gosokan Steam Gantung	SILVERSTAR	22
24	Gosokan Steam Boiler	VEITH	16
25	Gosokan Biasa	PHILIPS	1
26	Gosokan Biasa	NAOMOTO	4
27	Mesin Boiler Sentral	VEITH	1
28	Mesin Make Up	TYPICAL	5
29	Mesin Make Up	BROTHER	3
30	Mesin Make Up	ZOJE	1
31	Mesin Bartex	JUKI	16
32	Mesin Bartex	BROTHER	3
33	Mesin Bartex	ZOJE	1
34	Mesin Lubang Kancing	JUKI	3
35	Mesin Lubang Kancing	BROTHER	3
36	Mesin Lubang Kancing	TYPICAL	1
37	Mesin Lubang Kancing	PFAFF	1
38	Mesin Lubang Kancing Reece	SINGER	1
39	Mesin Lubang Kancing Reece	BROTHER	1
40	Mesin Press	SUMMIT	2

Tabel 3.2. Daftar Mesin PT.X (sambungan)

No	Mesin	Brand	Jumlah
41	Mesin Press	OSHIMA	1
42	Mesin Potong Wheelcrow		4
43	Mesin Potong		2
44	Mesin Balik Kerah		1
45	Mesin Press Manset		1
46	Mesin Overdeck	YAMATO	1
47	Mesin Overdeck	SIRUBA	18
48	Mesin Overlock	SIRUBA	24
49	Mesin Tandem	MITSUBISHI	2
50	Mesin Cuci	KELVINATOR	1
51	Mesin Pengering	KELVINATOR	1
52	Meja Lipat kemeja		5
53	Gosokan + Meja	NISSIN	12
54	Gosokan + Meja	VEITH	3
55	Gosokan + Meja	ASAHI	4
56	Gosokan + Meja	BEST	2
57	Mesin Straping		1
58	Mesin Buang / Sedot Benang	SUISEI	1
59	Mesin Snap Button Hidrolik	NISSIN	3
60	Mesin Pasang Kancing	BROTHER	3
61	Mesin Pasang Kancing	PFAFF	1
62	Mesin Pasang Kancing Otomatis	BROTHER	5
63	Mesin Zig Zag	BROTHER	1
64	Mesin Zig Zag	PEGASUS	1
65	Mesin Kelim Bawah	UNION SPECIAL	4
66	Mesin Sum Bawah	BROTHER	3
67	Mesin Karet Kansai	KANSAI	3
68	Mesin Karet Band Kansai	KANSAI	3
69	Mesin Karet Band Kansai Spesial	KANSAI	2
70	Mesin Tali	KANSAI	3
71	Mesin Tali	PEGASUS	2
72	Mesin Kantong Bobok	BROTHER	1
73	Mesin Potong Tangan 8"	MACK	2
74	Mesin Potong Tangan 8"	BLUE STREAK	2
75	Mesin Potong Tangan 8"	SU LEE	1
76	Mesin Potong Tangan 8"	END CUTTER	3
77	Mesin Potong Tangan 8"	KM	1
78	Mesin Potong Tangan 5"	KM	2
79	Mesin Gulung Benang		2
80	Mesin Inspek Bahan		1
Total Jumlah Mesin		642	

(Sumber: HR PT Jacolintex)

3.1.5 Sumber Daya Manusia

PT. X secara total kurang lebih memiliki 475 orang tenaga kerja yang sebagian besarnya bekerja pada bagian produksi sebagai buruh pabrik. Dari 475 orang tersebut 245 orang adalah pegawai tetap, baik bekerja sebagai staf administrasi, keamanan, produksi, dan lain-lain. Sebagian besar sisanya yang bekerja sebagai pekerja di lantai produksi adalah bukan pegawai tetap yang diberi upah harian atau borongan sesuai jenis pekerjaan yang dilakukannya. Detail jumlah pegawai tiap-tiap divisi dapat dilihat pada tabel 3.3.

Masing-masingnya pekerja pada lantai produksi bekerja dengan waktu penuh. Jika perusahaan membutuhkan waktu kerja tambahan karena *deadline* pengiriman yang mendesak maka akan diberlakukan lembur. Jam kerja buruh di PT. X adalah sebagai berikut :

- Jam kerja normal : Senin-Sabtu pukul 08.00-16.00
- Jam kerja lembur : pukul 08.00-18.00
- Jam istirahat : pukul 12.00-13.00

3.1.5.1 Rekrutmen dan Training

Pekerja pada lantai produksi kebanyakan berasal dari penduduk yang berada disekitar lingkungan pabrik. Para pelamar akan diperiksa kualifikasinya dan dilihat pengalamannya. Perusahaan tidak mengadakan program pelatihan atau *training* khusus bagi karyawan. Untuk operator jahit misalnya, penerimaan didasarkan pada pengalaman dan hasil tes menjahit. Jika pihak perusahaan melihat calon pekerja tersebut mampu mengoperasikan mesin jahit maka pegawai tersebut akan diterima. Pelatihan atau *training* terkadang dilakukan untuk kebutuhan khusus. Misalnya untuk operator mesin *cutting* dan pekerja *cutting* lain perusahaan memberikan *training* kerja langsung di lantai produksi selama beberapa hari. Sebagian besar pegawai mampu bekerja di lantai produksi berdasarkan pengalaman dan dengan terjun langsung atau melihat langsung cara kerja yang ada.

Tabel 3.3. Database Karyawan PT.X

NO.	BAGIAN	JENIS KELAMIN		PENDIDIKAN				AGAMA		STATUS LAMA IKATAN KERJA		STATUS KERJA	
		L	P	SD	SMP	SMA	S1	ISLAM	NON-ISLAM	BULANAN	HARIAN	TETAP	KONTRAK
1	Gudang	2	2		1	2	1	4		2	2	1	3
2	Mekanik	5	1			6		6		5	1	5	1
3	Line 1	1	48	21	17	11		49		2	47	24	25
4	Line 2	1	51	15	25	12		50	2	2	50	20	32
5	Line 3	2	52	21	19	14		52	2	3	51	23	31
6	Line 4	2	52	21	23	9	1	53	1	2	52	23	31
7	Line 5		34	15	8	11		34		1	33	10	24
8	Line 6		34	8	18	8		33	1	2	32	15	19
9	Finishing	4	58	27	16	19		62		5	57	41	21
10	Bartex	1	23	6	10	8		22	2	1	23	9	15
11	QC		23	12	4	7		21	2	3	20	13	10
12	Cutting	5	17	4	3	15		21	1	8	14	15	7
13	Sample	3	7	2	2	5	1	9	1	4	6	6	4
14	Administrasi Produksi	2	5		1	6		6	1	6	1	6	1
15	Umum	16	10	11	5	10		24	2	17	9	20	6
16	Komersial	1	2				3	1	2	3		3	
17	Keuangan&Akuntansi	1	3			1	3	4		4		4	
18	Ekspor Impor	1	1			2		2		2		2	
19	HRD	2					2	2		2		2	
20	Outsourcing												
21	Staff Direktur		3			2	1	3		3		3	
	Total	49	426	163	152	148	12	458	17	77	398	245	230
		475		475				475		475		475	

(sumber: HR PT.X, Maret 2009)

3.1.5.2 Sistem Kompensasi

Seperti yang telah disebutkan di atas pegawai PT. X terbagi menjadi pekerja tetap dan pekerja tidak tetap. Pekerja tetap tentunya mendapatkan upah tetap dari perusahaan berupa gaji tetap per bulan beserta tunjangan-tunjangan lainnya.

Pekerja tidak tetap terbagi lagi menjadi pekerja harian dan pekerja borongan yang diberikan upah harian atau upah borongan. Upah harian diberikan pada pekerja jahit (*sewing*), besarnya sesuai dengan jumlah potong (*piece*) dan jenis bagian yang telah dikerjakannya setiap hari. Upah borongan biasanya diberikan untuk pekerja yang jumlah pekerjaannya sulit untuk dikuantifikasi seperti inspektor, pekerja pembuangan benang, dan lain-lain. Upah borongan diberikan setelah produksi massal untuk satu nomor *style* tertentu selesai dilakukan.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini merupakan data input untuk membuat desain *virtual environment* (VE) dan *virtual human modelling* dengan menggunakan *software* Jack 6.0. Untuk mendapatkan data tersebut, perlu dilakukan pengukuran dan pengamatan secara langsung pada divisi kerja yang berkaitan. Penelitian ini dibatasi untuk dilakukan pada satu divisi saja, yaitu divisi *sewing*.

Pada tahap pembuatan lingkungan virtual, dibutuhkan data mengenai lingkungan kerja pada divisi *sewing* termasuk di dalamnya segala hal yang berinteraksi dengan pekerja selama proses jahit berlangsung. Objek yang berinteraksi langsung dengan pekerja di divisi *sewing* merupakan mesin jahit yang digunakan pada pekerja divisi tersebut. Maka dari itu, dibutuhkan data mengenai bentuk dan dimensi mesin pada divisi *sewing*. Sedangkan untuk tahap pembuatan model manusia virtual, dibutuhkan data antropometri pekerja sehingga ukuran model manusia virtual tersebut dapat merepresentasikan ukuran tubuh pekerja sebenarnya. Model manusia virtual tersebut juga membutuhkan data gerakan-gerakan kerja dan postur kerja agar dapat melakukan simulasi kerja yang sesuai dengan gerakan dan postur yang dilakukan pekerja di dunia nyata.

3.2.1 Identifikasi Permasalahan Kerja

Untuk memastikan bahwa penelitian dari segi penerapan rancangan ergonomi ini penting untuk dilakukan, maka sebelumnya perlu dibuat sebuah observasi mengenai kemungkinan munculnya keluhan ataupun gejala-gejala cedera WMSD (*Work Musculoskeletal Disorder*) dan kelelahan pada pekerja yang diakibatkan karena kondisi kerja yang belum ergonomis. Keluhan muskuloskeletal dan kelelahan umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat dari beban kerja yang terlalu berat, maupun aktivitas kerja yang dilakukan berulang-ulang dalam jangka waktu yang lama. Kondisi kerja yang kurang memperhatikan kaidah ergonomi juga berpotensi lebih besar untuk menimbulkan cedera WMSD dan kelelahan pada pekerja.

Observasi permasalahan kerja ini didapatkan melalui dua cara, yaitu: pengamatan langsung pada proses kerja di divisi *sewing*, dan dengan wawancara pada pekerja di divisi tersebut. Dari hasil pengamatan secara langsung, ditemukan beberapa kondisi kerja yang menyebabkan pekerja harus mengalami penyesuaian pada peralatan yang mereka gunakan, antara lain penggunaan bantalan untuk mengganjal posisi duduk (gambar 3.7), dan postur kerja yang terlalu bungkuk. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi kerja belum mengikuti kaidah-kaidah ergonomi yang baik.



Gambar 3. 7 Penggunaan Bantal Untuk Mengganjal Posisi Duduk

Metode wawancara pada pekerja di divisi *sewing* dilakukan secara informal pada beberapa kelompok pekerja di divisi *sewing*, dengan pertanyaan sebagai berikut:

- Apakah Anda pernah mengalami kelelahan dan nyeri pada otot (cedera muskuloskeletal) selama bekerja di divisi ini?

- Apakah hal di atas (pertanyaan pertama) sering terjadi?
- Apakah Anda pernah tidak masuk kerja (absen) akibat mengalami hal di atas (pada pertanyaan pertama)?

Hasil wawancara pada pekerja, yang mayoritas adalah wanita, menunjukkan kesemua pekerja pernah mengalami keluhan pegal-pegal, nyeri otot, dan kelelahan terutama di bagian leher dan punggung (tulang belakang) akibat dari pekerjaan yang monoton, dan dilakukan dalam jangka waktu yang lama. Para pekerja mengatakan bahwa pada saat bekerja lembur untuk mengejar target produksi, mereka sering merasa kelelahan dan kadang kala membuat mereka absen pada keesokan harinya. Pernyataan tersebut sesuai dengan wawancara pada pihak personalia PT.X yang menyebutkan bahwa terdapat beberapa kasus absensi pekerja karena sakit ataupun tanpa pemberitahuan yang jelas. Hal ini menunjukkan adanya indikasi pekerja yang absen karena mengalami kelelahan maupun cedera muskuloskeletal sehabis bekerja. Untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan kelayakan ergonomi kerja pada divisi *sewing* PT.X, maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut terhadap aspek ergonomi kerja yang terdapat pada divisi tersebut.

3.2.2 Data Bentuk dan Dimensi Mesin

Mesin yang digunakan pada divisi *sewing* dapat dikelompokkan ke dalam empat jenis mesin utama, yaitu mesin jahit jarum (jarum satu dan jarum dua), mesin obras kain, mesin bartex, dan mesin make-up. Pengukuran dimensi mesin dilakukan secara manual dengan menggunakan mistar ukur dan meteran jahit. Hasil pengukuran ini akan menjadi bahan pembuatan model CAD (*Computer Aided Design*) dari mesin-mesin tersebut. Model CAD dari mesin dibuat dengan menggunakan *software* AutoCAD sebelum nantinya akan di-*import* ke dalam virtual environment pada *software* Jack. Berikut daftar mesin yang terdapat di divisi *sewing*:

3.2.2.1 Mesin Jarum Satu

Mesin jarum satu merupakan mesin jahit yang paling banyak digunakan di divisi *sewing*. Mesin ini digunakan untuk menjahit bagian-bagian pola yang terpisah sehingga menjadi satu kesatuan. Struktur mesin jarum satu itu sendiri

terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian badan mesin, bagian jarum dan alas jarum, serta bagian pedal mesin. Mesin ini digerakkan dengan tenaga listrik dengan pedal mesin sebagai pemicunya, sedangkan bagian alas jarum berfungsi untuk menjaga agar jahitan tetap lurus dan menekan kain sehingga kain tidak bergeser dari tempatnya.

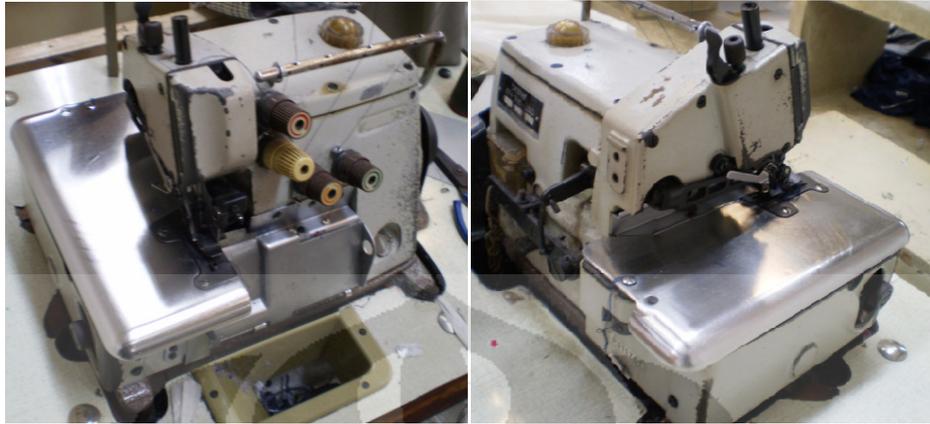
Selain mesin jarum satu, juga terdapat mesin jarum ganda yang memiliki perbedaan pada jumlah jarum yang digunakan dalam menjahit. Namun, secara keseluruhan bentuk kedua mesin dan cara pengoperasian keduanya adalah sama.



Gambar 3. 8 Mesin Jarum Satu

3.2.2.2 *Mesin Obras*

Mesin obras digunakan untuk menjahit pinggiran kain agar serat atau benang dari kain tidak terbuka ketika kain tersebut dijahit. Proses pengobrasan ini umumnya dilakukan pada awal *line* produksi di divisi *sewing*. Struktur mesin obras terdiri dari sebuah jarum dan alas jarum dan digerakkan melalui pedal dengan menggunakan tenaga listrik. Selain mengambil dimensi mesin, bentuk dan dimensi meja kerja untuk mesin obras juga turut diukur sebagai bahan dalam pembuatan *virtual environment*.



Gambar 3. 9 Mesin Obras

3.2.2.3 *Mesin Bartex*

Mesin bartex digunakan pada proses penjahitan kelim atau lipatan bawah pada pakaian atau celana. Kekhasan dari mesin ini adalah memiliki gerakan alas jarum yang bergerak secara maju dan mundur, sehingga operator hanya menyesuaikan posisi kain sesuai dengan arah gerakan alas jarum tersebut. Struktur mesin bartex terdiri dari jarum, alas jarum dan pedal yang digerakkan oleh tenaga listrik. Selain mengambil dimensi mesin, bentuk dan dimensi meja kerja untuk mesin bartex juga turut diukur sebagai bahan dalam pembuatan *virtual environment*.



Gambar 3. 10 Mesin Bartex

3.2.2.4 *Mesin Make-Up*

Mesin make-up digunakan untuk jahitan yang membutuhkan jahitan ganda dengan alur jahitan yang sejajar atau paralel. Dimensi dari mesin make-up cukup

besar dan biasanya diletakkan pada ujung *line* produksi. Struktur mesin make-up terdiri dari dua buah jarum, alas jarum, dan sebuah pedal yang digerakkan oleh tenaga listrik. Fungsi dari mesin make-up ini dapat juga dilakukan oleh mesin jarum dua yang juga memiliki hasil jahitan yang paralel. Selain mengambil dimensi mesin, bentuk dan dimensi meja kerja untuk mesin bartex juga turut diukur sebagai bahan dalam pembuatan *virtual environment*.



Gambar 3. 11 Mesin Make-Up

3.2.3 Data Antropometri

Data antropometri dibutuhkan sebagai input dalam membuat model manusia pada *software* Jack. Data antropometri yang digunakan merupakan data pekerja Indonesia yang didapatkan dari Persatuan Ergonomi Indonesia. Hal ini bertujuan agar penelitian kali dapat diterapkan pada industri garmen lainnya selain PT.X, dan juga untuk lebih mewakili pekerja industri garmen di Indonesia. Namun, untuk memastikan bahwa ukuran pekerja Indonesia tersebut juga merepresentasikan ukuran pekerja di PT.X, maka dilakukan pula pengukuran secara langsung kepada para pekerja untuk mendapatkan data antropometri yang aktual. Pengukuran dilakukan terhadap 30 orang pekerja dan dilakukan dengan mengambil data tinggi badan beserta berat dari pekerja tersebut. Hasil pengukuran ini akan berguna sebagai validasi data antropometri yang akan digunakan dalam penelitian ini. Berikut tabel data antropometri pekerja Indonesia dan data antropometri pekerja pada PT.X:

Tabel 3. 4. Data Antropometri Pekerja PT. X

NO. OBSERVASI	TINGGI (cm)	BERAT (kg)
1	145,5	45
2	159	46
3	148	41
4	155	50
5	158,5	83
6	155	55
7	148	52
8	153	47
9	172	52,5
10	157	46
11	149	57
12	152	45
13	156	50
14	148	41
15	147,5	41
16	145,5	67
17	154,5	48
18	157	44
19	149,5	54
20	143,5	42,5
21	153	46
22	159,5	54
23	147	59
24	148	47
25	143	41
26	157	55
27	156	44
28	149	51
29	145	41
30	149	33

Tabel 3. 5. Data Antropometri Pekerja Indonesia

Persentil	Dimensi Tubuh												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	tbt	tmd	tsb	pak	lak	sks	jtd	rt	lb	lp	tld	tpo	psg
5	144.95	133	89	20.95	8.5	33	59	141	33	26.17	37	34	29.5
50	159.5	147.5	100	24	10	41	72	161	40	33	44	40.6	35
95	172	160.55	109.07	27	12	49.06	83	176.7	46	40	52	46	39

(Sumber: Persatuan Ergonomi Indonesia)

Keterangan data:

- (1) tbt : tinggi badan tegak
- (2) tmd : tinggi mata berdiri
- (3) tsb : tinggi siku berdiri
- (4) pak : panjang alas kaki
- (5) lak : lebar alas kaki
- (6) sks : siku ke siku
- (7) jtd : jangkauan tangan ke depan
- (8) rt : rentangan tangan
- (9) lb : lebar bahu
- (10) lp : lebar pinggul
- (11) tld : tinggi lutut duduk
- (12) tpo : tinggi plopital
- (13) psg : panjang siku ke genggam tangan

Berdasarkan dari kedua data antropometri di atas, dibuatlah sebuah tabel perbandingan untuk mengukur kesamaan data antara antropometri pekerja Indonesia dan pekerja aktual. Berikut tabel perbandingan tersebut:

Tabel 3. 6 Perbandingan Data Antropometri PT.X dan Persatuan Ergonomi Indonesia

Persentil	Tinggi Badan (cm)	
	PT.X	Persatuan Ergonomi Indonesia
5%	144.4	144.95
50%	153	159.5
95%	170,8	172

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa data tiap-tiap persentil memiliki persamaan yang cukup signifikan, yaitu hanya memiliki deviasi antara 0,5 hingga 1,2 cm saja (persentil 5 dan 95). Perbedaan yang cukup besar hanya ditemui pada persentil 50, dimana deviasi data mencapai 6.5 cm. Namun, mengingat bahwa jumlah sampel yang digunakan diantara kedua data tersebut sangat jauh berbeda, dimana pengukuran pada PT.X hanya melibatkan 30 pekerja, maka perbedaan tersebut dapat dimaklumi sehingga data antropometri dari Persatuan Ergonomi Indonesia tetap dapat digunakan untuk merepresentasikan data antropometri pekerja pada PT. X.

3.2.4 Data Postur dan Gerakan Pekerja

Postur dan gerakan pekerja berguna sebagai input dalam membuat simulasi gerakan virtual pada *software* Jack. Pendokumentasian gerakan dan postur kerja ini dilakukan dengan menggunakan rekaman video. Pembuatan animasi gerakan pada model manusia virtual nantinya akan dilakukan dengan mengikuti rekaman video tersebut, sehingga hasil dari analisa gerakan tersebut akan memperlihatkan tingkat beban yang diterima oleh operator tiap-tiap mesin. Postur dan gerakan kerja yang diambil adalah postur pekerja yang menggunakan mesin jarum satu, obras, bartex, dan mesin make-up.

3.3.4.1 Postur Kerja pada Mesin Jarum Satu

Operasi dengan menggunakan mesin ini dilakukan oleh seorang operator yang bekerja dalam keadaan duduk. Beberapa gerakan yang dilakukan oleh operator mesin jarum tersebut antara lain proses *set-up* mesin, mengangkat kain, menjahit, menginjak pedal dan mendorong kain. Gerakan tersebut banyak melibatkan tubuh bagian atas (*upper limb*) dan juga melibatkan gerakan pada tubuh bagian bawah yaitu gerakan pergelangan kaki saat menginjak pedal. Postur kerja pada operator mesin ini cenderung berada pada posisi tubuh yang membungkuk. Hal ini disebabkan karena jarak antara mata dan titik jahit yang cukup jauh.



Gambar 3. 12 Postur Kerja Operator Mesin Jarum Satu

3.3.4.2 Postur Kerja pada Mesin Obrass

Operasi dengan menggunakan mesin ini dilakukan oleh seorang operator yang bekerja dalam keadaan duduk. Gerakan kerja operator mesin obras antara lain gerakan *set-up* mesin, menginjak pedal, dan mendorong kain. Gerakan pada operator mesin obras juga banyak melibatkan tubuh bagian atas (*upper limb*) dan juga melibatkan gerakan pada tubuh bagian bawah yaitu pergelangan kaki. Postur

kerja pada operator mesin ini cenderung membungkuk dan dengan tangan yang sedikit terangkat untuk menyesuaikan letak dan posisi jarum.



Gambar 3. 13 Postur Kerja Operator Mesin Obras

3.3.4.3 Postur Kerja pada Mesin Bartex

Operasi pada mesin ini dilakukan oleh satu operator yang bekerja dalam keadaan duduk. Gerakan kerja pada operator mesin bartex banyak melibatkan gerakan-gerakan pada tubuh bagian atas, yaitu gerakan mengangkat dan mendorong kain, serta sedikit gerakan pada tubuh bagian bawah yaitu gerakan menekan pedal menggunakan pergelangan kaki. Postur kerja pada operator mesin ini cenderung statis dan sedikit membungkuk, dengan posisi tangan yang terangkat untuk menyesuaikan posisi jarum pada mesin.



Gambar 3. 14 Postur Kerja Operator Mesin Bartex

3.3.4.4 Postur Kerja pada Mesin Make-Up

Operasi pada pada mesin ini dilakukan oleh seorang operator dalam keadaan duduk. Gerakan kerja pada operator mesin make-up banyak melibatkan gerakan pada tubuh bagian atas dan juga sedikit gerakan pada tubuh bagian bawah. Postur kerja pada operator mesin ini cenderung mengalami kontraksi pada punggung akibat posisi jarum yang cukup jauh dari jangkauan tangan.



Gambar 3. 15 Postur Kerja Operator Mesin Make-Up

3.3 Pembuatan Model Simulasi Di Divisi Sewing

3.3.1 Penentuan konfigurasi model

Setelah melakukan analisa aksesibilitas dari hasil pengamatan pada divisi *sewing*, maka ditetapkan 16 jenis konfigurasi yang akan disimulasikan dengan menggunakan *software* Jack. Parameter yang digunakan dalam rancangan perbaikan pada tabel 3.7. di bawah ini adalah ketinggian meja dan kursi dari stasiun kerja yang berada pada divisi *sewing*. Persentil yang digunakan adalah data persentil 50 dengan operator mesin wanita.

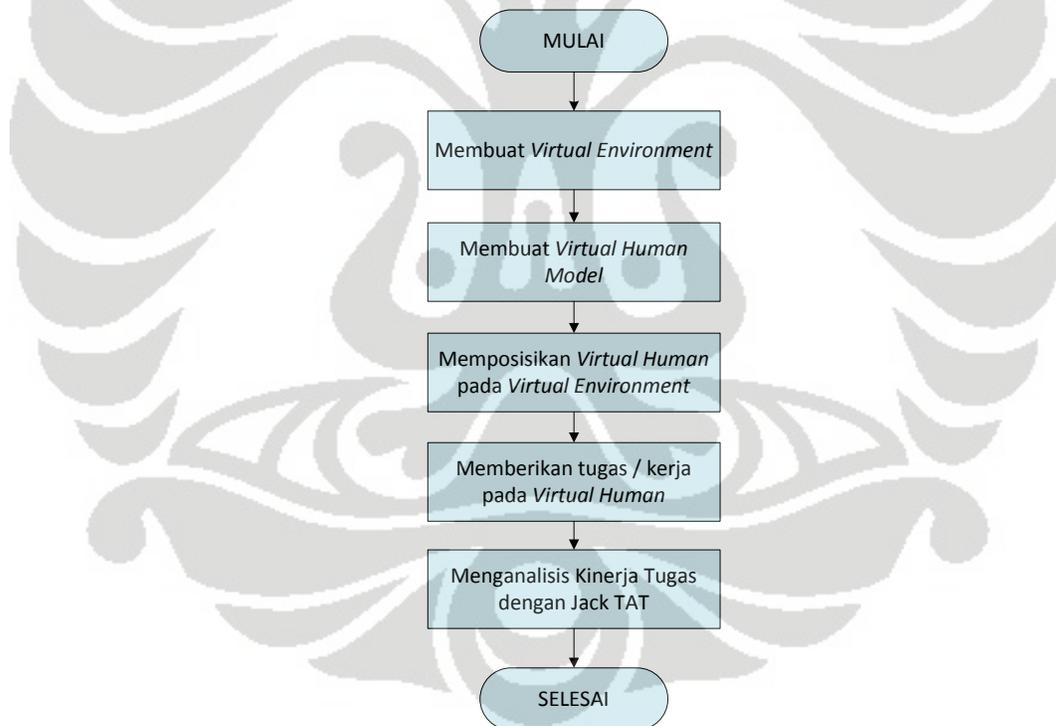
Tabel 3. 7. Rancangan Konfigurasi Pada Stasiun Kerja PT.X

NO.	KONFIGURASI	STASIUN KERJA	PARAMETER				
			Keterangan	Tinggi Meja (cm)	Tinggi Kursi (cm)	Persentil	Gender
1	Konfigurasi 1A	Mesin Jarum 1	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita
2	Konfigurasi 2A	Mesin Jarum 1	<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55	Persentil 50	Wanita
3	Konfigurasi 3A	Mesin Jarum 1	<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50	Persentil 50	Wanita
4	Konfigurasi 4A	Mesin Jarum 1	<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45	Persentil 50	Wanita
5	Konfigurasi 1B	Mesin Obras	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita
6	Konfigurasi 2B	Mesin Obras	<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55	Persentil 50	Wanita
7	Konfigurasi 3B	Mesin Obras	<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50	Persentil 50	Wanita
8	Konfigurasi 4B	Mesin Obras	<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45	Persentil 50	Wanita
9	Konfigurasi 1C	Mesin Bartex	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita
10	Konfigurasi 2C	Mesin Bartex	<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55	Persentil 50	Wanita
11	Konfigurasi 3C	Mesin Bartex	<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50	Persentil 50	Wanita
12	Konfigurasi 4C	Mesin Bartex	<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45	Persentil 50	Wanita
13	Konfigurasi 1D	Mesin Make-Up	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita
14	Konfigurasi 2D	Mesin Make-Up	<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55	Persentil 50	Wanita
15	Konfigurasi 3D	Mesin Make-Up	<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50	Persentil 50	Wanita
16	Konfigurasi 4D	Mesin Make-Up	<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45	Persentil 50	Wanita

3.3.2 Alur Pembuatan Model

Langkah pembuatan model simulasi pada *software* Jack dibagi ke dalam beberapa tahapan kerja yang terlihat pada gambar 3.16. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, tahapan-tahapan dalam membuat sebuah model simulasi adalah sebagai berikut:

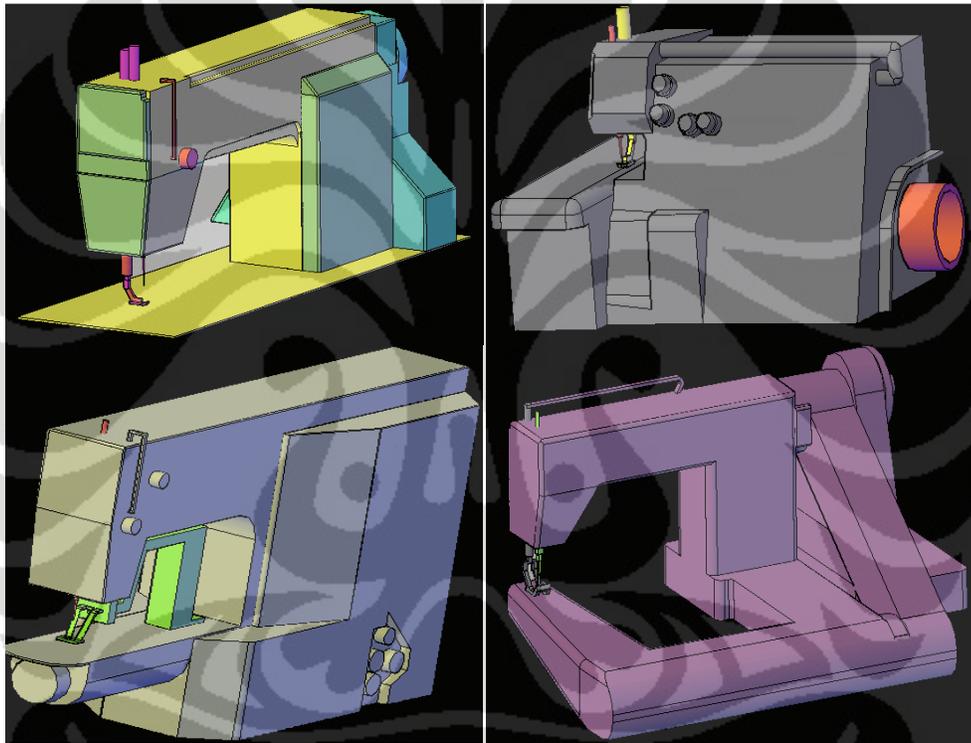
1. Membuat sebuah *virtual environment*
2. Membuat model manusia *virtual human model*
3. Memposisikan *virtual human model* pada *virtual environment* sesuai dengan keadaan riil
4. Memberikan tugas atau kerja pada *virtual human* sesuai dengan gerakan kerja yang diinginkan
5. Menganalisis kinerja *virtual human model* dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit (TAT)* yang terdapat pada *software* Jack.



Gambar 3. 16 Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi

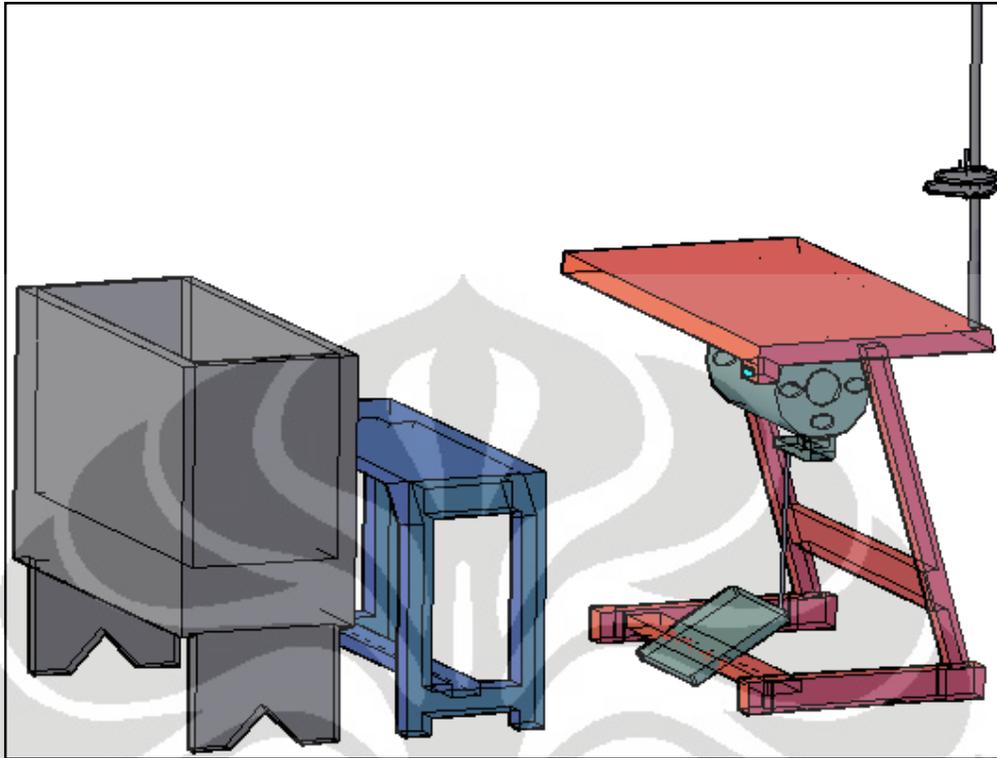
3.3.2.1 Pembuatan Virtual Environment

Tahap awal dalam pembuatan lingkungan virtual pada *software* Jack adalah dengan meng-*import* model-model mesin yang telah dibuat dengan *software* AutoCAD sebelumnya. Data yang digunakan dalam membuat model mesin merupakan data hasil pengukuran dimensi dan bentuk mesin yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga dapat diciptakan sebuah lingkungan virtual yang sesuai dengan kondisi aktual. Berikut adalah hasil pembuatan model mesin dengan menggunakan *software* AutoCAD.



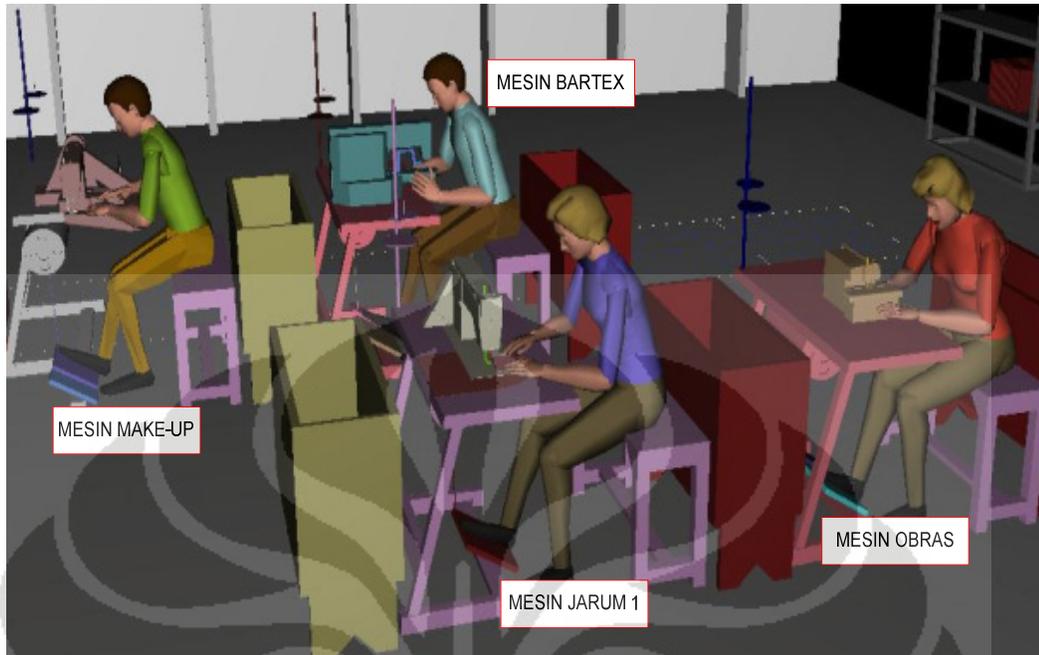
Gambar 3. 17 AutoCAD Mesin-Mesin di Divisi Sewing

Selain melakukan pembuatan model dimensi dan bentuk mesin, dibuat pula peralatan-peralatan yang berada di sekitar dan berinteraksi dengan operator selama proses berlangsung. Berikut adalah model AutoCAD dari stasiun kerja pada divisi *sewing*.



Gambar 3. 18 AutoCAD Stasiun Kerja di Divisi Sewing

Setelah seluruh objek dibuat dengan menggunakan AutoCAD, maka tahap selanjutnya adalah meng-*import* keseluruhan objek tersebut kedalam *software* Jack. Hasil dari *import* mesin-mesin tersebut akan membentuk sebuah lingkungan virtual pada *software* Jack yang memiliki dimensi dan ukuran yang sesuai dengan lingkungan aktual yang terdapat pada divisi *sewing* PT.X. Selanjutnya tata letak stasiun kerja dan mesin-mesin pada lingkungan kerja tersebut dapat disesuaikan dengan posisi yang diinginkan sesuai dengan urutan produksi atau *line* produksi di divisi *sewing*. Gambar 3.19 menunjukkan tata letak stasiun kerja dan mesin-mesin yang telah di-*import* ke dalam *software* Jack.



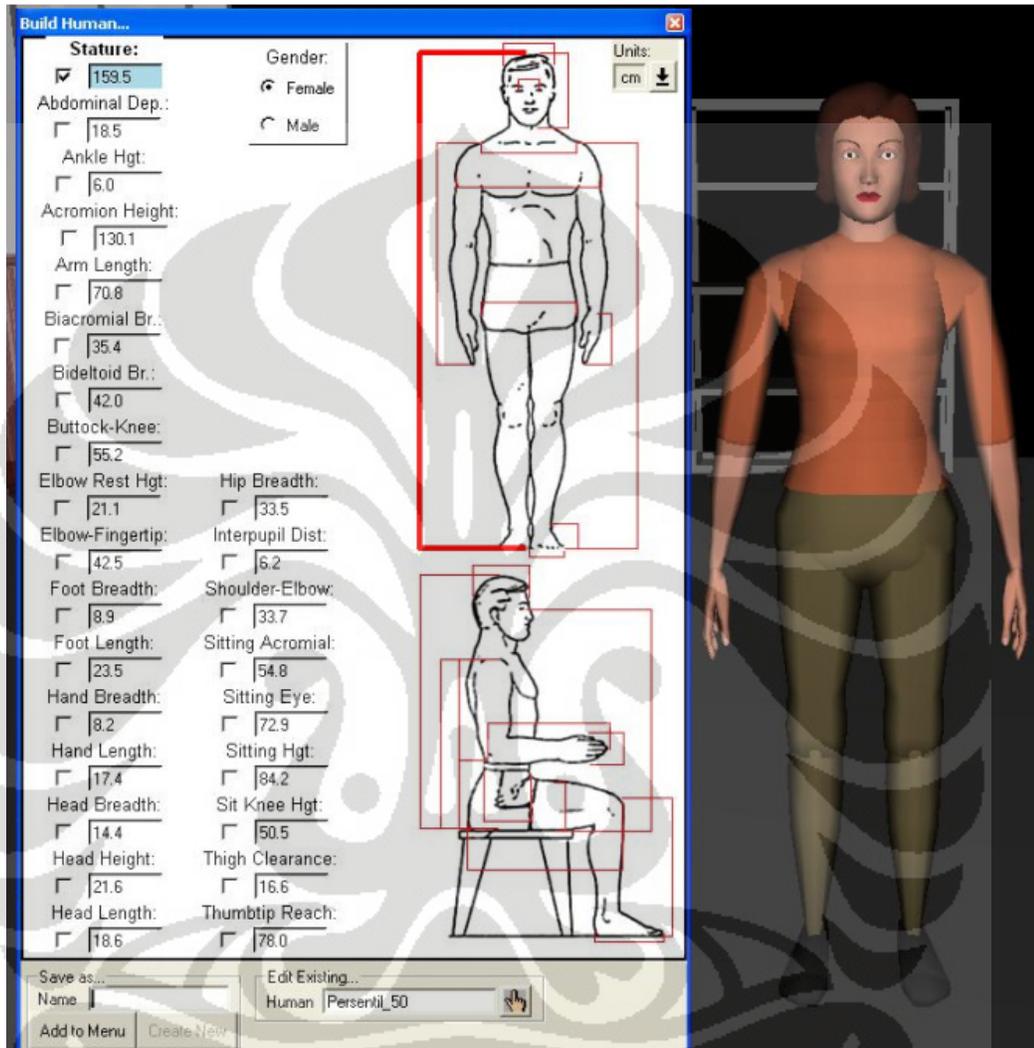
Gambar 3. 19 Tata Letak Stasiun Kerja Divisi Sewing Pada *Virtual Environment*

3.3.2.2 Pembuatan *Virtual Human Modelling*

Selain menyediakan *default human* menggunakan ukuran pria dan wanita Amerika Serikat dengan persentil 50 yang dikumpulkan oleh ANSUR-88 (US Army Anthropometric Survey 1988), *Software Jack* juga memungkinkan penggunaanya untuk membuat model manusia dengan ukuran antropometri yang lebih spesifik. Oleh karena penelitian ini dilakukan secara spesifik pada pekerja di industri garmen, maka antropometri pada manusia virtual harus disesuaikan terlebih dahulu menggunakan fitur *advanced scaling* yang terdapat pada *software Jack*.

Model manusia virtual dibuat dengan menggunakan data antropometri pekerja Indonesia dengan persentil 50 yang didapatkan dari Persatuan Ergonomi Indonesia. Persentil 50 digunakan karena nilai ini merupakan nilai tengah dari populasi pekerja yang ada, dimana kondisi pekerja dengan ukuran ekstrim (sangat besar dan sangat kecil) tidak dijumpai pada pekerja di divisi *sewing* PT.X. Gender pekerja yang dipilih sebagai input adalah wanita, karena proporsi pekerja pada industri garmen didominasi oleh wanita. Khusus di divisi *sewing* PT.X jumlah pekerja laki-laki kurang dari 5% dari keseluruhan pekerja, sehingga penelitian ini

difokuskan pada pekerja wanita. Gambar 3.20 berikut ini menunjukkan pengisian input data untuk membuat model manusia virtual pada Jack™.

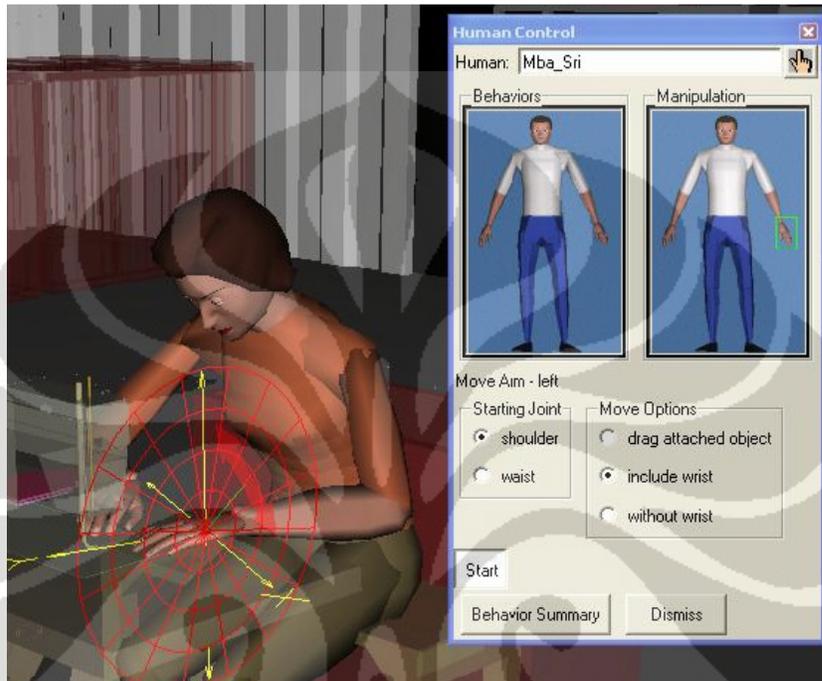


Gambar 3. 20 Pembuatan *Virtual Human* dengan *Advanced Scaling*

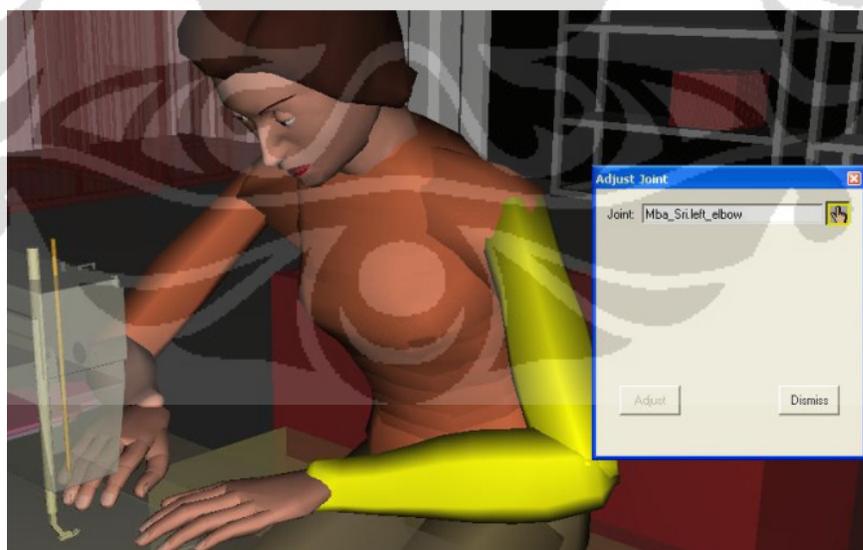
3.3.2.3 Pembentukan Postur dan Pemberian Tugas Pada *Virtual Human*

Pemberian tugas pada model manusia virtual diawali dengan pembentukan postur kerja agar sesuai dengan postur kerja operator pada saat menggunakan mesin jarum, obras, bartex, dan make-up. 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, seperti yang terlihat pada

gambar 3.21. Untuk manipulasi persendiaan yang hanya melibatkan satu sendi saja, dapat dilakukan dengan menggunakan fitur *adjust joint* pada Jack (gambar 3.22).



Gambar 3. 21 Kotak Dialog *Human Control*



Gambar 3. 22 Kotak Dialog *Adjust Joint*

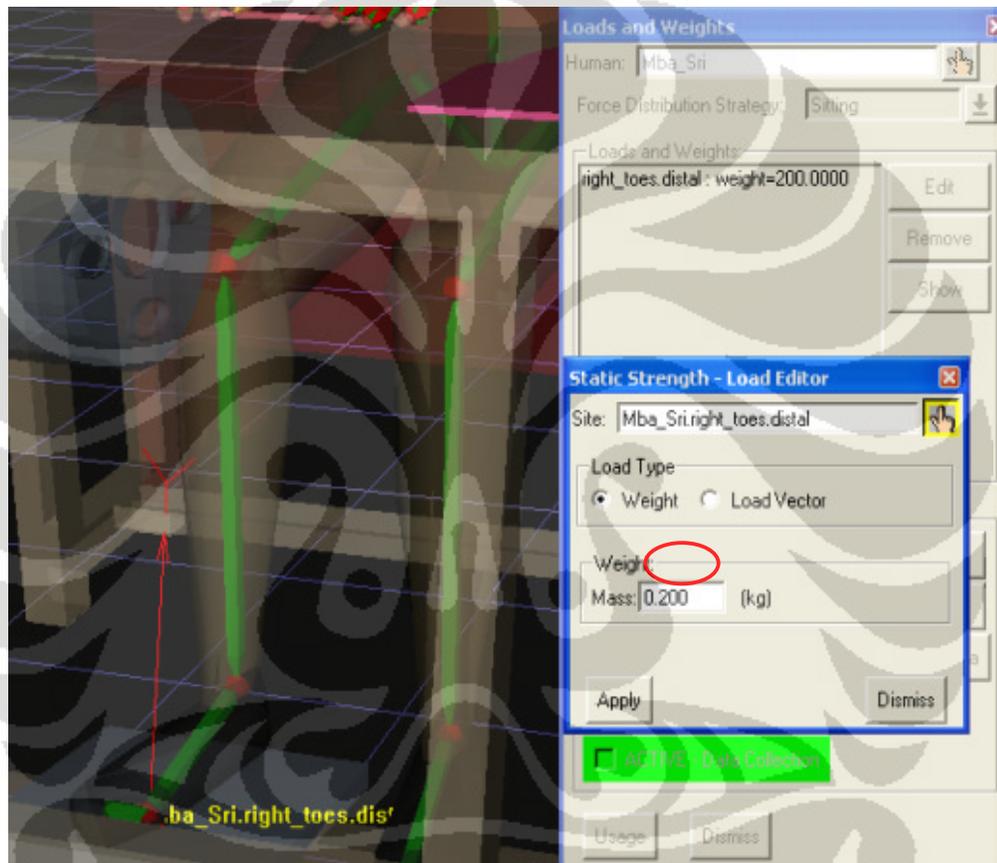
Dari hasil manipulasi di atas akan didapatkan postur kerja untuk masing-masing operator mesin. Postur kerja pada tiap-tiap operator mesin dibentuk agar sesuai dengan postur pekerja pada kondisi yang sebenarnya. Postur kerja yang diberikan pada model manusia virtual dapat dilihat pada gambar 3.23 berikut ini.



Gambar 3. 23 Postur Kerja Untuk Tiap-Tiap Operator Mesin Pada Model Manusia Virtual

Langkah selanjutnya adalah pemberian distribusi gaya dan beban kerja yang disesuaikan dengan uraian pekerjaan operator tiap-tiap mesin. Pemberian beban kerja tersebut bertujuan untuk memberikan hasil penilaian postur kerja

yang lebih menyeluruh terhadap bagian-bagian tubuh pada model manusia virtual yang dibuat. Pemberian distribusi gaya dan pada model manusia virtual dilakukan dengan menggunakan fitur *add load and weight* yang ada pada kotak dialog *task analysis toolkit* SSP, OWAS, dan LBA seperti yang terlihat pada gambar 3.24. Sedangkan proses pemberian beban dilakukan melalui fitur *task entry* pada kotak dialog RULA, seperti yang terlihat pada gambar 3.25.



Gambar 3. 24 Pemberian Distribusi Gaya Pada Bagian Kaki Operator Mesin Jarum 1

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Human: Mba_Sri

Body Group A Loading (Arm, Wrist)

Muscle Use

- Normal, no extreme use
- Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute
- Action repeated more than 4 times per minute

Forces and Loads

- < 2 kg intermittent load
- 2-10 kg intermittent load
- 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
- More than 10 kg static. Shock forces.

Arm Support: Arm Supported

Legs and Feet

- Seated, Legs and feet well supported. Weight even.
- Standing, weight even. Room for weight changes.
- Legs/feet not supported. Weight distribution uneven.

Body Group B Loading (Neck, Trunk)

Muscle Use

- Normal, no extreme use
- Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute
- Action repeated more than 4 times per minute

Forces and Loads

- < 2 kg intermittent load
- 2-10 kg intermittent load
- 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
- More than 10 kg static. Shock forces.

Gambar 3. 25 Pemberian Beban Kerja Pada Operator Mesin Jarum Satu

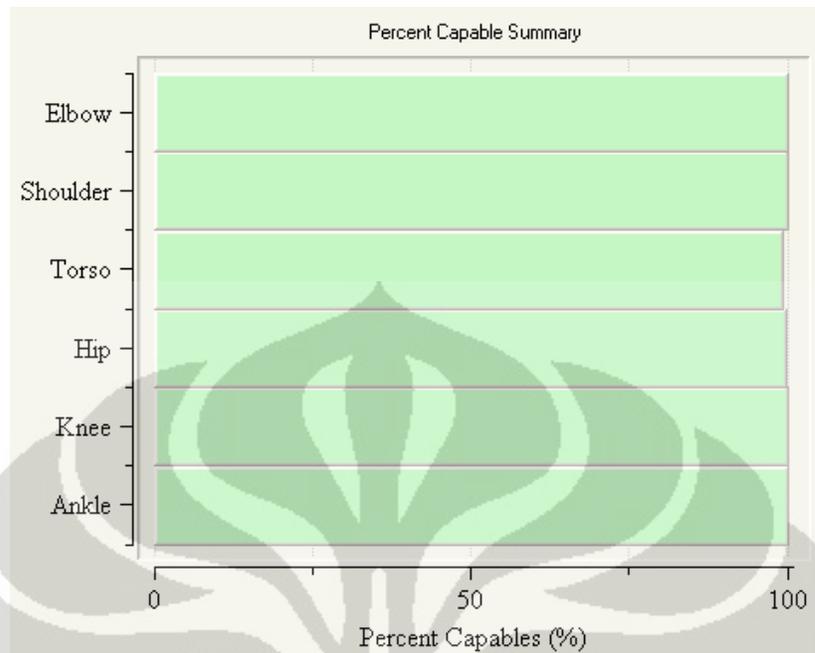
Setelah memanipulasi postur kerja serta memberikan gaya dan beban kerja yang sesuai pada model manusia virtual, langkah selanjutnya adalah memberikan tugas pada model sesuai dengan operasi kerja yang telah direkam melalui video. Gerakan model virtual pada sistem animasi ini dapat diatur sedemikian rupa dengan cara memanipulasi persendian pada model virtual dan memasukkan fungsi waktu ke dalam sistem. Gerakan-gerakan pada Jack yang dibuat melalui fitur *animation system* dapat terlihat pada gambar 3.26 berikut ini.



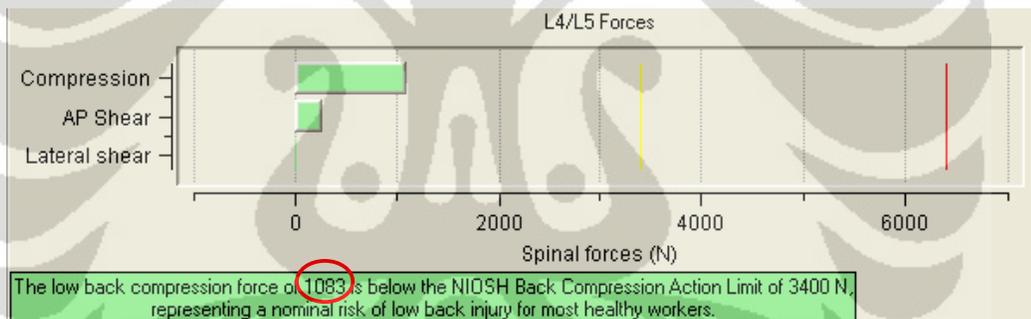
Gambar 3. 26 Rangkaian Gerakan Kerja Pada Operator Mesin Jarum Satu

3.3.3 Analisis Simulasi kerja dengan Jack *Task Analysis Toolkit* (TAT)

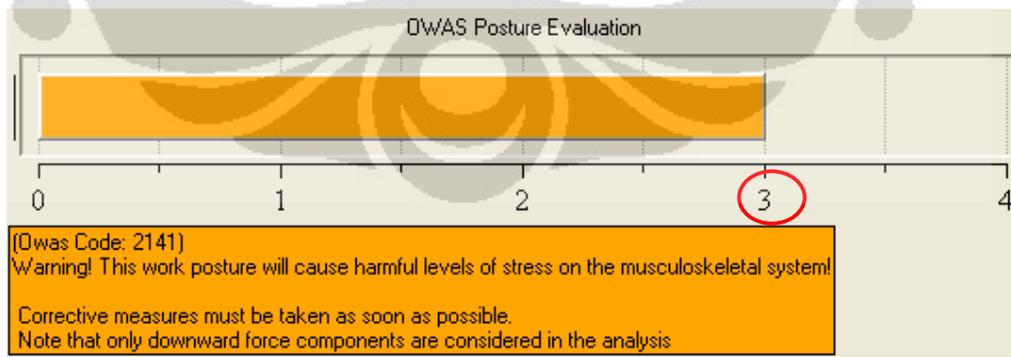
Untuk menganalisa pengaruh postur dan gerakan kerja yang telah diberikan terhadap tubuh bagian atas dan bagian bawah model manusia, digunakanlah beberapa *tools* yang tersedia di dalam *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang terdapat pada *software* Jack 6.0. Dalam penelitian ini terdapat empat *tools* yang digunakan untuk menganalisis kinerja model manusia virtual, yaitu: *Static Strength Prediction*, *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis System*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Keempat metode tersebut akan menghasilkan output penilaian secara *real-time* ketika simulasi dijalankan, sehingga akan terlihat grafik kelelahan dan beban yang dirasakan oleh model virtual. Penilaian secara *real-time* tersebut juga dapat menunjukkan rangkaian pekerjaan yang memiliki beban dan pengaruh paling besar terhadap tubuh manusia virtual, sehingga nantinya akan dapat diambil suatu tindakan perbaikan pada rangkaian pekerjaan tersebut. Berikut adalah hasil penilaian dari keempat *tools* yang terdapat pada *task analysis toolkit* terhadap rangkaian pekerjaan menjahit dengan tinggi stasiun kerja aktual pada operator mesin jarum (konfigurasi mesin jarum 1).



Gambar 3. 27 Hasil Analisa SSP Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu)



Gambar 3. 28 Hasil Analisa LBA Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu)



Gambar 3. 29 Hasil Analisa OWAS Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu)

Body Group A Posture Rating		Body Group B Posture Rating	
Upper arm:	4	Neck:	1
Lower arm:	2	Trunk:	3
Wrist:	2	Total:	4
Wrist Twist:	2	Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute	
Total:	5	Force/Load: < 2 kg intermittent load	
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: 5			
Action: Investigation and changes are required soon.			

Gambar 3. 30 Hasil Analisa RULA Untuk Konfigurasi 1A (Mesin Jarum Satu)

3.3.4 Perhitungan Nilai PEI

Setelah didapat skor dari tiap metode analisis, diperlukan suatu metode untuk menggabungkan keempat penilaian dari Jack TAT tersebut agar dapat menjadi penilaian yang utuh. *Postur Evaluation Index* (PEI) digunakan untuk memberikan hasil penilaian berupa rating penilaian yang didapatkan dengan persamaan yang terdapat pada bab 2, yaitu:

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

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

$$I_2 = OWAS/4$$

$$I_3 = RULA/7$$

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

Langkah pertama untuk menghitung nilai PEI dari konfigurasi 1 adalah memastikan persentase populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan tersebut. Nilai batas minimum 90% digunakan sebagai persyaratan bahwa pekerjaan tersebut dapat dilakukan oleh pekerja lain yang memiliki umur, gender, dan tinggi berbeda. Hasil dari analisis SSP adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 8. Tabel Kapabilitas SSP Untuk Konfigurasi 1A

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-1	--	34	9	100	-1	--	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	31	8	100	-3	ABDUCT	34	9	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	33	10	100	-0	--	43	15	100
	Humeral Rot	-1	--	17	4	100	-1	--	21	5	100
Trunk	Flex/Ext	-52	EXTEN	293	101	99					
	Lateral Bending	-1	--	212	48	100					
	Rotation	-0	--	60	18	100					
Hip		-0	--	126	48	100	-0	--	126	48	100
Knee		0	--	113	39	100	0	--	112	39	100
Ankle		0	--	84	23	100	0	--	91	25	100

(Sumber: Jack Task Analysis Toolkit)

Dari tabel kapabilitas di atas, kegiatan kerja pada konfigurasi 1 dapat dikerjakan oleh lebih dari 90% populasi pekerja. Sehingga pekerjaan tersebut dapat dianalisa lebih lanjut. Secara lebih rinci bagian bahu, siku, punggung, pinggul, lutu, dan pergelangan kaki dari pekerja memiliki persentase kapabilitas yang memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

Untuk mengukur nilai PEI, digunakanlah rangkuman hasil analisis LBA, OWAS, dan RULA yang dapat dilihat pada tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3. 9 Resume Skor LBA, OWAS, RULA

NO. KONFIGURASI	SKOR LBA	SKOR OWAS	SKOR RULA
1	1083	3	5

Dengan memasukkan skor-skor di atas pada persamaan 2.1 di atas, maka akan didapat nilai PEI dari konfigurasi 1A. Berikut perhitungan dengan menggunakan metode PEI:

$$\begin{aligned}
 PEI &= 1083N / 3400N + 3/4 + 5/7 * 1.42 \\
 &= 2,083
 \end{aligned}$$

Hasil dari penilaian PEI konfigurasi 1 tersebut akan dibandingkan dengan nilai PEI dari konfigurasi lainnya untuk menentukan konfigurasi mana yang paling optimal secara ergonomis.

3.3.5 Pengujian Model

Untuk memastikan bahwa model simulasi yang dibuat dapat merepresentasikan keadaan pekerja di dunia nyata, maka perlu dilakukan pengujian terhadap model tersebut. Pengujian model terdiri dari dua bagian utama, yaitu verifikasi dan validasi model.

3.3.5.1 Verifikasi Model

Suatu model dikatakan telah lolos verifikasi jika model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen. Verifikasi model mengindikasikan bahwa model tersebut telah dipercaya konsepsinya, namun dengan tidak mempedulikan validitas dari konsepsi tersebut. Dalam sistem dinamik, pengujian model melalui proses verifikasi mempunyai dua cara, yaitu²⁰:

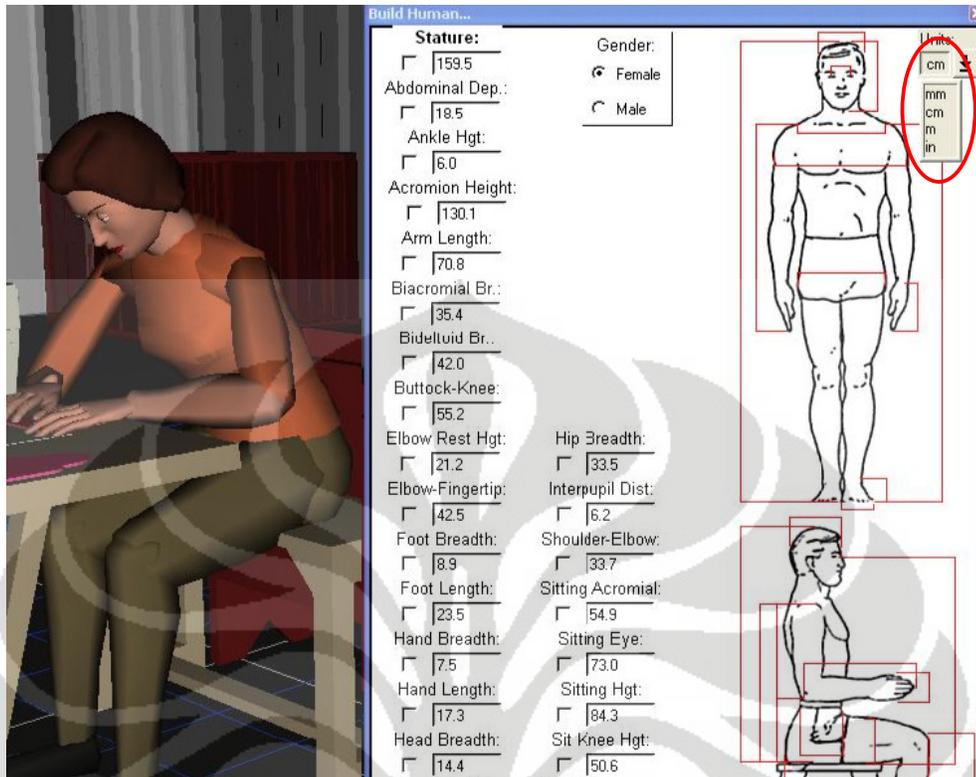
- Dimensi atau uji analisis unit

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.

²⁰ Setiawan, Andri D dan Sukriana, Yugi, *Urban Decay in Kente – Dealing with Capacity and Distribution of Opportunity*



Gambar 3. 31 Hasil Uji Dimensi/Analisis Unit Pada *Software Jack*

Pada Uji verifikasi seperti yang terlihat pada gambar 3.31 di atas menunjukkan bahwa dimensi yang digunakan pada input antropometri model manusia telah mengikuti dimensi standar untuk tinggi badan manusia, yaitu centimeter. Oleh karena itu model simulasi yang dibuat pada penelitian kali ini dapat dipercaya karena menggambarkan keadaan riil dari pekerja.

3.3.5.2 Validasi Model

Setelah melewati proses verifikasi model, maka tahapan selanjutnya dalam pengujian model adalah proses validasi model. Terdapat tiga cara dalam memvalidasi model, yaitu²¹:

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.

²¹ Ibid

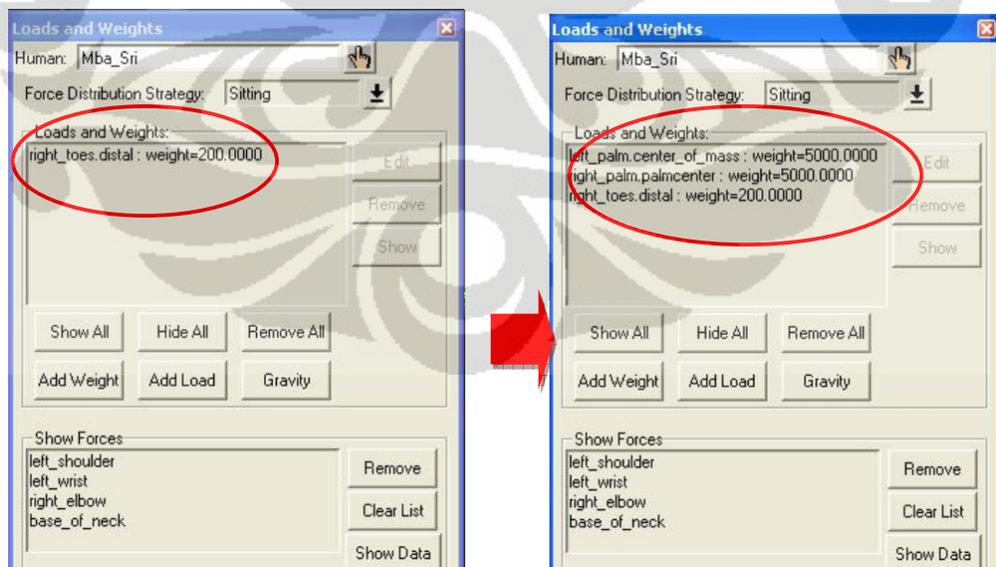
2. Uji kondisi ekstrim

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

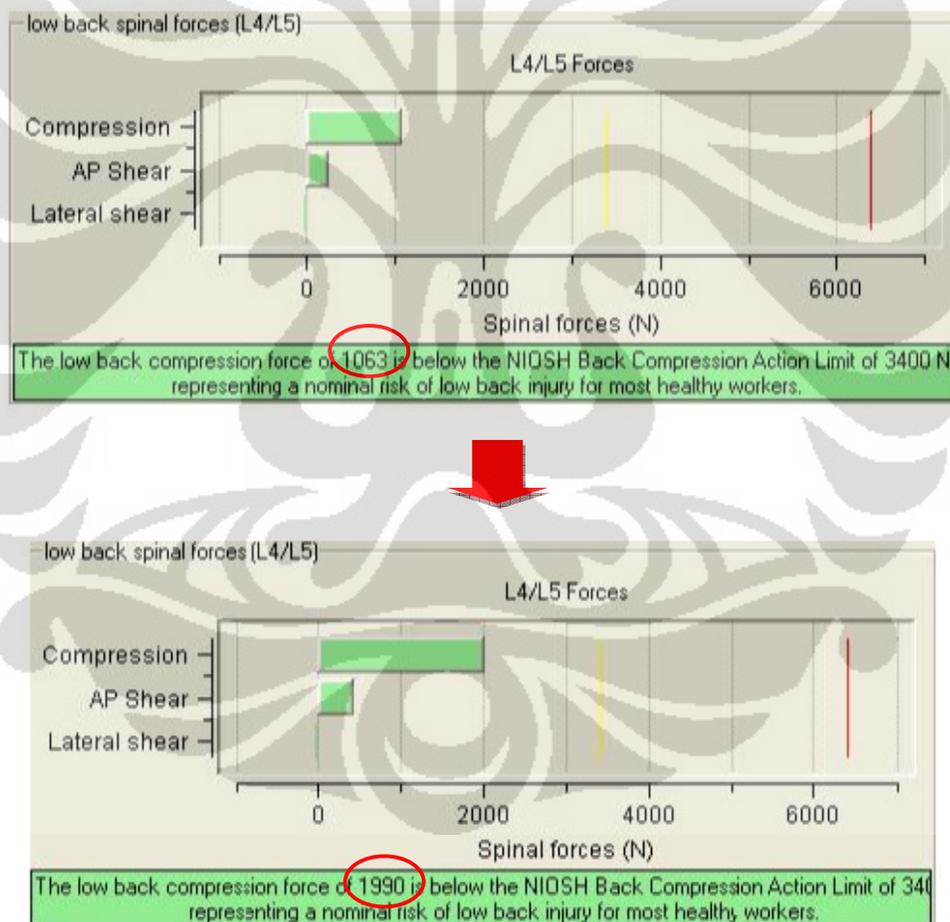
Uji analisis sensitivitas perlu dikerjakan untuk mengidentifikasi parameter mana saja yang dikategorikan sebagai parameter sensitif. Perubahan kecil pada variabel sensitif tersebut akan berpengaruh pada perilaku seluruh sistem.

Pada simulasi menggunakan *software* Jack, hanya akan dilakukan uji validitas dengan menggunakan uji kondisi ekstrim karena, tipe uji validitas lainnya tidak dapat dilakukan oleh *software* yang bersangkutan. Berikut hasil uji validitas dengan uji kondisi ekstrim.

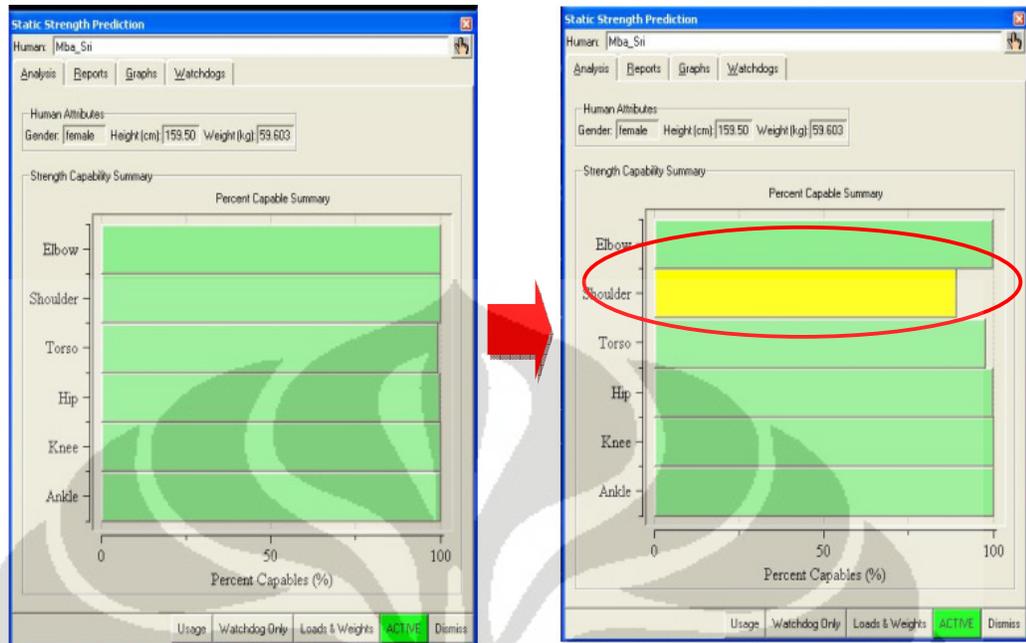


Gambar 3. 32 Uji Validitas Dengan Penambahan Gaya Yang Bersifat Ekstrem

Pada gambar diatas ditunjukkan penambahan beban kerja pada bagian tangan sebelah kiri dan sebelah kanan model manusia virtual sebesar masing-masing 5 kg. Penambahan ini merupakan perumpamaan apabila model virtual menjahit sesuatu bahan yang sangat berat dengan menggunakan mesin jarum satu. Hasil dari penambahan beban tersebut dapat dilihat pada gambar 3.33, dan 3.34 berikut ini. Pada gambar terlihat bahwa hasil analisis kapabilitas LBA pada model menunjukkan lonjakan kompresi pada bagian tulang belakang model dari 1063 N menjadi 1990 N. Sedangkan analisa kapabilitas SSP pada model menunjukkan beban yang diterima oleh bagian *shoulder* pada model telah melebihi batas toleransi kapabilitas kerja (ditunjukkan dengan indikasi warna kuning) yang mampu diterima oleh populasi pekerja.



Gambar 3. 33 Hasil Analisis LBA Setelah Penambahan Beban 5 kg Pada Model



Gambar 3. 34 Hasil Analisis SSP Setelah Penambahan Beban 5 kg Pada Model

BAB 4

ANALISIS

4.1 Analisis Kondisi Aktual

Analisis kondisi aktual diperlukan untuk melihat kondisi ergonomi dari setiap operasi kerja sebelum dilakukan adanya perubahan terhadap variabel tinggi meja dan kursi kerja. Kondisi aktual didapatkan melalui pengukuran secara langsung terhadap kondisi stasiun kerja yang ada pada divisi *sewing* PT.X.

Analisis kondisi aktual ini akan menjadi dasar perbandingan untuk melihat seberapa jauh perbaikan ergonomi yang telah dihasilkan dengan adanya perubahan terhadap variabel tinggi meja dan kursi kerja terhadap postur kerja operator.

4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Mesin Jarum Satu (Konfigurasi 1A)

Rangkaian simulasi kerja pada operator mesin jarum dilakukan pada posisi duduk (*seated working*) dengan menggunakan seorang model manusia virtual bergender wanita dan memiliki tinggi 159.5 cm, dengan persentil 50. Pada tahap awal analisa terlebih dahulu harus ditentukan batas minimum kapabilitas operator mesin jarum, yaitu sebesar 90%. Penetapan batas persen kapabilitas tersebut berguna untuk memastikan bahwa jenis pekerjaan tersebut dapat ataupun tidak dapat dilakukan oleh populasi pekerja lain yang memiliki umur, gender, dan tinggi yang berbeda. Tabel 4.1 menunjukkan persentase kapabilitas dari kondisi aktual pada operator mesin jarum satu (konfigurasi 1A).

Tabel 4. 1. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1A

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-1	--	34	9	100	-1	--	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	31	8	100	-3	ABDUCT	34	9	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	33	10	100	-0	--	43	15	100
	Humeral Rot	-1	--	17	4	100	-1	--	21	5	100
Trunk	Flex/Ext	-52	EXTEN	293	101	99					
	Lateral Bending	-1	--	212	48	100					
	Rotation	-0	--	60	18	100					
Hip		-0	--	126	48	100	-0	--	126	48	100
Knee		0	--	113	39	100	0	--	112	39	100
Ankle		0	--	84	23	100	0	--	91	25	100

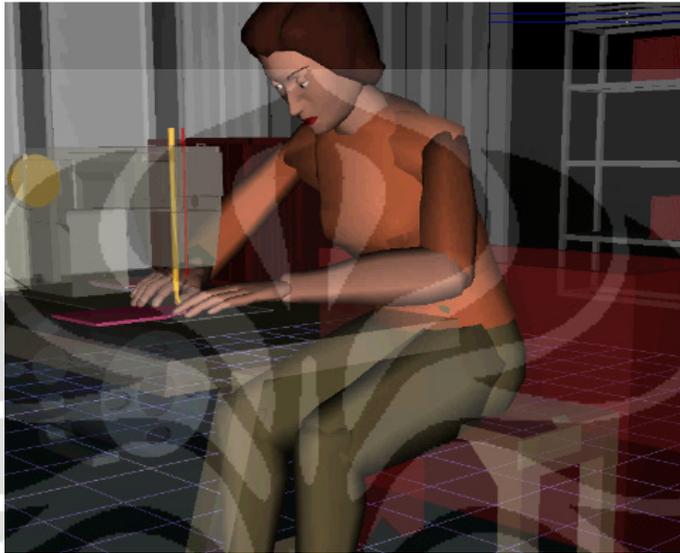
Dari data terlihat bahwa persentase kapabilitas bagian tubuh atas (*upper limb*) dan bawah (*lower limb*) dari model manusia berada di atas batas minimum kapabilitas, yaitu 90%. Data persentase kapabilitas tersebut menunjukkan bahwa mayoritas pekerja wanita dengan persentil 50 memiliki kekuatan yang dibutuhkan untuk melakukan rangkaian kerja dengan menggunakan mesin jarum satu. Setelah dilakukan analisa SSP, animasi rangkaian gerakan pada operator mesin jarum dijalankan untuk mencari titik ekstrem dari LBA, OWAS, dan RULA

Tabel 4. 2. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Jarum Satu

NO. KONFIGURASI	SKOR		
	LBA	OWAS	RULA
1A	1083	3	5

Titik ekstrim postur kerja operator mesin jarum berada di tekanan kompresi sebesar 1083 Newton. Tekanan tersebut muncul akibat dari postur kerja yang membungkuk (*flexion*) ke depan ketika melakukan gerakan menjahit. Gerakan membungkuk tersebut terjadi karena operator mengeluarkan gaya dorong ke depan ketika mendorong kain yang mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung, terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Namun, tekanan kompresi yang terjadi masih berada di bawah nilai

yang ditetapkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) sebesar 3400 N, yang merupakan batas nilai beban ideal yang dapat diterima pekerja.



Gambar 4. 1 Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrim Pada Konfigurasi 1A

Nilai skor OWAS yang dikeluarkan oleh *task analysis toolkit* (TAT) Jack pada operator mesin jarum adalah 3, yang berarti postur kerja yang ada berpotensi untuk menimbulkan gangguan cedera muskuloskeletal pada tubuh. Untuk mengatasi hal tersebut perlu diambil suatu langkah perbaikan yang mungkin untuk dilakukan. Lebih lanjut lagi, detail dari skor OWAS yang menghasilkan nilai 2141 dapat menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk (*flexion*) yang menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
3. Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 4 yang menandakan bahwa lutut berada dalam kondisi tertekuk
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10kg.

Setelah melakukan analisis postur kerja (OWAS), maka analisa dilanjutkan ke tubuh bagian atas dari model (*upper limb*) dengan menggunakan RULA. Analisis RULA dibedakan kedalam dua kelompok penilaian, yaitu kelompok tubuh A dan kelompok tubuh B.

Tabel 4. 3. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Jarum Satu

SCORE	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
operator 1	4	2	2	2	1	3
group score	5				4	
Grand Score	5					

Kelompok tubuh A merupakan bagian tubuh yang dinamis, terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah, pergelangan tangan, perputaran sendi tangan. Sedangkan kelompok tubuh B merupakan anggota tubuh yang cenderung bersifat statis. Data pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa anggota gerak tubuh bagian atas mengalami kontraksi otot (*flexion*) akibat dari proses menjahit yang dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama. Sedangkan anggota tubuh B yang paling banyak mengalami kontraksi otot adalah bagian batang tubuh (*trunk*) yang diakibatkan oleh posisi tubuh yang cenderung statis dan membungkuk dalam jangka waktu yang lama. Secara keseluruhan, skor penilaian RULA untuk operator mesin jarum menunjukkan angka 5 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan segera pada stasiun kerja maupun rangkaian gerakan operator mesin jarum.

Setelah dilakukan analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA maka dapat dihitung skor PEI dengan menggunakan persamaan 2.1 seperti yang tertulis pada bab 2. Skor PEI operator mesin jarum satu pada kondisi aktual adalah sebesar 2.083.

4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Mesin Obras (Konfigurasi 1B)

Rangkaian simulasi kerja pada operator mesin obras dilakukan pada posisi duduk (*seated working*) dengan menggunakan seorang model manusia virtual bergender wanita dan memiliki tinggi 159.5 cm, dengan persentil 50. Pada tahap

awal analisa terlebih dahulu harus ditentukan batas minimum kapabilitas operator mesin jarum, yaitu sebesar 90%. Penetapan batas persen kapabilitas tersebut berguna untuk memastikan bahwa jenis pekerjaan mengobras dapat maupun tidak dapat dilakukan oleh populasi pekerja lain yang memiliki umur, gender, dan tinggi yang berbeda. Tabel 4.4 menunjukkan persentase kapabilitas dari kondisi aktual pada operator mesin obras (konfigurasi 1B).

Tabel 4. 4. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1B

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	35	9	100	-1	--	38	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	35	9	100	-2	ABDUCT	35	9	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	42	14	100	-0	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	24	6	100	-0	--	24	6	100
Trunk	Flex/Ext	-39	EXTEN	277	96	99					
	Lateral Bending	0	--	178	44	100					
	Rotation	0	--	57	17	100					
	Hip	-0	--	121	46	100	-0	--	121	46	100
	Knee	0	--	113	39	100	0	--	112	39	100
	Ankle	0	--	81	22	100	0	--	87	24	100

Dari data terlihat bahwa persentase kapabilitas bagian tubuh atas (*upper limb*) dan bawah (*lower limb*) dari model manusia berada di atas batas minimum kapabilitas, yaitu 90%. Data persentase kapabilitas tersebut menunjukkan bahwa mayoritas pekerja wanita dengan persentil 50 memiliki kekuatan yang dibutuhkan untuk melakukan rangkaian kerja dengan menggunakan obras.

Setelah dilakukan analisa SSP, animasi rangkaian gerakan pada operator mesin obras dijalankan untuk mencari titik ekstrem dari LBA, OWAS, dan RULA yang muncul.

Tabel 4. 5. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Obras

NO. KONFIGURASI	SKOR		
	LBA	OWAS	RULA
1B	916	2	6

Titik ekstrim postur kerja operator mesin obras berada di tekanan kompresi sebesar 916 Newton. Tekanan tersebut muncul akibat dari postur kerja yang membungkuk (*flexion*) ke depan ketika melakukan gerakan mengobras. Gerakan membungkuk tersebut terjadi karena operator mengeluarkan gaya dorong ke depan ketika mendorong kain yang mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung, terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Namun, tekanan kompresi yang terjadi masih berada di bawah nilai yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 3400 N yang merupakan batas nilai beban ideal yang dapat diterima oleh pekerja.



Gambar 4. 2 Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrem Pada Konfigurasi 1B

Nilai skor OWAS yang dikeluarkan oleh *task analysis toolkit* (TAT) Jack pada operator mesin obras adalah 2, yang berarti postur kerja yang ada mungkin memiliki efek gangguan cedera muskuloskeletal pada tubuh. Walaupun gangguan cedera tidak terlalu ekstrim pada postur ini, namun usulan perbaikan mungkin perlu untuk dilakukan. Lebih lanjut lagi, detail dari skor OWAS yang menghasilkan nilai 2111 dapat menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk (*flexion*) yang menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.

3. Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10kg.

Tabel 4. 6. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Obras

SCORE	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
operator 1	3	3	2	2	2	3
group score	5				5	
Grand Score	6					

Kelompok tubuh A merupakan bagian tubuh yang dinamis, terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah, pergelangan tangan, perputaran sendi tangan. Sedangkan kelompok tubuh B merupakan anggota tubuh yang cenderung bersifat statis. Data pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa anggota gerak tubuh bagian atas banyak mengalami kontraksi otot (*flexion*) akibat dari proses menjahit yang dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama. Sedangkan anggota tubuh B yang paling banyak mengalami kontraksi otot adalah bagian batang tubuh (*trunk*) yang diakibatkan oleh posisi tubuh yang cenderung statis dan membungkuk dalam jangka waktu yang lama. Posisi leher pada operator mesin obras mengalami sedikit kontraksi akibat posisi menjahit yang cenderung berada di tengah-tengah meja kerja. Secara keseluruhan, skor penilaian RULA untuk operator mesin jarum menunjukkan angka 6 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan secepatnya pada stasiun kerja maupun rangkaian gerakan operator mesin jarum.

Setelah dilakukan analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA maka dapat dihitung skor PEI dengan menggunakan persamaan 2.1 seperti yang tertulis pada bab 2. Skor PEI operator mesin jarum satu pada kondisi aktual adalah sebesar 1,987.

4.1.3 Analisis Aktual Mesin Bartex (Konfigurasi 1C)

Rangkaian simulasi kerja pada operator mesin bartex dilakukan pada posisi duduk (*seated working*) dengan menggunakan seorang model manusia virtual bergender wanita dan memiliki tinggi 159.5 cm, dengan persentil 50. Pada tahap awal analisa terlebih dahulu harus ditentukan batas minimum kapabilitas operator mesin bartex, yaitu sebesar 90%. Penetapan batas persen kapabilitas tersebut berguna untuk memastikan bahwa jenis pekerjaan tersebut dapat ataupun tidak dapat dilakukan oleh populasi pekerja lain yang memiliki umur, gender, dan tinggi yang berbeda. Tabel 4.7 menunjukkan persentase kapabilitas dari kondisi aktual pada operator mesin jarum satu (konfigurasi 1C).

Dari tabel 4.7 terlihat bahwa persentase kapabilitas bagian tubuh atas (*upper limb*) dan bawah (*lower limb*) dari model manusia berada di atas batas minimum kapabilitas, yaitu 90%. Data persentase kapabilitas tersebut menunjukkan bahwa mayoritas pekerja wanita dengan persentil 50 memiliki kekuatan yang dibutuhkan untuk melakukan rangkaian kerja dengan menggunakan mesin jarum satu. Setelah dilakukan analisa SSP, animasi rangkaian gerakan pada operator mesin jarum dijalankan untuk mencari titik ekstrem dari LBA, OWAS, dan RULA

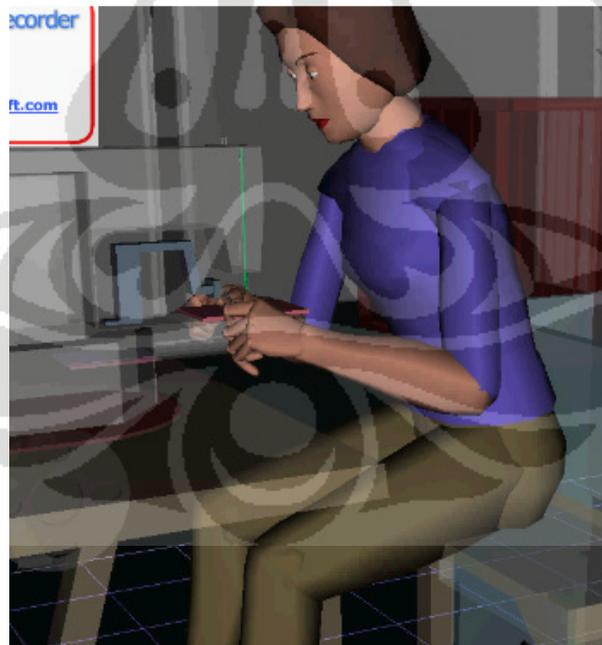
Tabel 4. 7. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1C

		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	--	38	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	32	8	100	-1	ABDUCT	35	9	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	42	14	100	-0	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	18	5	100	-0	--	22	6	100
Trunk	Flex/Ext	-35	EXTEN	275	95	99					
	Lateral Bending	-0	--	165	38	100					
	Rotation	-0	--	56	17	100					
Hip		0	--	111	37	100	0	--	108	36	100
Knee		0	--	114	40	100	0	--	114	39	100
Ankle		0	--	76	21	100	0	--	81	22	100

Tabel 4. 8. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Bartex

NO. KONFIGURASI	SKOR		
	LBA	OWAS	RULA
1C	836	2	5

Titik ekstrim postur kerja operator mesin bartex berada di tekanan kompresi sebesar 836 Newton. Tekanan tersebut muncul akibat dari postur kerja yang membungkuk (*flexion*) ke depan ketika melakukan gerakan menjahit. Gerakan membungkuk tersebut terjadi karena operator mengeluarkan gaya dorong ke depan ketika mendorong kain yang mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung, terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Namun, tekanan kompresi yang terjadi masih berada di bawah nilai yang ditetapkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) sebesar 3400 N, yang merupakan batas nilai beban ideal yang dapat diterima pekerja. Gambar berikut menunjukkan titik ekstrim dari gerakan pada operator mesin bartex

**Gambar 4. 3** Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrim Pada Konfigurasi 1C

Nilai skor OWAS yang dikeluarkan oleh *task analysis toolkit* (TAT) Jack pada operator mesin bartex adalah 2, yang berarti postur kerja yang ada mungkin memiliki efek gangguan cedera muskuloskeletal pada tubuh. Walaupun gangguan cedera tidak terlalu ekstim pada postur ini, namun usulan perbaikan mungkin perlu untuk dilakukan. Lebih lanjut lagi, detail dari skor OWAS yang menghasilkan nilai 2111 dapat menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk (*flexion*) yang menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
3. Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10kg.

Tabel 4. 9. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Bartex

SCORE	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
operator 1	3	3	2	1	1	3
group score	5				4	
Grand Score	5					

Kelompok tubuh A merupakan bagian tubuh yang dinamis, terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah, pergelangan tangan, perputaran sendi tangan. Sedangkan kelompok tubuh B merupakan anggota tubuh yang cenderung bersifat statis. Data pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa anggota gerak tubuh bagian atas banyak mengalami kontraksi otot (*flexion*) akibat dari proses menjahit yang dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama. Sedangkan anggota tubuh B yang paling banyak mengalami kontraksi otot adalah bagian batang tubuh (*trunk*) yang diakibatkan oleh posisi tubuh yang cenderung statis dan membungkuk dalam jangka waktu yang lama. Secara keseluruhan, skor penilaian RULA untuk operator mesin jarum menunjukkan angka 5 yang berarti dibutuhkan

investigasi dan tindakan perbaikan segera pada stasiun kerja maupun rangkaian gerakan operator mesin jarum.

Setelah dilakukan analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA maka dapat dihitung skor PEI dengan menggunakan persamaan 2.1 seperti yang tertulis pada bab 2. Skor PEI operator mesin jarum satu pada kondisi aktual adalah sebesar 1,760.

4.1.4 Analisis Aktual Mesin Make-Up (Konfigurasi 1D)

Rangkaian simulasi kerja pada operator mesin make-up dilakukan pada posisi duduk (*seated working*) dengan menggunakan seorang model virtual bergender wanita dan memiliki tinggi 159.5 cm, dengan persentil 50. Pada tahap awal analisa terlebih dahulu harus ditentukan batas minimum kapabilitas operator mesin make-up, yaitu sebesar 90%. Penetapan batas persen kapabilitas tersebut berguna untuk memastikan bahwa jenis pekerjaan tersebut dapat ataupun tidak dapat dilakukan oleh populasi pekerja lain yang memiliki umur, gender, dan tinggi yang berbeda. Tabel 4.10 menunjukkan persentase kapabilitas dari kondisi aktual pada operator mesin make-up (konfigurasi 1D).

Tabel 4. 10. Persentase Kapabilitas SSP Konfigurasi 1D

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	35	9	100	-1	--	36	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	34	9	100	-4	ABDUCT	33	9	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	41	14	100	0	--	34	11	100
	Humeral Rot	-1	--	21	5	100	-1	LATERAL	18	5	100
Trunk	Flex/Ext	-45	EXTEN	281	97	99					
	Lateral Bending	0	--	194	47	100					
	Rotation	0	--	58	17	100					
	Hip	-13	EXTEN	123	46	99	-12	EXTEN	122	46	99
	Knee	59	EXTEN	111	38	91	58	EXTEN	112	39	92
	Ankle	50	FLEXN	93	26	95	55	FLEXN	90	25	92

Dari data terlihat bahwa persentase kapabilitas bagian tubuh atas (*upper limb*) dan bawah (*lower limb*) dari model manusia berada di atas batas minimum

kapabilitas, yaitu 90%. Data persentase kapabilitas tersebut menunjukkan bahwa mayoritas pekerja wanita dengan persentil 50 memiliki kekuatan yang dibutuhkan untuk melakukan rangkaian kerja dengan menggunakan mesin make-up. Setelah dilakukan analisa SSP, animasi rangkaian gerakan pada operator mesin make-up dijalankan untuk mencari titik ekstrem dari LBA, OWAS, dan RULA

Tabel 4. 11. Rekapitulasi Skor Aktual Untuk Operator Mesin Make-Up

NO. KONFIGURASI	SKOR		
	LBA	OWAS	RULA
1D	981	3	6

Titik ekstrim postur kerja operator mesin make-up berada di tekanan kompresi sebesar 981 Newton. Tekanan tersebut muncul akibat dari postur kerja yang membungkuk (*flexion*) ke depan ketika melakukan gerakan menjahit dengan mesin make-up. Gerakan membungkuk tersebut terjadi karena operator mengeluarkan gaya dorong ke depan ketika mendorong kain yang mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung, terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Namun, tekanan kompresi yang terjadi masih berada di bawah nilai yang ditetapkan oleh NIOSH, yaitu sebesar 3400 N yang merupakan batas nilai beban ideal yang dapat diterima oleh pekerja.



Gambar 4. 4 Postur Tubuh Dengan Nilai LBA Terekstrem Pada Konfigurasi 1D

Nilai skor OWAS yang dikeluarkan oleh *task analysis toolkit* (TAT) Jack pada operator mesin make-up adalah 3, yang berarti postur kerja yang ada berpotensi untuk menimbulkan gangguan cedera muskuloskeletal pada tubuh. Untuk mengatasi hal tersebut perlu diambil suatu langkah perbaikan yang mungkin untuk dilakukan. Lebih lanjut lagi, detail dari skor OWAS yang menghasilkan nilai 2141 dapat menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk (*flexion*) yang menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
3. Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 4 yang menandakan bahwa lutut berada dalam kondisi tertekuk.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10kg.

Tabel 4. 12. Skor RULA Untuk Kondisi Aktual Operator Mesin Make-Up

SCORE	Body Group A				Body Group B	
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk
operator 1	4	2	3	1	2	3
group score	5				5	
Grand Score	6					

Kelompok tubuh A merupakan bagian tubuh yang dinamis, terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah, pergelangan tangan, perputaran sendi tangan. Sedangkan kelompok tubuh B merupakan anggota tubuh yang cenderung bersifat statis. Data pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa anggota gerak tubuh bagian atas banyak mengalami kontraksi otot (*flexion*) akibat dari proses menjahit yang dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama. Sedangkan anggota tubuh B yang paling banyak mengalami kontraksi otot adalah bagian batang tubuh (*trunk*) yang diakibatkan oleh posisi tubuh yang cenderung statis dan membungkuk dalam jangka waktu yang lama. Posisi leher pada operator mesin make up mengalami sedikit kontraksi akibat posisi menjahit yang jarum yang

berada cukup jauh dari jangkauan mata. Secara keseluruhan, skor penilaian RULA untuk operator mesin jarum menunjukkan angka 6 yang berarti dibutuhkan investigasi dan tindakan perbaikan secepatnya pada stasiun kerja maupun rangkaian gerakan operator mesin jarum.

Setelah dilakukan analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA maka dapat dihitung skor PEI dengan menggunakan persamaan 2.1 seperti yang tertulis pada bab 2. Skor PEI operator mesin jarum satu pada kondisi aktual adalah sebesar 2,256.

4.2 Analisis Konfigurasi

Setelah melakukan analisis terhadap kondisi ergonomi operator yang aktual, selanjutnya akan dilakukan analisis terhadap kondisi ergonomi dan postur kerja operator pada masing-masing stasiun kerja yang telah mengalami perubahan variabel tinggi meja dan kursi. Hasil dari PEI dari setiap konfigurasi akan menjadi parameter dalam perbandingan setiap konfigurasi yang ada, sehingga dapat ditentukan konfigurasi yang paling optimum untuk satu mesin.

4.2.1 Konfigurasi Mesin Jarum Satu

Rangkaian simulasi kerja yang dijalankan pada konfigurasi mesin jarum satu masih merupakan gerakan yang sama dengan simulasi kerja pada kondisi aktual. Perbedaan terletak pada diberikannya variabel ketinggian meja yang berbeda-beda untuk setiap konfigurasi, yaitu meja dengan tinggi 5, 10, dan 15 cm di atas *elbow sitting height* (tinggi siku duduk). Berikut tabel perbandingan untuk hasil rekapitulasi konfigurasi pada mesin jarum satu dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4. 13. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Jarum Satu

NO. KONFIGURASI	KONFIGURASI	SSP >90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 2A	+15 cm above elbow height	Ya	838	2	4	1,558
Konfigurasi 3A	+10 cm above elbow height	Ya	869	2	5	1,770
Konfigurasi 4A	+5 cm above elbow height	Ya	954	2	5	1,795

Dari hasil analisis output *low back analysis* pada *software* Jack untuk ketiga konfigurasi di atas, didapatkan nilai LBA yang berbeda antara ketiga

konfigurasi. Nilai beban kompresi pada LBA ketiga konfigurasi tersebut masih berada pada batas aman dan dapat diterima oleh operator karena masih berada jauh di bawah 3400N yang merupakan nilai standar dari NIOSH *Back Compression Action Limit*. Sedangkan untuk nilai OWAS, hasil output analisis pada *software* Jack menunjukkan kode OWAS yang sama yaitu 2-1-1-1 untuk setiap konfigurasi. Kode 2-1-1-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa kondisi batang tubuh berada dalam kondisi membungkuk (*bent*), kedua tangan berada di bawah ketinggian bahu, kaki berada pada kondisi duduk yang normal, dan beban yang diterima oleh tubuh kurang dari 10kg serta kepala dan leher berada pada kondisi netral. Skor 2 OWAS secara keseluruhan menunjukkan bahwa beban muskuloskeletal pada rangkaian kerja masih dapat diterima oleh tubuh, namun tindakan perbaikan secara ergonomi sebaiknya tetap dilakukan.

Hasil analisis RULA pada menunjukkan nilai yang berbeda untuk ketiga konfigurasi, dimana konfigurasi 2A mendapatkan skor 4, sedangkan kedua konfigurasi lainnya mendapatkan skor 5. Detail skor RULA menunjukkan *rating* untuk dua kelompok pada tubuh, seperti yang terlihat pada tabel 4.14. berikut ini.

Tabel 4. 14. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Jarum

SCORE		+15cm	+10cm	+5cm
Group A	upper arm	4	4	4
	lower arm	3	2	2
	wrist	1	2	2
	wrist twist	2	2	2
	total	5	5	5
Group B	neck	2	1	1
	trunk	2	3	3
	total	3	4	4
GRAND SCORE		4	5	5

Dari skor RULA untuk kelompok tubuh A dan B, perbedaan utama terletak pada bagian *neck* dan *trunk*, serta pada bagian skor untuk *lower arm* dan *wrist*. Bagian lainnya dari kedua kelompok tubuh memiliki nilai skor RULA yang sama. Berdasarkan total skor RULA, untuk konfigurasi mesin jarum dengan ketinggian meja 15cm di atas *sitting elbow height*, secara keseluruhan operasi kerja pada

mesin jarum satu masih dapat diterima, namun masih diperlukan adanya investigasi lanjutan untuk meyelidiki perbaikan yang mungkin untuk dilakukan. Sedangkan total skor RULA untuk kedua konfigurasi lainnya mengindikasikan bahwa operasi kerja berada di batas warna merah, yang berarti ada di atas kondisi yang dapat ditoleransi oleh operator, sehingga diperlukan adanya investigasi dan tindakan perbaikan, terutama apabila operasi tersebut dilakukan secara repetitif dan dalam jangka waktu yang lama.

Dari hasil komparasi perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 2A (konfigurasi dengan perubahan variabel tinggi meja mesin jarum satu sebesar 15 cm di atas *sitting elbow height*) memberikan nilai PEI yang paling optimum. Nilai konfigurasi 1,558 menunjukkan postur kerja yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai konfigurasi lainnya

4.2.2 Konfigurasi Mesin Obras

Rangkaian simulasi kerja yang dijalankan pada konfigurasi mesin obras masih merupakan gerakan yang sama dengan simulasi kerja pada kondisi aktual. Perbedaan terletak pada diberikannya variabel ketinggian meja yang berbeda-beda untuk setiap konfigurasi, yaitu meja dengan tinggi 5, 10, dan 15 cm di atas *elbow sitting height* (tinggi siku duduk). Berikut tabel perbandingan untuk hasil rekapitulasi konfigurasi pada mesin obras dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4. 15. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Obras

NO. KONFIGURASI	KONFIGURASI	SSP >90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 2B	+15 cm above elbow height	Ya	790	2	4	1,544
Konfigurasi 3B	+10 cm above elbow height	Ya	793	2	4	1,545
Konfigurasi 4B	+5 cm above elbow height	Ya	800	2	4	1,547

Dari hasil analisis output *low back analysis* pada *software* Jack untuk ketiga konfigurasi di atas, didapatkan nilai LBA yang berbeda antara ketiga konfigurasi. Nilai beban kompresi pada LBA ketiga konfigurasi tersebut masih dapat diterima oleh operator karena masih berada jauh di bawah 3400N yang merupakan nilai standar dari NIOSH *Back Compression Action Limit*. Sedangkan untuk nilai OWAS, hasil ouput analisis pada *software* Jack menunjukkan kode

OWAS yang sama yaitu 2-1-1-1 untuk setiap konfigurasi. Kode 2-1-1-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa kondisi batang tubuh berada dalam kondisi membungkuk (*bent*), kedua tangan berada di bawah ketinggian bahu, kaki berada pada kondisi duduk yang normal, dan beban yang diterima oleh tubuh kurang dari 10 kg serta kepala dan leher berada pada kondisi netral. Skor 2 OWAS secara keseluruhan menunjukkan bahwa beban muskuloskeletal pada rangkaian kerja masih dapat diterima oleh tubuh, namun tindakan perbaikan secara ergonomi sebaiknya tetap dilakukan.

Hasil analisis RULA pada menunjukkan nilai yang sama untuk ketiga konfigurasi, namun terdapat perbedaan detail skor antara ketiga konfigurasi tersebut. Perbedaan skor RULA terdapat pada kelompok tubuh bagian A, yaitu pada bagian *wrist*. Bagian *wrist* atau pergelangan tangan pada konfigurasi mesin obras dengan ketinggian meja 10cm diatas *sitting elbow height* menunjukkan skor 2, sedangkan kedua konfigurasi lainnya menunjukkan hasil yang lebih baik, yaitu skor 1. Walaupun begitu hasil penilaian pada bagian tubuh secara keseluruhan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Tabel 4. 16. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Obras

SCORE		+15cm	+10cm	+5cm
Group A	upper arm	3	3	3
	lower arm	3	3	3
	wrist	1	2	1
	wrist twist	2	2	2
	total	5	5	5
Group B	neck	2	2	2
	trunk	2	2	2
	total	3	3	3
GRAND SCORE		4	4	4

Berdasarkan total skor RULA, secara keseluruhan skor 4 pada ketiga konfigurasi yang dilakukan terhadap variabel ketinggian meja operator masih berada pada batas toleransi. Namun, masih diperlukan adanya investigasi lanjutan untuk menyelidiki perbaikan yang mungkin untuk dilakukan, terutama apabila pekerjaan tersebut dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama.

Dari hasil komparasi perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 2B (konfigurasi dengan perubahan variabel tinggi meja mesin obras sebesar 15 cm di atas *sitting elbow height*) memberikan nilai PEI yang paling optimum. Nilai konfigurasi 1,544 menunjukkan postur kerja yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai konfigurasi lainnya, akan tetapi nilai tersebut tidak berbeda secara signifikan dibandingkan nilai PEI yang didapatkan oleh konfigurasi 3B dan 4B yaitu sebesar 1,544 dan 1,547.

4.2.3 Konfigurasi Mesin Bartex

Rangkaian simulasi kerja yang dijalankan pada konfigurasi mesin bartex dilakukan dengan menggunakan operator persentil 50 yang bekerja pada posisi duduk dengan mengubah variabel ketinggian meja yang berbeda-beda untuk setiap konfigurasi, yaitu meja dengan tinggi 5, 10, dan 15 cm di atas *elbow sitting height* (tinggi siku duduk). Berikut tabel perbandingan untuk hasil rekapitulasi konfigurasi pada mesin bartex dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4. 17. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Bartex

NO. KONFIGURASI	KONFIGURASI	SSP >90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 2C	+15 cm above elbow height	Ya	772	2	4	1,538
Konfigurasi 3C	+10 cm above elbow height	Ya	753	2	4	1,533
Konfigurasi 4C	+5 cm above elbow height	Ya	661	2	4	1,506

Dari hasil analisis output *low back analysis* pada *software* Jack untuk ketiga konfigurasi di atas, didapatkan nilai LBA yang berbeda antara ketiga konfigurasi. Nilai beban kompresi pada LBA ketiga konfigurasi tersebut masih berada pada batas aman dan dapat diterima oleh operator karena masih berada jauh di bawah 3400N yang merupakan nilai standar dari NIOSH *Back Compression Action Limit*. Sedangkan untuk nilai OWAS, hasil output analisis pada *software* Jack menunjukkan kode OWAS yang sama yaitu 2-1-1-1 untuk setiap konfigurasi. Kode 2-1-1-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa kondisi batang tubuh berada dalam kondisi membungkuk (*bent*), kedua tangan berada di bawah ketinggian bahu, kaki berada pada kondisi duduk yang normal, dan beban yang diterima oleh tubuh berjumlah kurang dari 10kg. Skor 2 OWAS

secara keseluruhan menunjukkan bahwa beban muskuloskeletal pada rangkaian kerja masih dapat diterima oleh tubuh, namun tindakan perbaikan secara ergonomi sebaiknya tetap dilakukan.

Hasil analisis RULA pada menunjukkan nilai yang sama untuk ketiga konfigurasi, namun terdapat perbedaan detail skor antara ketiga konfigurasi tersebut. Perbedaan skor RULA terdapat pada kelompok tubuh bagian B, yaitu pada bagian *neck* (leher). Bagian leher pada konfigurasi mesin bartex dengan ketinggian meja 5cm diatas *sitting elbow height* menunjukkan skor 2, sedangkan kedua konfigurasi lainnya menunjukkan hasil yang lebih baik, yaitu skor 1. Walaupun begitu hasil penilaian pada bagian tubuh lainnya secara keseluruhan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Tabel 4. 18. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Bartex

SCORE		+15cm	+10cm	+5cm
Group A	upper arm	3	3	3
	lower arm	3	3	3
	wrist	2	2	2
	wrist twist	1	1	1
	total	5	5	5
Group B	neck	1	1	2
	trunk	2	2	2
	total	3	3	3
GRAND SCORE		4	4	4

Berdasarkan total skor RULA, secara keseluruhan skor 4 pada ketiga konfigurasi yang dilakukan terhadap variabel ketinggian meja mesin bartex masih berada pada batas toleransi. Namun, masih diperlukan adanya investigasi lanjutan untuk menyelidiki perbaikan yang mungkin untuk dilakukan, terutama apabila pekerjaan tersebut dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama.

Dari hasil komparasi perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 4C (konfigurasi dengan perubahan variabel tinggi meja mesin bartex sebesar 5 cm di atas *sitting elbow height*) memberikan nilai PEI yang paling optimum. Nilai konfigurasi 1,506 menunjukkan postur kerja yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai konfigurasi lainnya

4.2.4 Konfigurasi Mesin Make-Up

Rangkaian simulasi kerja yang dijalankan pada konfigurasi mesin make-up dilakukan dengan menggunakan operator persentil 50 yang bekerja pada posisi duduk dengan mengubah variabel ketinggian meja yang berbeda-beda untuk setiap konfigurasi, yaitu meja dengan tinggi 5, 10, dan 15 cm di atas *elbow sitting height* (tinggi siku duduk). Berikut tabel perbandingan untuk hasil rekapitulasi konfigurasi pada mesin make-up dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4. 19. Rekapitulasi Skor Konfigurasi Pada Mesin Make-Up

NO. KONFIGURASI	KONFIGURASI	SSP >90	LBA (N)	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 2D	+15 cm above elbow height	Ya	845	3	4	1,810
Konfigurasi 3D	+10 cm above elbow height	Ya	842	3	4	1,809
Konfigurasi 4D	+5 cm above elbow height	Ya	831	3	4	1,806

Dari hasil analisis output *low back analysis* pada *software* Jack untuk ketiga konfigurasi di atas, didapatkan nilai LBA yang berbeda antara ketiga konfigurasi. Nilai beban kompresi pada LBA ketiga konfigurasi tersebut masih berada pada batas aman dan dapat diterima oleh operator karena masih berada jauh di bawah 3400N yang merupakan nilai standar dari NIOSH *Back Compression Action Limit*. Sedangkan untuk nilai OWAS, hasil output analisis pada *software* Jack menunjukkan kode OWAS yang sama yaitu 2-1-4-1 untuk setiap konfigurasi. Kode 2-1-4-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa kondisi batang tubuh berada dalam kondisi membungkuk (*bent*), kedua tangan berada di bawah ketinggian bahu, kedua kaki berada dalam keadaan tertekuk (*bent*), dan beban yang diterima oleh tubuh kurang dari 10kg. Skor 3 OWAS secara keseluruhan menunjukkan bahwa beban pada rangkaian kerja berada di atas batas toleransi dan dapat menimbulkan cedera muskuloskeletal pada tubuh operator. Tindakan perbaikan secara ergonomi sebaiknya dilakukan segera, terutama perbaikan pada posisi kaki operator yang mengalami *bending* cukup besar.

Hasil analisis RULA pada menunjukkan nilai yang sama untuk ketiga konfigurasi, dimana konfigurasi dengan perubahan variabel tinggi meja mesin make-up sebesar +5, +10, dan +15 cm dari tinggi *sitting elbow height*

mendapatkan skor 4. Detail skor RULA yang menunjukkan nilai yang paling tinggi adalah kelompok tubuh A pada bagian *upper arm*. Nilai 4 menunjukkan kegiatan menggerakkan lengan atas pada operator mesin make-up sangat berpengaruh terhadap penilaian RULA secara keseluruhan. Berikut tabel rekapitulasi skor RULA pada mesin make-up.

Tabel 4. 20. Rekapitulasi Skor RULA Pada Konfigurasi Mesin Make-Up

SCORE		+15cm	+10cm	+5cm
Group A	upper arm	4	4	4
	lower arm	2	2	2
	wrist	3	3	3
	wrist twist	1	1	1
	total	5	5	5
Group B	neck	2	2	2
	trunk	2	2	2
	total	3	3	3
GRAND SCORE		4	4	4

Berdasarkan total skor RULA, secara keseluruhan skor 4 pada ketiga konfigurasi yang dilakukan terhadap variabel ketinggian meja mesin make-up masih berada pada batas toleransi. Namun, masih diperlukan adanya investigasi lanjutan untuk menyelidiki perbaikan yang mungkin untuk dilakukan, terutama apabila pekerjaan tersebut dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama.

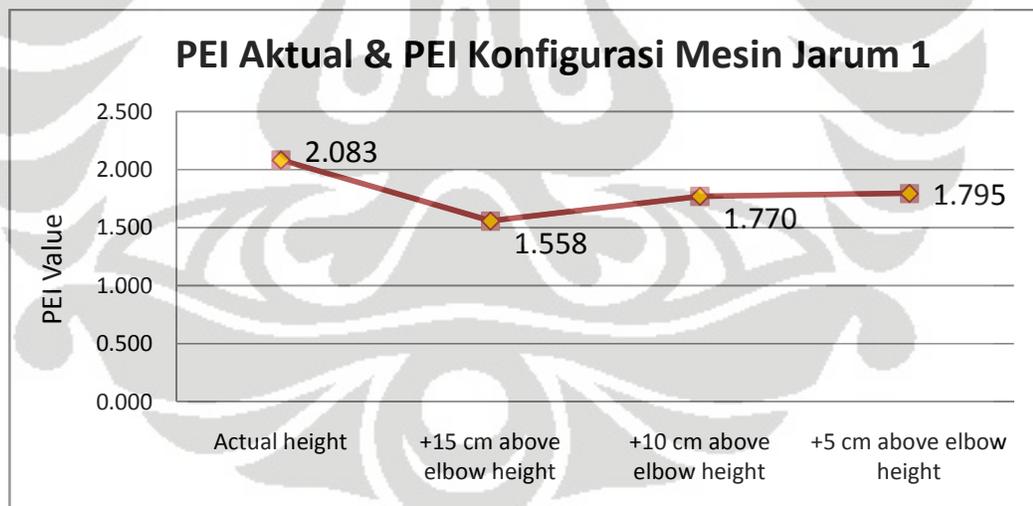
Dari hasil komparasi perhitungan PEI, diketahui bahwa konfigurasi 4D (konfigurasi dengan perubahan variabel tinggi meja mesin make-up sebesar 5 cm di atas *sitting elbow height*) memberikan nilai PEI yang paling optimum. Nilai konfigurasi 1,806 menunjukkan postur kerja yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai konfigurasi lainnya. Akan tetapi nilai tersebut tidak berbeda secara signifikan dibandingkan nilai PEI yang didapatkan oleh konfigurasi 2D dan 3D yaitu sebesar 1,810 dan 1,809.

4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi

Setelah dilakukan analisis terhadap kondisi ergonomi operator aktual dan kondisi ergonomi operator yang menggunakan variabel tinggi meja yang berubah-ubah, maka dapat dianalisis seberapa jauh perbedaan kondisi ergonomi yang terjadi pada kedua simulasi tersebut. Parameter perbandingan utama merupakan nilai dari *Posture Evaluation Index* (PEI) yang dihasilkan pada kondisi aktual dan nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi yang paling optimum. Selain itu nilai perbandingan antara kedua kondisi juga dapat dilihat dari nilai skor yang dikeluarkan oleh LBA, OWAS dan RULA.

4.3.1 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Jarum Satu

Nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi pada mesin jarum satu menunjukkan adanya perubahan yang signifikan dibandingkan dengan nilai PEI pada kondisi aktual. Nilai PEI sebelum dan sesudah konfigurasi menurun dari 2.083 menjadi 1.558. Grafik perbandingan nilai PEI antara keempat konfigurasi dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Jarum Satu

Jika dilihat perbandingan skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi, maka dapat dinyatakan bahwa terdapat perbaikan yang signifikan terhadap kondisi kerja operator mesin jarum satu. Hal tersebut terlihat dari penurunan nilai LBA dari 1083 menjadi 838, dan

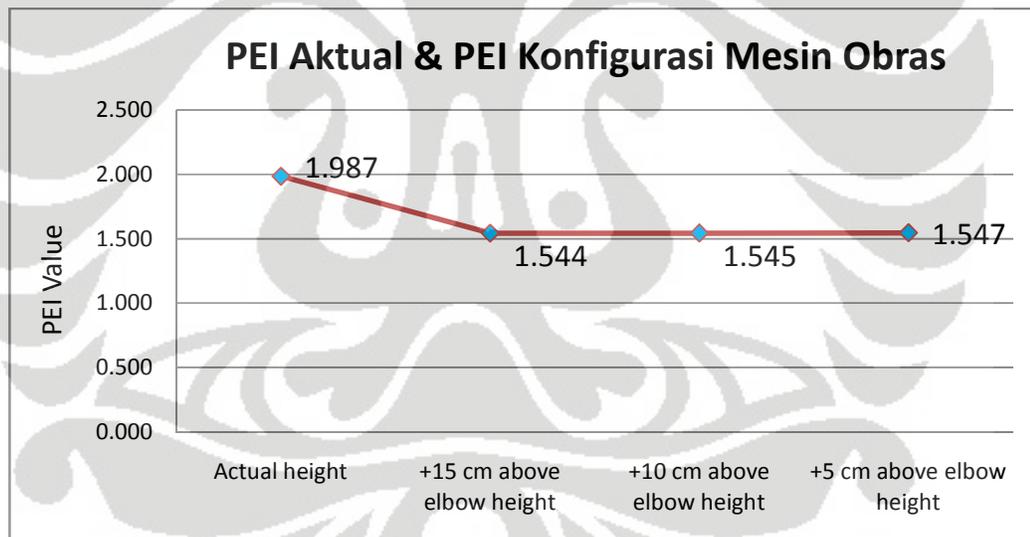
perubahan skor OWAS dan RULA yang masing-masing menurun sebanyak 1 tingkat. Perbandingan nilai dan skor tersebut dapat dilihat pada tabel 4.21. berikut.

Tabel 4. 21. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Jarum Satu

Kondisi	LBA	OWAS	RULA
Aktual	1083	3	5
Konfigurasi Optimum	838	2	4

4.3.2 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Obras

Nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi pada mesin obras menunjukkan adanya perubahan yang cukup signifikan dibandingkan dengan nilai PEI pada kondisi aktual. Nilai PEI sebelum dan sesudah konfigurasi menurun cukup signifikan dari 1.987 menjadi 1.544. Grafik perbandingan nilai PEI antara keempat konfigurasi dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Obras

Jika dilihat perbandingan skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi, maka dapat dinyatakan bahwa terdapat perbaikan yang cukup signifikan terhadap kondisi kerja operator mesin obras. Hal tersebut terlihat dari penurunan nilai LBA dari 916 menjadi 790, dan penurunan skor RULA dari 5 menjadi 4. Sedangkan skor OWAS secara

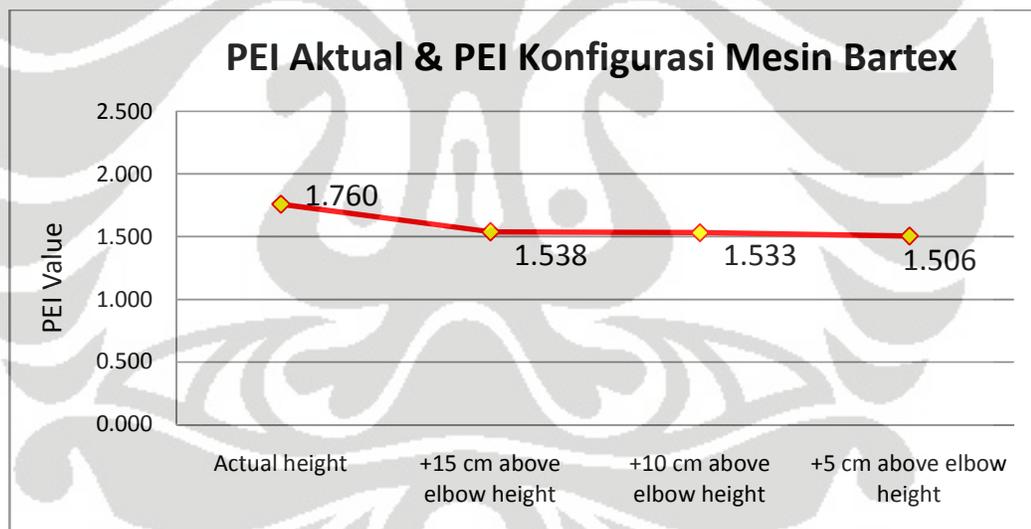
keseluruhan masih tetap sama. Perbandingan nilai dan skor tersebut dapat dilihat pada tabel 4.22. berikut.

Tabel 4. 22. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Obras

Kondisi	LBA	OWAS	RULA
Aktual	916	2	5
Konfigurasi Optimum	790	2	4

4.3.3 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Bartex

Nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi pada mesin bartex menunjukkan adanya perubahan dibandingkan dengan nilai PEI pada kondisi aktual, namun perubahan yang terjadi kuran signifikan. Nilai PEI sebelum dan sesudah konfigurasi menurun dari 1.760 menjadi 1.506. Grafik perbandingan nilai PEI antara keempat konfigurasi dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Bartex

Jika dilihat perbandingan skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi, maka dapat dinyatakan bahwa terdapat perbaikan terhadap kondisi kerja operator mesin bartex. Hal tersebut terlihat dari penurunan nilai LBA dari 836 menjadi 661, dan penurunan skor RULA dari 5 menjadi 4. Sedangkan nilai OWAS secara keseluruhan masih berada

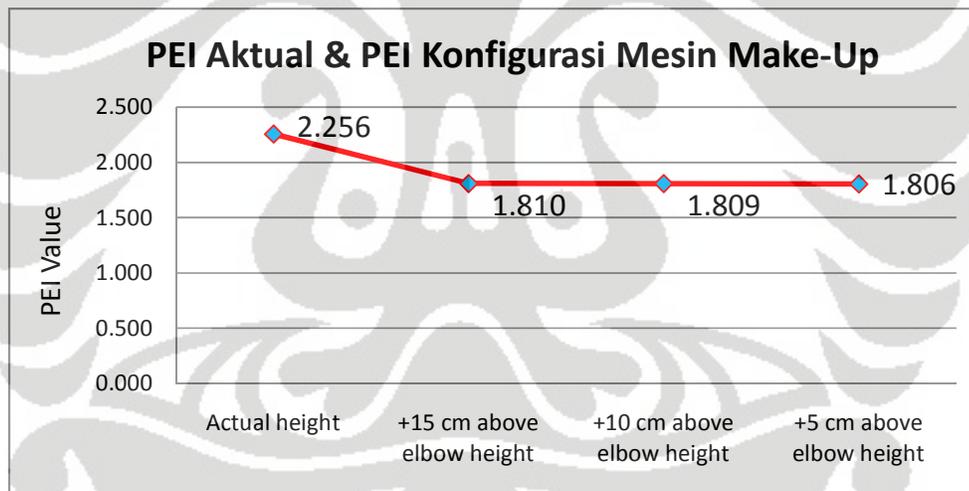
pada skor yang sama. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.23. berikut.

Tabel 4. 23. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Bartex

Kondisi	LBA	OWAS	RULA
Aktual	836	2	5
Konfigurasi Optimum	661	2	4

4.3.4 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi Mesin Make-Up

Nilai PEI yang dihasilkan oleh konfigurasi pada mesin make-up menunjukkan adanya perubahan yang cukup signifikan dibandingkan dengan nilai PEI pada kondisi aktual. Nilai PEI sebelum dan sesudah konfigurasi menurun dari 2.256 menjadi 1.806. Grafik perbandingan nilai PEI antara keempat konfigurasi dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Nilai PEI Pada Konfigurasi Mesin Make-Up

Jika dilihat perbandingan skor penilaian LBA, OWAS dan RULA pada kondisi aktual dan setelah dilakukan konfigurasi, maka dapat dinyatakan bahwa terdapat perbaikan yang terhadap kondisi kerja operator mesin make-up. Hal tersebut terlihat dari penurunan nilai LBA dari 981 menjadi 831, dan penurunan skor RULA dari 6 menjadi 4. Sedangkan skor OWAS secara keseluruhan masih tetap sama. Perbandingan nilai dan skor tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 24. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Pada Mesin Make-up

Kondisi	LBA	OWAS	RULA
Aktual	981	3	6
Konfigurasi Optimum	831	3	4

Hasil dan perbandingan dari seluruh konfigurasi yang telah dibuat dengan melakukan perubahan terhadap variabel tinggi meja untuk setiap mesin (mesin jarum satu, obras, bartex, dan make up) dapat dilihat pada tabel 4.25 berikut ini.



Tabel 4. 25. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI Seluruh Konfigurasi

NO.	KONFIGURASI	STASIUN KERJA	PARAMETER				HASIL PERHITUNGAN					
			Keterangan	Tinggi Meja (cm)	Tinggi Kursi (cm)	Persentil	Gender	Nilai SSP >90%	Nilai LBA (N)	Nilai OWAS	Nilai RULA	Nilai PEI
1	Konfigurasi 1A	Mesin Jarum 1	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita	Ya	1083	3	5	2,083
2	Konfigurasi 2A		<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55		Wanita	Ya	838	2	4	1,558
3	Konfigurasi 3A		<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50		Wanita	Ya	869	2	5	1,770
4	Konfigurasi 4A		<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45		Wanita	Ya	954	2	5	1,795
5	Konfigurasi 1B	Mesin Obras	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita	Ya	916	2	6	1,987
6	Konfigurasi 2B		<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55		Wanita	Ya	790	2	4	1,544
7	Konfigurasi 3B		<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50		Wanita	Ya	793	2	4	1,545
8	Konfigurasi 4B		<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45		Wanita	Ya	800	2	4	1,547
9	Konfigurasi 1C	Mesin Bartex	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita	Ya	836	2	5	1,760
10	Konfigurasi 2C		<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55		Wanita	Ya	772	2	4	1,538
11	Konfigurasi 3C		<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50		Wanita	Ya	753	2	4	1,533
12	Konfigurasi 4C		<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45		Wanita	Ya	661	2	4	1,506
13	Konfigurasi 1D	Mesin Make-Up	<i>Actual height</i>	74	50.5	Persentil 50	Wanita	Ya	981	3	6	2,256
14	Konfigurasi 2D		<i>+15 cm above elbow height</i>	76,2	55		Wanita	Ya	845	3	4	1,810
15	Konfigurasi 3D		<i>+10 cm above elbow height</i>	71,2	50		Wanita	Ya	842	3	4	1,809
16	Konfigurasi 4D		<i>+5 cm above elbow height</i>	66,2	45		Wanita	Ya	831	3	4	1,806

Keterangan:

- Nilai aman
- Batas toleransi
- Di atas batas toleransi

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian “Analisis Postur Kerja dan Usulan Perbaikan Stasiun Kerja Divisi *Sewing* Industri Garmen dengan Posture Evaluation Index (PEI) pada *Virtual Environment Modelling*” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dibuat suatu model simulasi yang dapat memperlihatkan rangkaian kegiatan yang dilakukan oleh operator mesin di divisi sewing industri garmen sehingga dapat dilakukan analisis terhadap postur kerja operator tersebut.
2. Nilai PEI kondisi aktual mesin jarum satu adalah sebesar 2.083. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja kerja mesin jarum satu sehingga permukaan meja kerja tersebut berada 5 cm, 10 cm, dan 15 cm di atas tinggi siku duduk pekerja (*sitting elbow height*). Setelah dilakukan simulasi dan analisis hasil konfigurasi maka didapatkan konfigurasi optimum untuk mesin jarum satu adalah konfigurasi 2A (15 cm di atas tinggi siku duduk) dengan nilai PEI sebesar 1.558
3. Nilai PEI kondisi aktual mesin obras adalah sebesar 1.987. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja kerja mesin obras sehingga permukaan meja kerja tersebut berada 5 cm, 10 cm, dan 15 cm di atas tinggi siku duduk pekerja (*sitting elbow height*). Setelah dilakukan simulasi dan analisis hasil konfigurasi maka didapatkan konfigurasi optimum untuk mesin obras adalah konfigurasi 2B (15 cm di atas tinggi siku duduk) dengan nilai PEI sebesar 1.544
4. Perubahan kondisi ideal bagi mesin jarum satu dan mesin obras adalah konfigurasi dengan penambahan tinggi terbesar yaitu 15cm, hal ini disebabkan posisi punggung operator pada mesin jarum satu dan mesin obras menjadi lebih tegak dibandingkan posisi sebelumnya
5. Nilai PEI kondisi aktual mesin bartex adalah sebesar 1.760. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja kerja mesin bartex sehingga permukaan meja kerja tersebut berada 5 cm, 10 cm, dan 15 cm di atas tinggi siku duduk pekerja (*sitting elbow height*). Setelah dilakukan simulasi dan

analisis hasil konfigurasi maka didapatkan konfigurasi optimum untuk mesin obras adalah konfigurasi 4C (5 cm di atas tinggi siku duduk) dengan nilai PEI sebesar 1.506

6. Nilai PEI kondisi aktual mesin make-up adalah sebesar 2.256. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja kerja mesin make-up sehingga permukaan meja kerja tersebut berada 5 cm, 10 cm, dan 15 cm di atas tinggi siku duduk pekerja (*sitting elbow height*). Setelah dilakukan simulasi dan analisis hasil konfigurasi maka didapatkan konfigurasi optimum untuk mesin make-up adalah konfigurasi 4D (5 cm di atas tinggi siku duduk) dengan nilai PEI sebesar 1.806
7. Perubahan kondisi ideal bagi mesin jarum bartex dan mesin make-up adalah konfigurasi dengan penambahan tinggi terendah yaitu 5 cm, hal ini disebabkan posisi tangan bagian atas (*upper arm*) dan bahu operator pada mesin bartex satu dan mesin make-up menjadi lebih rileks dibandingkan posisi sebelumnya
8. Simulasi konfigurasi mesin jarum satu, mesin obras, mesin bartex, dan mesin make-up juga melibatkan perubahan variabel tinggi kursi kerja, namun perubahan tinggi kursi dalam konfigurasi stasiun kerja bukanlah sebagai variabel utama karena perubahannya mengikuti perubahan tinggi meja.
9. Pekerjaan menjahit memaksa pekerja untuk melakukan pekerjaan yang repetitif dengan kondisi badan yang statis. Pekerjaan seperti *reaching*, *stitching*, *pinching*, dan *pulling* dapat menimbulkan cedera berskala kecil apabila berlangsung secara terus menerus dalam periode waktu yang lama

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan di atas dapat menjadi rekomendasi dalam penyusunan stasiun kerja yang lebih baik secara ergonomis. Berikut rekomendasi dari hasil penelitian ini.

1. Posisi duduk pada operator di divisi *sewing* sebaiknya diatur setegak mungkin untuk meminimalkan risiko cedera muskuloskeletal pada bagian punggung.
2. Rangkaian pekerjaan sebaiknya meminimalisir gerakan memutar pada pinggang, yaitu dengan meletakkan kontainer kerja sedekat mungkin dengan

tubuh, meletakkan hasil jahitan pada posisi yang dekat, menggunakan kotak tambahan untuk menyimpan alat-alat bantu apabila diperlukan

3. Untuk meminimalkan timbulnya risiko cedera pada bagian tubuh yang sensitif, sebaiknya permukaan pada kursi kerja memakai bahan yang lembut (*soft edges*), karena pemakaian permukaan kursi yang keras (*hard edges*) dapat mengganggu bagian saraf-saraf tertentu pada tubuh
4. Penggunaan *adjustable chair* merupakan solusi yang paling baik untuk mengatasi kesenjangan jarak tinggi meja yang dihadapi pekerja dengan karakteristik tubuh tertentu. *Adjustable chair* tersebut sebaiknya memiliki fitur-fitur sebagai berikut:
 - Memiliki ketinggian yang dapat diubah
 - Memiliki sandaran pada bagian punggung
 - Kaki kursi yang dapat bergeser dengan jumlah kaki 5 (bukan 4)
5. Yang tidak kalah pentingnya adalah secara frekuentif (berkala), sebaiknya pekerja melakukan istirahat selama 5 detik dengan melakukan peregangan, dan pengambilan nafas yang baik setidaknya sekali setiap 15 menit. Lebih lanjut lagi berdiri dan berjalan berkeliling setiap setengah jam akan memberikan efek lebih baik kepada tubuh

DAFTAR PUSTAKA

- Adiputra, N., Manuaba, A., & Purnomo, H. (2006). *Sistem Kerja dengan Pendekatan Ergonomi Total Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal, Kelelahan, dan Beban Kerja serta Meningkatkan Produktivitas Pekerja Industri Gerabah di Kasongan, Bantul*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Blader et al. (1991). Neck and shoulder complaints among sewing-machine operator: a study concerning frequency, symptomatology and dysfunction. *Applied Ergonomics* 22. pp 251-257.
- Brar, Balraj Singh, Chandandeep Singh Grewal and Kuldeep Kumar Sareen. (2008). *Ergonomics Considerations in Sewing Machine Work Station Design*. India.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Chaffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention. University of Michigan.
- Davies, Roy C. (2000). *Application of Systems Design Using Virtual Environment*. Sweden: University of Lund.
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. *In: Proceed of The 7th International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process" – ATA 2001, Florence*.
- Kalawsky, R. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Karwowski, W., Marras, W.S. (2003). *Occupational Ergonomic Principles of Work Design*. Boca Raton: CRC Press. Pg 25-1 – 26-12.

- Karwowski, Waldemar. (2001). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*. New York: Taylor and Francis.
- Marzano, A. (Mei 2009). Wawancara personal.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environments in Machinery Safety Analysis*. Finland: VTT Publications.
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110*.
- Purnomo et al. (2006). *Sistem Kerja dengan Pendekatan Ergonomi Total Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal, Kelelahan, dan Beban Kerja Serta Meningkatkan Produktivitas Pekerja Industri Gerabah di Kasongan, Bantul*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Sanders, Mark and Ernest McCormick. (1993). *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Setiawan, Andri D dan Yugi Sukriana. *Urban Decay in Kente – Dealing with Capacity and Distribution of Opportunity*.
- Stanton, N., et al. (2000). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. CRC Press LLC.
- Suma'mur, P.K. (1982). *Ergonomi Untuk Produktivitas Kerja*. Jakarta: Yayasan Swabhawa Karya.
- UGS The PLM Company, E-Factory JACK. (2004). UGS Launches New Version of E-factory Jack, its Human Simulation and Ergonomics Analysis Software. 7 Maret 2009. <http://www.plm.automation.siemens.com>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Evaluasi Postur Kerja Pada Operator Mesin Jarum 1

$$PEI = I_1 + I_2 + m_r \cdot I_3$$

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

$$I_2 = OWAS/4$$

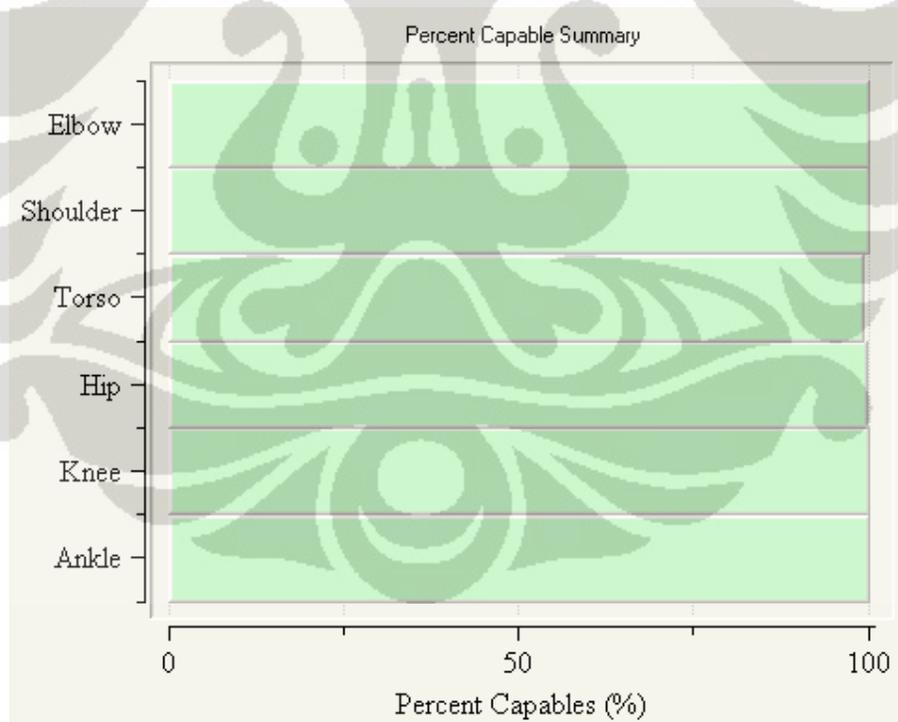
$$I_3 = RULA/7$$

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

$$\begin{aligned} PEI &= 1083\text{N} / 3400\text{N} + 3/4 + 5/7 * 1,42 \\ &= 2,083 \end{aligned}$$

KONFIGURASI 1A (Actual Height)

STATIC STRENGTH PREDICTION Report

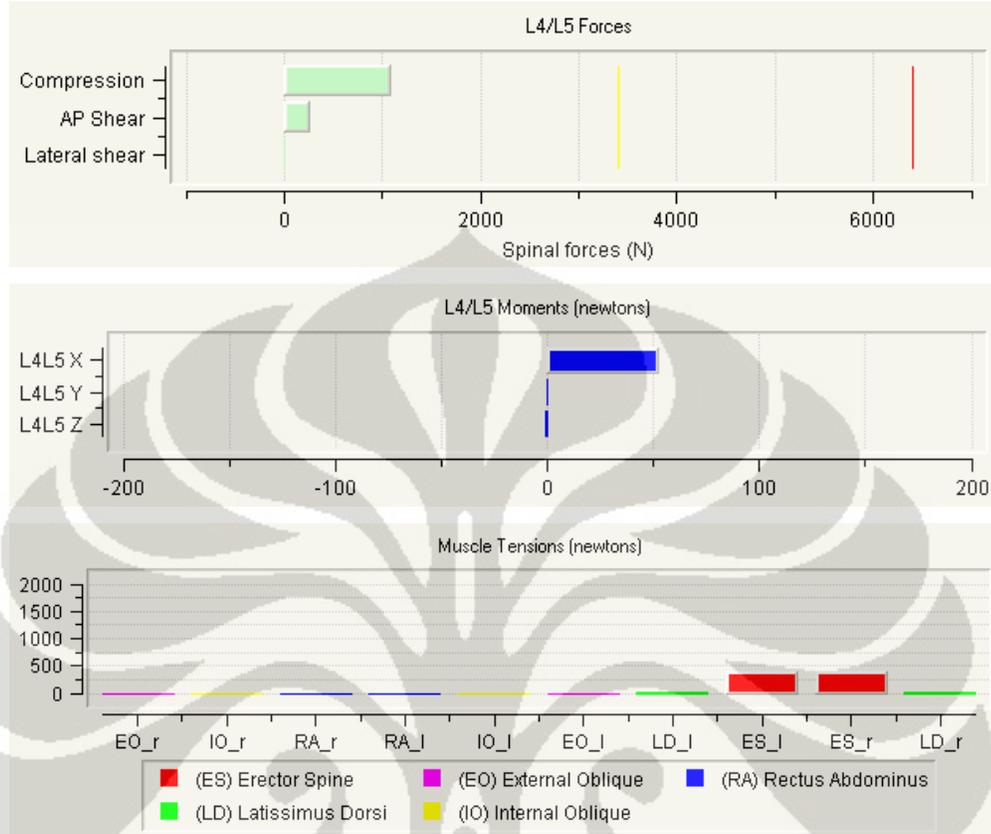


Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-1	--	34	9	100	-1	--	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	31	8	100	-3	ABDUCT	34	9	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	33	10	100	-0	--	43	15	100
	Humeral Rot	-1	--	17	4	100	-1	--	21	5	100
Trunk	Flex/Ext	-52	EXTEN	293	101	99					
	Lateral Bending	-1	--	212	48	100					
	Rotation	-0	--	60	18	100					
Hip		-0	--	126	48	100	-0	--	126	48	100
Knee		0	--	113	39	100	0	--	112	39	100
Ankle		0	--	84	23	100	0	--	91	25	100

Joint Angle Summary				
Calculated Limb Angles			Calculated Trunk Angles	
	Left	Right		
Elbow included	89	92	Trunk Flexion	54
Shoulder Vertical	80	77	Trunk Lateral Bend	0
Shoulder Horizontal	55	69	Trunk Rotation	0
Humeral Rotation	74	65		
Hip Included	73	73		
Knee Included	105	101		
Ankle Included	89	81		

Loads And Weights		
right_toes.distal	Weight	200.0 gr
Strategy: "Sitting"		
Gravity: (0.00, -980.66, 0.00) cm/sec ²		

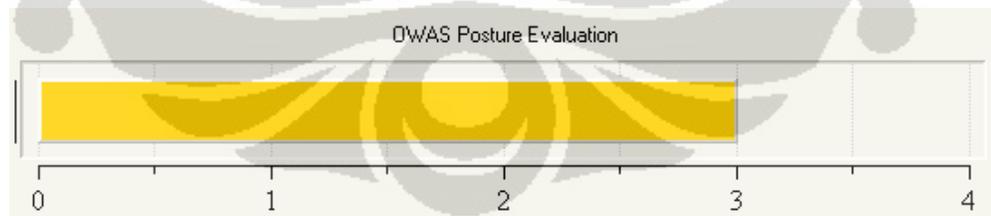
LOW BACK ANALYSIS Report



LBA Analysis Recommendations:

The low back compression force of 1083.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

OVAKO WORKING POSTURE ANALYSIS Report



(Owas Code: **2141**)

Warning! This work posture will cause harmful levels of stress on the musculoskeletal system! Corrective measures must be taken as soon as possible. Note that only downward force components are considered in the analysis.

RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT Report

Analysis Summary

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 4

Lower arm: 2

Wrist: 2

Wrist Twist: 2

Total: 5

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Arms: Not supported

Body Group B Posture Rating

Neck: 1

Trunk: 3

Total: 4

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 5

Action: **Investigation and changes are required soon.**

KONFIGURASI 1B (+15 cm Above Elbow Height)

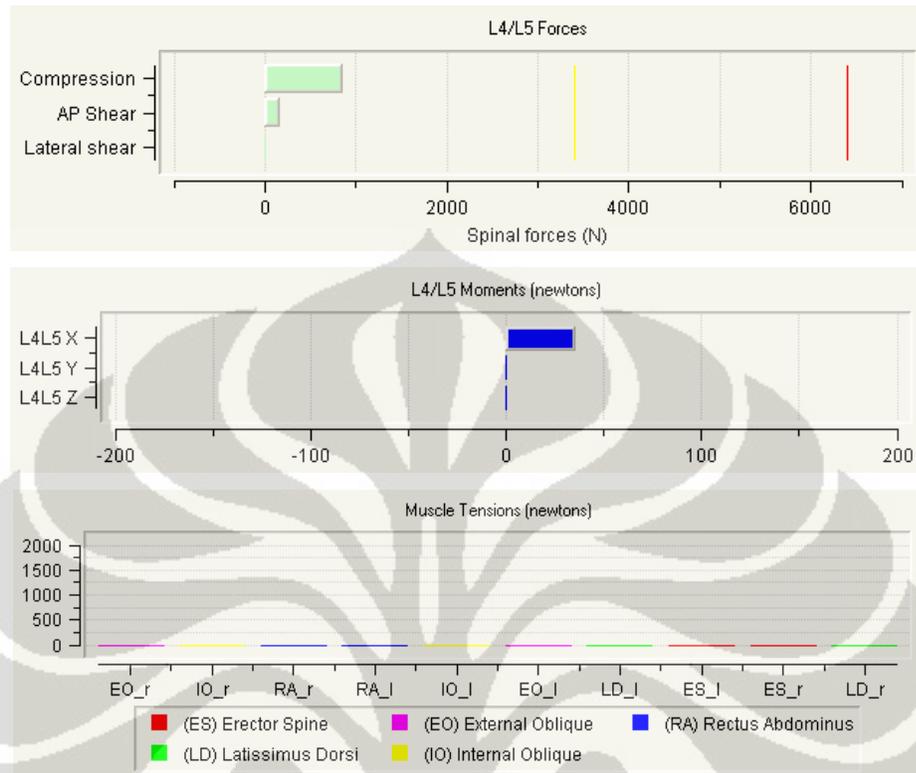
STATIC STRENGTH PREDICTION Report

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	--	34	9	100	-1	--	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	34	9	100	-4	ABDUCT	37	10	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	42	14	100	-1	--	45	15	100
	Humeral Rot	-1	--	20	5	100	-1	--	23	6	100
Trunk	Flex/Ext	-36	EXTEN	264	91	99					
	Lateral Bending	-0	--	155	35	100					
	Rotation	-0	--	56	17	100					
Hip		-0	--	117	44	100	-0	--	119	45	100
Knee		0	--	114	39	100	0	--	113	39	100
Ankle		0	--	86	23	100	0	--	86	23	100

Joint Angle Summary				
Calculated Limb Angles			Calculated Trunk Angles	
	Left	Right		
Elbow included	117	123	Trunk Flexion	70
Shoulder Vertical	64	64	Trunk Lateral Bend	0
Shoulder Horizontal	71	79	Trunk Rotation	0
Humeral Rotation	63	58		
Hip Included	94	89		
Knee Included	111	106		
Ankle Included	87	87		

Loads And Weights		
right_toes.distal	Weight	200.0 gr
Strategy: "Sitting"		
Gravity: (0.00, -980.66, 0.00) cm/sec ²		

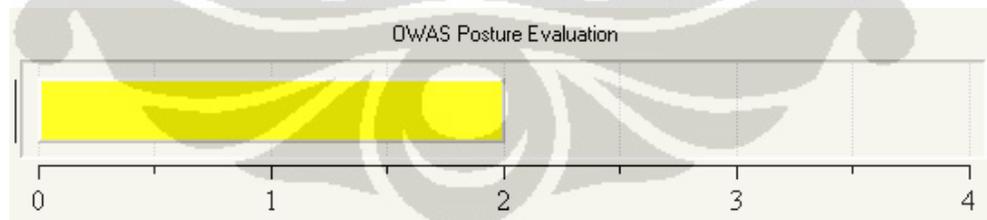
LOW BACK ANALYSIS Report



LBA Analysis Recommendations:

The low back compression force of 838.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

OVAKO WORKING POSTURE ANALYSIS Report



(Owas Code: **2111**)

The work posture may have harmful effects on the musculoskeletal system. Musculoskeletal loading is not extreme with this posture, however, corrective measures are encouraged. Note that only downward force components are considered in the analysis.

RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT Report

Analysis Summary

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 4

Lower arm: 3

Wrist: 1

Wrist Twist: 2

Total: 5

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Arms: Not supported

Body Group B Posture Rating

Neck: 2

Trunk: 2

Total: 3

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: **4**

Action: **Further investigation needed. Changes may be required.**

KONFIGURASI 1C (+10 cm Above Elbow Height)

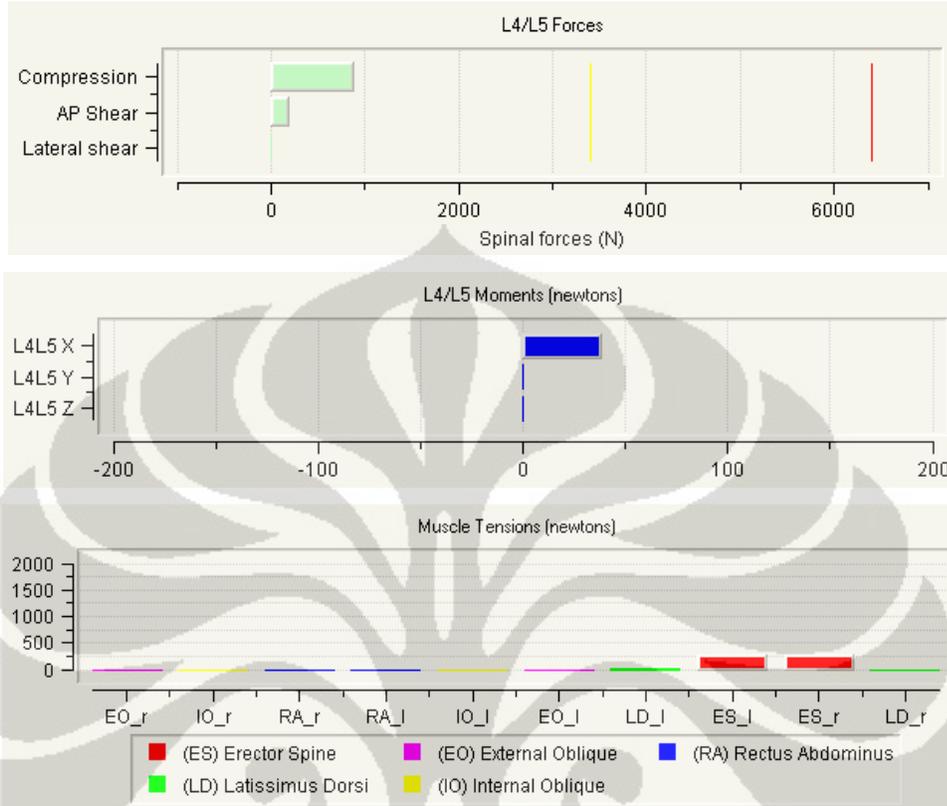
STATIC STRENGTH PREDICTION Report

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	--	35	9	100	-1	--	38	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	33	9	100	-3	ABDUCT	36	9	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	42	14	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-1	--	19	5	100	-1	--	21	5	100
Trunk	Flex/Ext	-38	EXTEN	277	96	99					
	Lateral Bending	-0	--	162	37	100					
	Rotation	-0	--	56	17	100					
Hip		-0	--	121	46	100	-0	--	122	46	100
Knee		0	--	112	39	100	0	--	111	38	100
Ankle		0	--	87	24	100	0	--	87	24	100

Joint Angle Summary				
Calculated Limb Angles			Calculated Trunk Angles	
	Left	Right		
Elbow included	104	106	Trunk Flexion	68
Shoulder Vertical	58	60	Trunk Lateral Bend	0
Shoulder Horizontal	65	71	Trunk Rotation	0
Humeral Rotation	68	65		
Hip Included	84	82		
Knee Included	103	99		
Ankle Included	86	86		

Loads And Weights		
right_toes.distal	Weight	200.0 gr
Strategy: "Sitting"		
Gravity: (0.00, -980.66, 0.00) cm/sec ²		

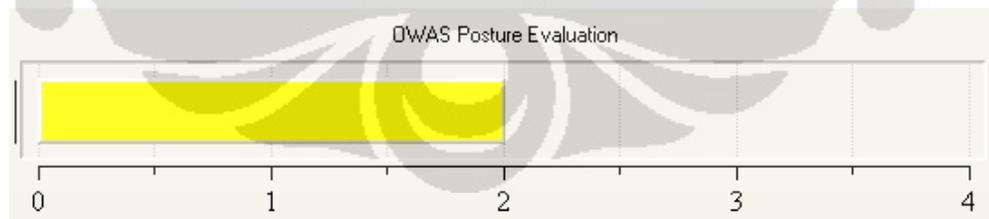
LOW BACK ANALYSIS Report



LBA Analysis Recommendations:

The low back compression force of 869.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

OVAKO WORKING POSTURE ANALYSIS Report



(Owas Code: **2111**)

The work posture may have harmful effects on the musculoskeletal system. Musculoskeletal loading is not extreme with this posture, however, corrective measures are encouraged. Note that only downward force components are considered in the analysis

RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT Report

Analysis Summary

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 3

Lower arm: 2

Wrist: 2

Wrist Twist: 2

Total: 5

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Arms: Not supported

Body Group B Posture Rating

Neck: 1

Trunk: 3

Total: 4

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 5

Action: **Investigation and changes are required soon.**

KONFIGURASI 1D (+5 cm Above Elbow Height)

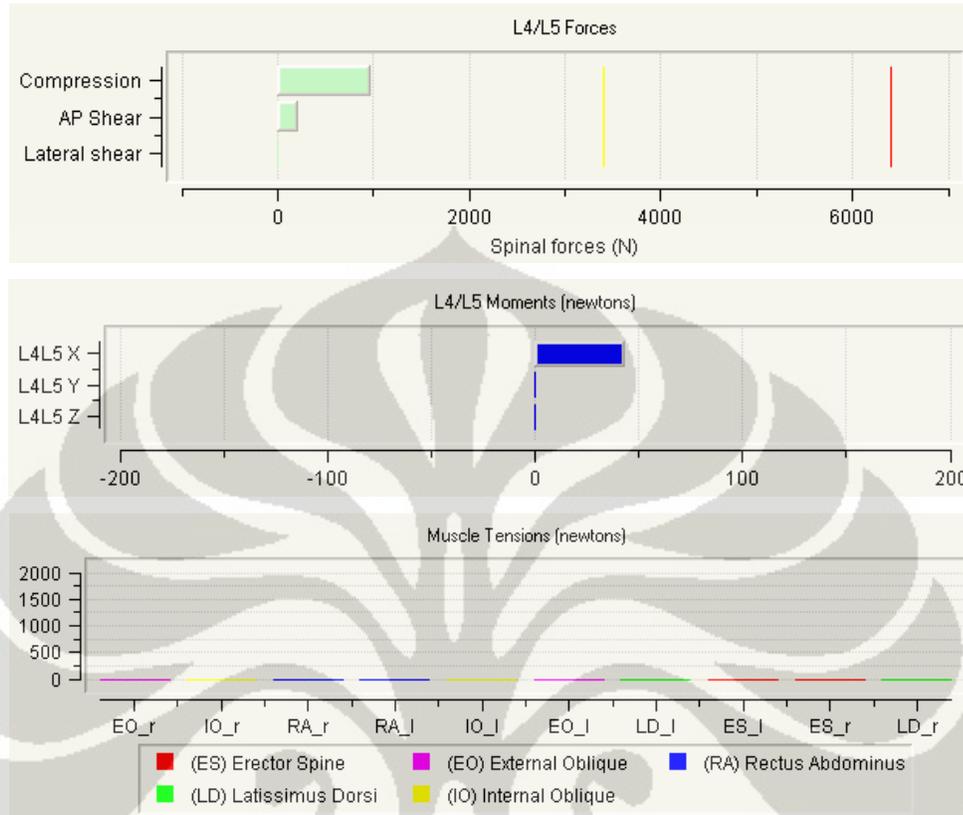
STATIC STRENGTH PREDICTION Report

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	--	35	9	100	-1	--	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	33	9	100	-3	ABDUCT	36	10	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	41	14	100	-1	--	45	15	100
	Humeral Rot	-1	--	19	5	100	-1	--	22	6	100
Trunk	Flex/Ext	-43	EXTEN	295	102	99					
	Lateral Bending	-0	--	180	41	100					
	Rotation	-0	--	57	17	100					
Hip		-0	--	126	48	100	-0	--	127	48	100
Knee		0	--	110	38	100	0	--	108	37	100
Ankle		0	--	85	23	100	0	--	87	24	100

Joint Angle Summary				
Calculated Limb Angles			Calculated Trunk Angles	
	Left	Right		
Elbow included	103	109	Trunk Flexion	63
Shoulder Vertical	63	66	Trunk Lateral Bend	0
Shoulder Horizontal	66	75	Trunk Rotation	0
Humeral Rotation	61	59		
Hip Included	72	70		
Knee Included	96	91		
Ankle Included	87	86		

Loads And Weights		
right_toes.distal	Weight	200.0 gr
Strategy: "Sitting"		
Gravity: (0.00, -980.66, 0.00) cm/sec ²		

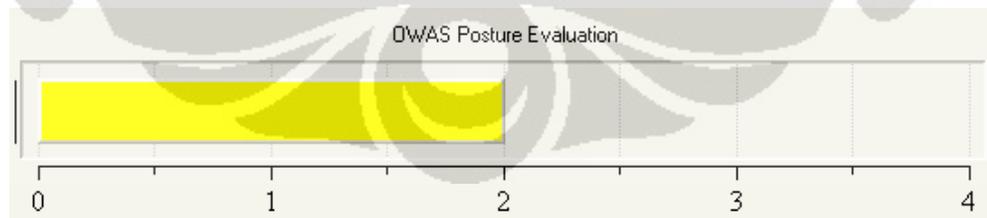
LOW BACK ANALYSIS Report



LBA Analysis Recommendations:

The low back compression force of 954.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

OVAKO WORKING POSTURE ANALYSIS Report



(Owas Code: **2111**)

The work posture may have harmful effects on the musculoskeletal system. Musculoskeletal loading is not extreme with this posture, however, corrective measures are encouraged. Note that only downward force components are considered in the analysis

RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT Report

Analysis Summary

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 3

Lower arm: 2

Wrist: 2

Wrist Twist: 2

Total: 5

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Arms: Not supported

Body Group B Posture Rating

Neck: 1

Trunk: 3

Total: 4

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 5

Action: **Investigation and changes are required soon.**