

**OPTIMASI ERGONOMI PADA STASIUN KERJA  
DIVISI *FINISHING* UKM INDUSTRI GARMEN  
DENGAN PENDEKATAN *POSTURE EVALUATION INDEX*  
DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

**ROMADHANI ARDI  
04 05 07 05 34**



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

**OPTIMASI ERGONOMI PADA STASIUN KERJA  
DIVISI *FINISHING* UKM INDUSTRI GARMEN  
DENGAN PENDEKATAN *POSTURE EVALUATION INDEX*  
DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT***

**SKRIPSI**

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

**ROMADHANI ARDI  
04 05 07 05 34**



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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Romadhani Ardi

NPM : 0405070534

Tanda Tangan : .....

Tanggal : 1 Juli 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Romadhani Ardi

NPM : 0405070534

Departemen : Teknik Industri

Judul Skripsi : Optimasi Ergonomi pada Stasiun Kerja Divisi *Finishing*  
UKM Industri Garmen dengan Pendekatan *Posture*  
*Evaluation Index* dalam *Virtual Environment*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Erlinda Muslim, MEE. (.....)

Penguji : Ir. Yadrifil, M.Sc. (.....)

Penguji : Ir. Sri Bintang P., MSIE., PhD. (.....)

Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2009

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT. Hanya kepada-Nya saya menyembah dan hanya kepada-Nya saya memohon pertolongan. Atas berkat rahmat, kemudahan, dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam saya haturkan kepada manusia yang paling saya cintai, Nabi Muhammad SAW. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas jasa-jasa mereka hingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini. Mereka adalah:

1. Keluarga besar tercinta, terutama Bapak, Ibu, Nana, Bude Endang, Mas Ipin, Mbak Kenil, Mbak Mus, Nenek, dan Mbah Putri. Terima kasih atas seluruh bantuan penuh kasih sayang yang kalian semua berikan. Semoga Allah SWT mengizinkan kita hidup bersama nanti di surga-Nya kelak.
2. Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE. Terima kasih atas segala yang telah ibu berikan selaku dosen pembimbing skripsi; motivasi, arahan, saran, do'a, bimbingan akademis, dan bimbingan hidup. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan ibu dengan kebaikan yang lebih banyak.
3. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE. Terima kasih atas segala yang telah bapak berikan selaku dosen pembimbing skripsi; motivasi, arahan, saran, do'a, bimbingan akademis, dan bimbingan hidup. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan bapak dengan kebaikan yang lebih banyak.
4. Bapak Ir. Agung Prehadi dan keluarga. Terima kasih atas segala bantuannya, baik atas saran-saran yang diberikan selama pembuatan skripsi, keramahan yang diberikan ketika saya dan teman-teman berkunjung, dan kemudahan-kemudahan akses yang bapak upayakan dalam membantu penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah SWT selalu menjaga kesehatan bapak.
5. Cindy Anggraini, I Nyoman Adi Pradana, Liza Afrinotha, Muthia Amelia, Nandyka Yogamaya, Ricky Prabowo, dan Zulkarnain. Terima kasih atas 6 bulan yang hebat dalam tim ergonomi (UKM dan sepeda). Semoga Allah

SWT membalas kebaikan kalian dan memberikan kalian petunjuk, jalan terbaik yang harus kalian pilih.

6. Bapak Baban Rumbana, Bapak Syamsul Haris, Bapak Heri, Bapak Edi, dan seluruh karyawan PT. X, terutama Ibu yang selalu menyediakan minuman, atas segala kemudahan dan keramahan yang diberikan selama saya dan teman-teman mengambil data di sana.
7. Mas Latif, Mas Iwan, dan Mas Mursyid atas kesediaannya menunggu saya dan teman-teman memakai perpustakaan hingga larut malam dan hingga akhir pekan. Semoga Allah SWT membalasnya.
8. Seluruh teman-teman Teknik Industri angkatan 2005: Adi, Arif, RC, Tado, Arthur, Carissa, Chandra, Warman, Tansen, Christian, Kily, Dadi, Dewi, Deka, Dupont, Dimas, Dimi, DW, Elice, Aina, Fifi, Pipop, Ferdy, Guntur, Harry, Ijar, Imam, Intan, Irvan, Octo, Keisha, Loly, Maya, Ega, Fadli, Aan, Imron, Najwa, Tacong, Niken, Cica, Rama, Ricky, Lia, Rita, Rondi, Sono, Hery, Tri, Yopi, Yosu, dan Yuda. Terima kasih atas 4 tahun yang hebat dan penuh hikmah ini. Semoga Allah menunjuki kalian jalan yang lurus.
9. Bpk. Ir. Amar Rahman, MEIM, selaku dosen pembimbing akademis.
10. Bapak. Armand Omar Moeis, ST. M.Sc. Terima kasih atas izinnya untuk memindahkan komputer dari ruangan mas Acil ke perpustakaan.
11. Mas Acil, Mas Dodi, Bu Har, Mbak Anna, dan Mbak Fat atas segala bantuannya.
12. Tan Yi Ming dan Bapak Anton. Terima kasih atas pelatihan dan bantuannya dalam memperpanjang lisensi dari *software* Jack.
13. Bapak Ibu pegawai Pemerintah Kota Depok dan UKM Center FE UI. Terima kasih atas segala informasi yang diberikan mengenai UKM.
14. Teman-teman satu lingkaran: Afrig, Agus, Awe, Khalid, Aji, dan Ka Fobi. Terima kasih telah mendengarkan keluh kesah saya selama ini. Semoga Allah SWT menjaga kita dalam agama-Nya.
15. Teman-teman Alumni ROHIS 34. Mohon maaf jika banyak kerja yang harus saya tinggalkan selama pengerjaan skripsi ini. Semoga Allah SWT menjaga kita agar selalu tetap berusaha untuk *istiqamah* di jalan-Nya.

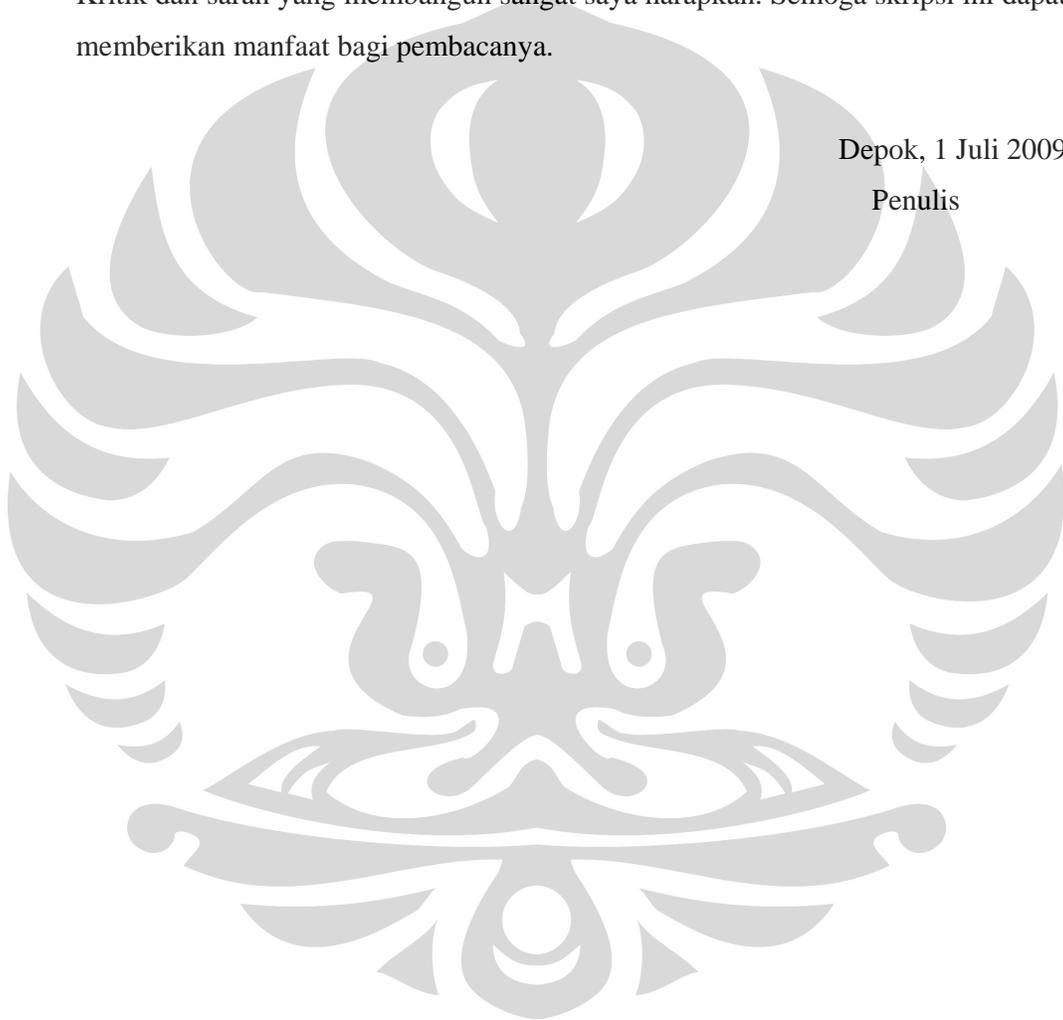
16. 32 orang Mitra Karya OSIS angkatan 14. Terima kasih untuk reuni 6 bulanan yang selalu kita jalankan hingga kini. Semoga impian kita untuk menjadi berguna bagi bangsa dan negara ini benar-benar dapat kita wujudkan.

17. Orang-orang yang tidak bisa saya sebutkan namanya di sini. Terima kasih atas segalanya.

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

Depok, 1 Juli 2009

Penulis



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

---

---

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

Nama : Romadhani Ardi  
NPM : 0405070534  
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 :

**Optimasi Ergonomi Pada Stasiun Kerja  
Divisi *Finishing* Ukm Industri Garmen  
Dengan Pendekatan *Posture Evaluation Index*  
Dalam *Virtual Environment***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 1 Juli 2009

Yang menyatakan

( Romadhani Ardi )

## RIWAYAT HIDUP PENULIS

Nama : Romadhani Ardi  
Tempat, Tanggal Lahir : Yogyakarta, 25 Februari 1987  
Alamat : Rempoa Residence  
Jl. H. Abd. Gani Blok B6-7 RT/TW 001/001  
Cempaka Putih, Ciputat 15412

Pendidikan :

a.	SD	:	SDN Ciputat VI (1993 – 1999)
b.	SLTP	:	SLTP Negeri 85 Jakarta (1999 – 2002)
c.	SMU	:	SMA Negeri 34 Jakarta (2002 – 2005)
d.	S-1	:	Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia (2005 – 2009)

## ABSTRAK

Nama : Romadhani Ardi  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Optimasi Ergonomi pada Stasiun Kerja Divisi *Finishing* UKM Industri Garmen dengan Pendekatan *Posture Evaluation Index* dalam *Virtual Environment*

Skripsi ini berupaya mengkaji, dalam *virtual environment*, kondisi ergonomi dari 4 buah stasiun kerja pada divisi *Finishing* UKM Industri Garmen. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian adalah *Posture Evaluation Index* (PEI) yang mengintegrasikan hasil analisis dari tiga buah metode: *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Tujuannya adalah untuk menentukan konfigurasi optimal yang mempengaruhi kondisi kerja pada divisi *Finishing*. Variabel yang menentukan pemilihan konfigurasi adalah persentil data antropometri dan posisi kerja. Dihasilkan 14 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Hasil penelitian menyarankan agar konfigurasi optimal dijadikan landasan dalam pembuatan standar metode kerja yang ergonomis.

Kata Kunci :

Ergonomi, *Virtual Environment*, Stasiun Kerja, Divisi *Finishing* UKM Industri Garmen, PEI, Konfigurasi Optimal

## ABSTRACT

Name : Romadhani Ardi  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Ergonomic Optimization in Work Stations of Finishing Division, Garment Industry Small Medium Enterprise (SME) with Posture Evaluation Index within Virtual Environment

This thesis tried to study, in a virtual environment, the ergonomics of 4 work stations in Finishing Division, Garment Industry SME. Posture Evaluation Index (PEI) used as an approach that integrated the results of these three methods: Low Back Analysis (LBA), Ovako Working Posture Analysis (OWAS), and Rapid Upper Limb Assessment (RULA). The objective is to determine the optimum configurations that influence working conditions in Finishing Division. Variables that determined the configurations are anthropometry percentiles and work positions. There are 14 configurations that will be analyzed. The results suggest that optimum configurations should become basis in creating better work methods.

Key words :

Ergonomics, Virtual Environment, Work Stations, Finishing Division of Garment Industry SME, PEI, Optimum Configurations

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP PENULIS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah .....	4
1.3 Perumusan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	6
1.6 Metodologi Penelitian .....	6
1.7 Sistematika Penulisan .....	9
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>10</b>
2.1 Ergonomi.....	10
2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi .....	10
2.1.2 Sejarah Singkat Ergonomi .....	12
2.2 Antropometri.....	13
2.2.1 Pendahuluan Mengenai Antropometri .....	13
2.2.2 Membuat Desain untuk Populasi Pengguna.....	14
2.2.3 Survei Antropometri .....	16
2.2.4 Prinsip Antropometri Terapan dalam Kajian Ergonomi .....	18
2.3 <i>Musculoskeletal Disorders</i> .....	22
2.4 <i>Virtual Environment</i> .....	24
2.5 Jack <sup>TM</sup> .....	27
2.5.1 Pendahuluan Mengenai Jack .....	27
2.5.2 <i>Jack Task Analysis Toolkit</i> .....	30
2.6 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i> .....	31
2.7 <i>Low Back Analysis (LBA)</i> .....	34
2.8 <i>Ovako Working Posture Analysis (OWAS)</i> .....	36
2.9 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i> .....	40
2.10 <i>Posture Evaluation Index (PEI) dan Work Cell Evaluation Index (WEI)</i> ..	43
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>50</b>
3.1 Gambaran Umum Perusahaan.....	50
3.1.1 Sejarah dan Profil PT. X .....	50
3.1.2 Departemen Produksi PT. X .....	56
3.1.2.1 Divisi <i>Cutting</i> .....	58
3.1.2.2 Divisi <i>Sewing</i> .....	59

3.1.2.3	Divisi Kancing .....	59
3.1.2.4	Divisi <i>Finishing</i> .....	59
3.2	Penentuan Objek Penelitian .....	60
3.2.1	Penentuan Stasiun Kerja .....	60
3.2.1.1	Stasiun Kerja Pencabutan Benang .....	62
3.2.1.2	Stasiun Kerja Penyedotan Debu dan Benang.....	63
3.2.1.3	Stasiun Kerja Penyerikaan .....	65
3.2.1.4	Stasiun Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian .....	66
3.2.2	Penentuan Variabel yang Diteliti .....	68
3.2.3	Penentuan Konfigurasi.....	71
3.3	Data yang Dikumpulkan .....	72
3.3.1	Data Antropometri Pekerja PT. X.....	72
3.3.2	Dimensi dan Alat .....	79
3.3.3	Video Kegiatan Kerja.....	83
3.4	Pembuatan Model Konfigurasi 1 .....	83
3.4.1	Alur Pembuatan Model .....	84
3.4.1.1	Pembuatan <i>Virtual Environment</i> .....	85
3.4.1.2	Pembuatan <i>Virtual Human</i> .....	86
3.4.1.3	Penempatan <i>Virtual Human</i> pada <i>Virtual Environment</i> .....	87
3.4.1.4	Pembuatan Tugas Kerja pada Model Manekin .....	87
3.4.1.5	Verifikasi dan Validasi Model .....	88
3.4.1.6	Analisis Kinerja Tugas dengan <i>Jack Task Analysis Toolkit</i> .....	91
3.4.2	Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI).....	95
<b>4.</b>	<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>96</b>
4.1	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai PEI.....	96
4.2	Analisis Konfigurasi .....	98
4.2.1	Analisis Konfigurasi 1 .....	98
4.2.2	Analisis Konfigurasi 2.....	100
4.2.3	Analisis Konfigurasi 3.....	102
4.2.4	Analisis Konfigurasi 4.....	104
4.2.5	Analisis Konfigurasi 5.....	107
4.2.6	Analisis Konfigurasi 6.....	109
4.2.7	Analisis Konfigurasi 7.....	111
4.2.8	Analisis Konfigurasi 8.....	114
4.2.9	Analisis Konfigurasi 9.....	116
4.2.10	Analisis Konfigurasi 10.....	118
4.2.11	Analisis Konfigurasi 11.....	120
4.2.12	Analisis Konfigurasi 12.....	122
4.2.13	Analisis Konfigurasi 13.....	125
4.2.14	Analisis Konfigurasi 14.....	127
4.3	Analisis Stasiun Kerja.....	129
4.3.1	Analisis Stasiun Kerja Pencabutan Benang.....	129
4.3.2	Analisis Stasiun Kerja Penyedotan Debu dan Benang .....	132
4.3.3	Analisis Stasiun Kerja Penyerikaan .....	134
4.3.4	Analisis Stasiun Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian.....	136
4.4	Analisis Pengaruh Persentil Data Antropometri terhadap Nilai PEI .....	138
4.5	Analisis Pengaruh Posisi Kerja terhadap Nilai PEI .....	139

4.6 Penentuan Konfigurasi Optimal.....	141
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>142</b>
5.1 Kesimpulan .....	142
5.2 Saran.....	144
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>145</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 2.1. Sistem Kerja Sederhana .....	11
Gambar 2.2. Distribusi Normal pada Variabel Antropometri.....	18
Gambar 2.3. Beberapa Penggunaan Dimensi Minimal.....	21
Gambar 2.4. Beberapa Penggunaan Dimensi Maksimal.....	22
Gambar 2.5. Kubus Zelter untuk Konsep <i>Virtual Reality</i> .....	24
Gambar 2.6. Lingkungan pada Jack.....	28
Gambar 2.7. Kubus Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack .....	29
Gambar 2.8. Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya pada Persendian.....	32
Gambar 2.9. Kotak Dialog <i>Static Strength Prediction</i> pada Jack.....	34
Gambar 2.10. Kotak Dialog <i>Lower Back Analysis</i> pada Jack.....	36
Gambar 2.11. Kategori Postur Batang Tubuh.....	37
Gambar 2.12. Kategori Postur Tangan.....	37
Gambar 2.13. Kategori Postur Tubuh Bagian Bawah 1.....	38
Gambar 2.14. Kategori Postur Tubuh Bagian Bawah 2.....	38
Gambar 2.15. Kategori Beban yang Diterima Tubuh .....	39
Gambar 2.16. Kotak Dialog <i>Ovako Working Posture Analysis</i> pada Jack .....	40
Gambar 2.17. Contoh Lembar Kerja RULA.....	42
Gambar 2.18. Kotak Dialog <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> pada Jack .....	43
Gambar 2.19. Diagram Alir Metode PEI.....	44
Gambar 2.20. Diagram Alir Metode WEI.....	45
Gambar 3.1. Diagram Tata Letak Pabrik PT. X.....	52
Gambar 3.2. Departemen Produksi PT. X .....	57
Gambar 3.3. Alur Kerja pada Divisi <i>Finishing</i> .....	61
Gambar 3.4. Posisi Kerja Pencabutan Benang.....	63
Gambar 3.5. Mesin Sedot Debu dan Benang.....	64
Gambar 3.6. Posisi Kerja Penyedotan Debu dan Benang.....	64
Gambar 3.7. Meja Setrika dan Gosokan .....	65
Gambar 3.8. Posisi Kerja Penyetrikaan dan Bangku yang Dialihfungsikan.....	66
Gambar 3.9. Pakaian Sebelum dan Setelah Proses Pelipatan dan Pembungkusan.....	67
Gambar 3.10. Posisi Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian.....	68
Gambar 3.11. Model Manekin Persentil 5 (kiri) dan Persentil 95 (kanan).....	69
Gambar 3.12. Posisi Kerja Berdiri (kiri) dan Duduk (kanan).....	70
Gambar 3.13. Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan PT. X .....	73
Gambar 3.14. Hasil Uji Normalitas Data Berat Badan PT. X .....	74
Gambar 3.15. Data Antropometri Persentil 5 yang Digunakan dalam Simulasi .....	77
Gambar 3.16. Data Antropometri Persentil 95 yang Digunakan dalam Simulasi .....	78
Gambar 3.17. Model CAD Meja Kerja.....	79
Gambar 3.18. Model CAD Mesin Sedot Debu dan Benang .....	80
Gambar 3.19. Model CAD Mesin Gosokan.....	81
Gambar 3.20. Model Model CAD Gosokan .....	81
Gambar 3.21. Model CAD Bangku .....	82

Gambar 3.22. Model CAD <i>Dummy</i> .....	83
Gambar 3.23. Diagram Alir Pembuatan Model .....	84
Gambar 3.24. Proses Impor Model Alat pada Konfigurasi 1.....	85
Gambar 3.25. Tata Letak Stasiun Kerja Pencabutan Benang pada <i>Software Jack</i>	86
Gambar 3.26. Model Manekin PekerjaWanita Persentil 95.....	86
Gambar 3.27. Model Persentil 95 yang Ditempatkan pada Stasiun Kerja.....	87
Gambar 3.28. <i>Animation System</i> pada Konfigurasi 1 .....	87
Gambar 3.29. Pengecekan Satuan pada Tinggi dan Berat Badan.....	88
Gambar 3.30. Pengecekan Satuan pada Variabel Data Antropometri .....	89
Gambar 3.31. Postur Kerja Normal pada Konfigurasi 1.....	90
Gambar 3.32. Postur Kerja Ekstrim pada Konfigurasi 1 .....	90
Gambar 3.33. Kotak Dialog <i>Loads and Weights</i> pada Konfigurasi 1.....	92
Gambar 3.34. Hasil Analisis SSP untuk Konfigurasi 1 .....	93
Gambar 3.35. Hasil Analisis LBA untuk Konfigurasi 1.....	93
Gambar 3.36. Hasil Analisis OWAS untuk Konfigurasi 1 .....	94
Gambar 3.37. Hasil Analisis RULA untuk Konfigurasi 1 .....	94
Gambar 4.1. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 1.....	98
Gambar 4.2. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 2.....	101
Gambar 4.3. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 3.....	103
Gambar 4.4. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 4.....	105
Gambar 4.5. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 5.....	108
Gambar 4.6. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 6.....	110
Gambar 4.7. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 7.....	112
Gambar 4.8. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 8.....	115
Gambar 4.9. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 9.....	117
Gambar 4.10. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 10.....	119
Gambar 4.11. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 11.....	121
Gambar 4.12. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 12.....	123
Gambar 4.13. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 13.....	126
Gambar 4.14. Titik Ekstrim pada Konfigurasi 14.....	128

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Daftar Variabel Antropometri ISO .....	16
Tabel 3.1. Daftar Mesin PT. X.....	53
Tabel 3.2. Daftar Pelanggan Utama PT. X .....	54
Tabel 3.3. Daftar Karyawan PT. X .....	55
Tabel 3.4. Karakteristik Konfigurasi yang akan Disimulasikan .....	71
Tabel 3.5. Hasil Pengukuran Tinggi dan Berat Badan PT. X .....	72
Tabel 3.6. Persentil 5 dan 95 pada Data Tinggi dan Berat Badan PT. X.....	74
Tabel 3.7. Data Antropometri Pekerja Indonesia.....	75
Tabel 3.8. Hasil Analisis Perbandingan Dua Jenis Postur Konfigurasi 1 .....	91
Tabel 3.9. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 1 .....	92
Tabel 3.10. Resume Skor LBA, OWAS, RULA .....	95
Tabel 4.1. Rekapitulasi Perhitungan Nilai SSP, LBA, OWAS, RULA, dan PEI ..	97
Tabel 4.2. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 2 .....	100
Tabel 4.3. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 3 .....	102
Tabel 4.4. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 4 .....	105
Tabel 4.5. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 5 .....	107
Tabel 4.6. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 6 .....	109
Tabel 4.7. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 7 .....	112
Tabel 4.8. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 8 .....	114
Tabel 4.9. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 9 .....	116
Tabel 4.10. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 10 .....	118
Tabel 4.11. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 11 .....	120
Tabel 4.12. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 12 .....	123
Tabel 4.13. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 13 .....	125
Tabel 4.14. Persentase Kapabilitas Konfigurasi 14 .....	127
Tabel 4.15. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Kerja Pencabutan Benang .....	130
Tabel 4.16. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Penyedotan Kerja Debu dan Benang.....	132
Tabel 4.17. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Kerja Penyetrikaan.....	134
Tabel 4.18. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian.....	136
Tabel 4.19. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI berdasarkan Perubahan Persentil.....	138
Tabel 4.20. Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI berdasarkan Perubahan Posisi Kerja .....	140

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Krisis kredit perumahan di Amerika Serikat (AS) telah memberikan dampak negatif yang begitu besar, baik bagi kondisi perekonomian negara adidaya itu sendiri maupun bagi perekonomian dunia secara keseluruhan. Krisis tersebut mengakibatkan kesulitan finansial bagi perusahaan-perusahaan di AS, bahkan beberapa di antaranya telah mengalami kebangkrutan. Jumlah pemutusan hubungan kerja di AS mencapai 697 ribu orang pada bulan Februari 2009. Angka itu lebih besar daripada PHK Januari 2009 sebesar 614 ribu orang, dan melebihi proyeksi analis sebesar 630 ribu orang<sup>1</sup>. Akibat dari krisis tersebut, Amerika Serikat kemudian mengurangi konsumsinya terhadap barang dan jasa dengan alasan efisiensi. Hal ini mengakibatkan terjadinya resesi global pada perekonomian dunia, karena AS adalah negara utama tujuan ekspor dari negara-negara di dunia. Resesi ekonomi global juga mempengaruhi negara Republik Indonesia. Data dari Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi menunjukkan, sampai tanggal 27 Februari 2009, sebanyak 37.905 buruh terkena PHK akibat kolapsnya sejumlah industri. Ini belum termasuk 16.329 buruh yang dirumahkan karena pabrik tidak lagi optimal dalam produksi<sup>2</sup>.

Usaha Kecil dan Menengah (UKM) adalah salah satu elemen usaha yang telah terbukti mampu bertahan menghadapi krisis di republik ini. Ketika krisis moneter melanda Indonesia pada tahun 1997, lebih dari 30 perusahaan besar mengalami kebangkrutan sehingga terjadi Pemutusan Hubungan Kerja (PHK) pada 17.000 karyawannya<sup>3</sup>. Tetapi justru pada saat itu, UKM menunjukkan kemampuannya untuk bertahan di dalam krisis dengan segala keterbatasannya. Di puncak krisis pada 1998-2000, sumbangan UKM terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) mencapai lebih dari 60%. Data Menteri Negara Koperasi dan Pengusaha Kecil dan Menengah menunjukkan bahwa pada tahun 2000, ada

---

<sup>1</sup> Joy et al. (2009, 7 Maret). Gerak Cepat Atasi Gelombang PHK. *Kompas*, hal. 1.

<sup>2</sup> Rahayu, Heni. (2009, 6 Maret). Ekonomi Dunia Semakin Kelam. *Media Indonesia* hal. 15.

<sup>3</sup> Firman, Tommy. (1999). Indonesian Cities under The Krismon: A Great Urban Crisis in Southeast Asia. <http://www.sciencedirect.com>

sekitar 38,99 juta Usaha Kecil dengan rata-rata penjualan per tahun kurang dari Rp. 1 milyar, atau sekitar 99,85% dari jumlah perusahaan Indonesia pada waktu itu. Pada tahun yang sama, ada 55.061 perusahaan dari kategori Usaha Menengah, dengan rata-rata penghasilan per tahun lebih dari Rp. 1 milyar hingga kurang dari Rp. 50 milyar, atau sekitar 0.14% dari jumlah unit usaha<sup>4</sup>.

Melihat kenyataan-kenyataan di atas, sudah seharusnya seluruh pihak; baik pemerintah, investor, maupun kalangan akademisi, memberikan perhatian yang lebih terhadap pengembangan UKM, terutama dalam rangka ikut menjaga ketahanan perekonomian Indonesia menghadapi resesi global.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperkuat sektor UKM adalah dengan menciptakan iklim usaha yang kondusif bagi UKM. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No.20/2008 Tentang Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah, salah satu cara untuk menciptakan iklim usaha yang kondusif adalah dengan melakukan pengembangan dalam bidang produksi dan pengolahan<sup>5</sup>. Di sinilah, seorang Teknik Industri dapat mengambil perannya. Salah satunya yaitu dengan berpartisipasi aktif dalam upaya penciptaan sistem kerja yang ergonomis pada UKM.

Penciptaan sistem kerja yang memperhatikan kaidah ergonomi sudah terbukti mampu memberikan manfaat, baik bagi pekerjanya secara langsung maupun bagi perusahaan. Sistem kerja tersebut dapat menurunkan keluhan akibat gangguan muskuloskeletal, kelelahan, beban kerja, dan risiko cedera yang dialami oleh pekerja. Selain itu, produktivitas dan pendapatan pekerja dapat ditingkatkan. yang pada akhirnya akan meningkatkan keuntungan perusahaan<sup>6</sup>.

Sistem kerja yang ergonomis juga dapat memberikan manfaat jika dilihat dari sisi pengurangan jumlah kecelakaan kerja. Selama tahun 2007, terjadi sekitar 4 juta kasus kecelakaan kerja ringan dan sekitar 4,2 orang dari setiap 100 pekerja

---

<sup>4</sup> Dinsi, Valentino. (2005). *Jangan Mau Seumur Hidup jadi Orang Gajian*. Jakarta: Let's Go Indonesia.

<sup>5</sup> Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2008 Tentang Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah. 2008

<sup>6</sup> Adiputra, N., Manuaba, A., dan 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

mengalami kecelakaan kerja di AS<sup>7</sup>. Semakin tinggi tingkat kecelakaan kerja, maka akan semakin tinggi pula tingkat ketidakhadiran pekerja, jumlah biaya kesehatan yang dikeluarkan perusahaan, dan kemungkinan terjadinya produk yang cacat. Sehingga dapat disimpulkan, dengan penciptaan sistem kerja yang ergonomis, maka perusahaan dapat melakukan penghematan terhadap pengeluarannya.

Salah satu metode untuk menganalisis apakah suatu sistem kerja telah memenuhi kaidah-kaidah ergonomis adalah dengan pendekatan *virtual environment modeling* menggunakan *software* Jack. Jack<sup>TM</sup> adalah *Human Simulation and Ergonomic Software* yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai ergonomis dari produk maupun metode kerja. *Software* ini memungkinkan penggunanya untuk memposisikan model biomekanikal manusia secara akurat, dalam berbagai ukuran antropometri tubuh manusia, di dalam sebuah *virtual environment*. Model manusia tersebut dapat diatur untuk mengerjakan suatu kegiatan kerja dan kegiatan tersebut dapat dianalisis dengan memperhatikan kaidah ergonomi<sup>8</sup>.

PT. X adalah salah satu dari Usaha Kecil dan Menengah yang bergerak di industri garmen dimana sebagian besar kegiatan produksinya merupakan kegiatan berulang (*repetitive action*). Kegiatan yang berulang akan sangat rentan menjadi penyebab gangguan muskuloskeletal pada pekerja. Salah satu bagian yang banyak melakukan kegiatan yang berulang adalah divisi *finishing* dimana di dalamnya dilakukan serangkaian kegiatan kerja. Beberapa diantaranya adalah pembersihan sisa-sisa benang, penjahitan kancing, penyetricaan, pelipatan, dan pembungkusan. Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan dan menganalisis sistem kerja yang ada di divisi *finishing* menggunakan *software* Jack 6.0. Hasil olahan Jack dianalisis dengan metode *Posture Evaluation Index* (PEI) yang mengintegrasikan hasil analisis ergonomi dari tiga buah metode: *low back analysis* (LBA), *ovako*

---

<sup>7</sup> US Department of Labor, Bureau of Labor Statistic (2008, 23 Oktober). *Workplace Injuries and Illnesses in 2007*. 7 Maret, 2009.

<http://www.bls.gov/news.release/pdf/osh.pdf>

<sup>8</sup> 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/en\\_us/about\\_us/newsroom/press/press\\_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822)

*working posture analysis* (OWAS), dan *rapid upper limb assessment* (RULA)<sup>9</sup>. Dari hasil analisis tersebut, akan dibuat model usulan sistem kerja yang ergonomis sehingga nantinya diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pekerja dan UKM industri garmen itu sendiri.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih utuh dan menyeluruh terhadap masing-masing masalah dan keterkaitan yang muncul di antaranya, maka digunakan diagram keterkaitan seperti terlihat pada **gambar 1.1.**

## 1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan dari masalah yang telah dipaparkan, maka penelitian akan dilakukan dengan menganalisis sistem kerja yang terdapat pada divisi *finishing* UKM industri garmen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem kerja yang ada sudah memenuhi kaidah-kaidah ergonomi atau belum. Analisis tersebut dilakukan dengan pendekatan *virtual environment modeling* menggunakan *software* Jack 6.0. Sistem kerja yang ada akan disimulasikan, dianalisis aspek ergonominya, dan dibandingkan nilai ergonomi antar stasiun kerja yang ada pada sistem tersebut. Dengan itu, model konfigurasi optimal, yang paling ergonomis, pada sistem kerja divisi *finishing* UKM industri garmen dapat ditentukan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

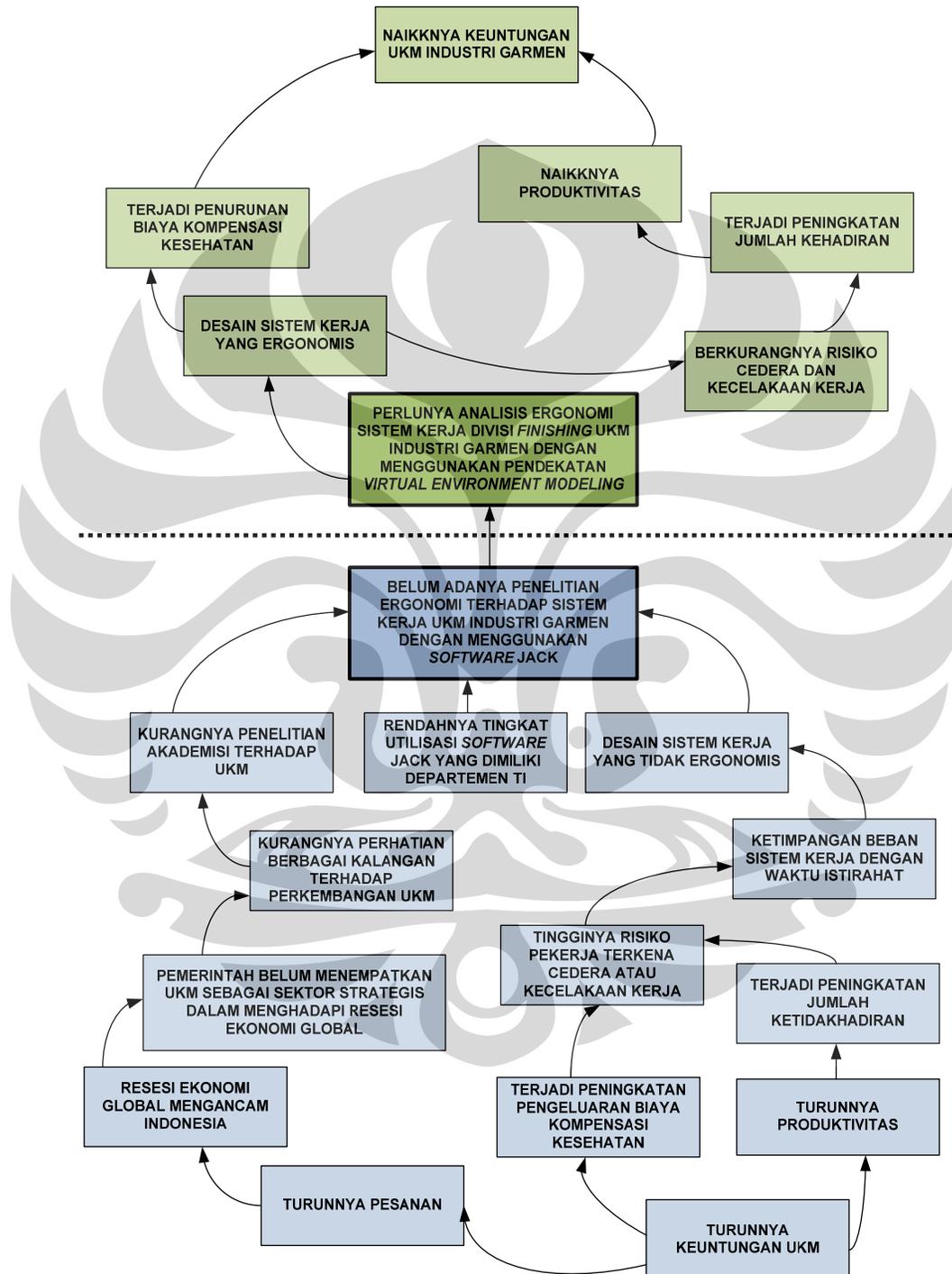
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Memperoleh pemahaman apakah sistem kerja yang diterapkan di UKM industri garmen sudah memenuhi kaidah ergonomi atau belum.
- Memodelkan sistem kerja yang telah ada pada UKM industri garmen dengan menggunakan *software* Jack 6.0.
- Menghitung nilai ergonomi dari sistem kerja yang telah disimulasikan dengan menggunakan metode PEI.

---

<sup>9</sup> 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*.

- Menentukan model konfigurasi optimal pada sistem kerja UKM industri garmen dengan Jack 6.0.



**Gambar 1.1.** Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

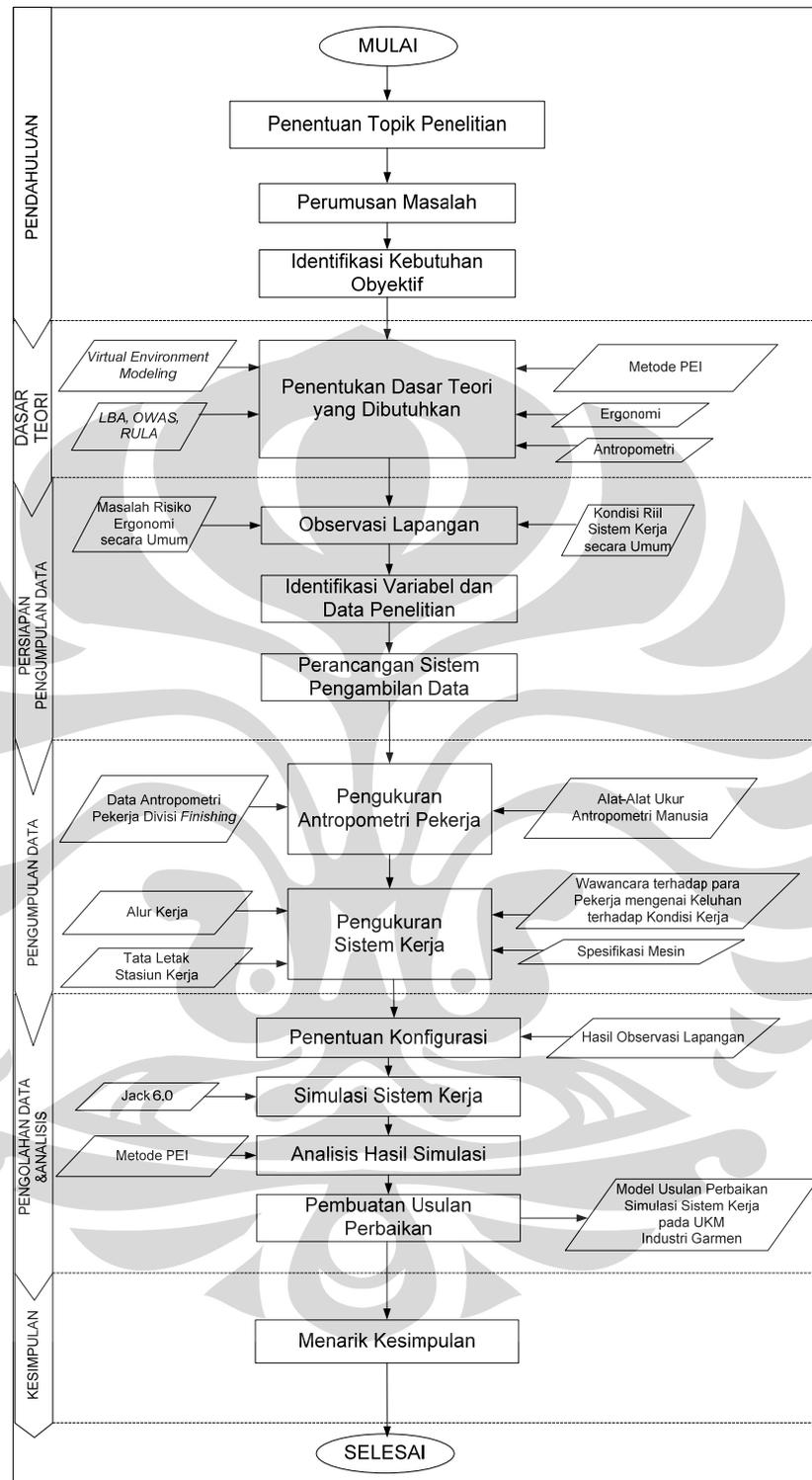
- Penelitian hanya akan memperhatikan kaidah ergonomi pada sistem kerja UKM industri garmen.
- Penelitian hanya akan dilakukan pada sistem kerja yang terdapat pada divisi *finishing* PT. X sebagai representasi ukm industri garmen. Sistem kerja pada divisi ini meliputi stasiun kerja pencabutan benang, penyetrikaan, penyedotan debu, dan pelipatan dan *polyback*.
- Penelitian menggunakan *software* Jack 6.0 sebagai *tool* utama. Sedangkan *software-software* lain hanya digunakan sebagai *supporting tools* diantaranya seperti Auto Cad 2007, Autodesk Mechanical Desktop 2008, Microsoft Excel 2007, Microsoft Vision 2007, Minitab 14, dan alat ukur ergonomi.
- Variabel yang akan dianalisis pengaruhnya dalam simulasi Jack adalah posisi kerja yang digunakan, apakah dengan posisi berdiri atau duduk; dan persentil dari data antropometri, apakah 5% atau 95%. Sedangkan variabel jenis kelamin dibatasi hanya untuk jenis kelamin wanita.
- Hasil yang diharapkan dibatasi hanya berupa model usulan perbaikan sistem kerja UKM industri garmen dengan menggunakan *software* Jack.
- Penelitian tidak akan menyentuh pengaruh dari penerapan usulan perbaikan sistem kerja, baik terhadap pengurangan risiko cedera dan kecelakaan kerja, maupun keuntungan dari sisi biaya pada UKM industri garmen.
- Optimasi hanya dilakukan di *virtual environment*, bukan di dunia nyata.

### 1.6 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan dari penelitian, maka keseluruhan kegiatan penelitian dirancang untuk mengikuti diagram alir seperti tampak pada **Gambar 1.2.** Secara umum metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan topik penelitian.
2. Menentukan perumusan masalah.
3. Mengidentifikasi kebutuhan obyektif dari penelitian.
4. Melakukan studi literatur yang berkaitan dengan kebutuhan penelitian.

5. Melakukan observasi langsung ke PT. X untuk melihat kondisi riil sistem kerja yang ada di sana, sekaligus untuk mengetahui permasalahan risiko ergonomi yang terdapat dalam sistem kerja yang dijalankan.
6. Mengidentifikasi variabel dan data penelitian yang akan diambil berdasarkan hasil observasi.
7. Merancang sistem pengambilan data di lapangan.
8. Melakukan pengambilan data antropometri pekerja divisi *finishing* PT. X.
9. Melakukan pengambilan data mengenai sistem kerja yang ada di divisi *finishing*, dengan menggunakan ilmu ergonomi sebagai pendekatan utamanya. Data-data utama yang diambil selama penelitian adalah metode kerja untuk tiap stasiun kerja, video dari rangkaian kegiatan kerja, tata letak dari tiap stasiun kerja, spesifikasi ukuran tiap mesin, dan data antropometri para pekerja. Selain itu, dilakukan wawancara dengan pihak *Human Resource* dan beberapa pekerja untuk mengetahui secara langsung mengenai kondisi kerja dan masalah ergonomi yang ada di divisi *finishing*.
10. Menentukan konfigurasi yang akan dibuat dalam simulasi Jack berdasarkan atas hasil observasi lapangan.
11. Memasukkan data-data ergonomi yang didapat ke dalam *software* Jack dan kemudian mensimulasikannya.
12. Menganalisis hasil simulasi yang dikeluarkan *software* Jack. Analisis yang dilakukan menggunakan metode PEI untuk mengukur nilai ergonomi dari tiap konfigurasi yang akan dirancang.
13. Menentukan model konfigurasi optimal pada tiap stasiun kerja yang ada pada divisi *Finishing* UKM industri garmen. Penentuan dilakukan berdasarkan perbandingan nilai PEI dari tiap konfigurasi yang dibuat.
14. Menarik kesimpulan dari keseluruhan proses penelitian yang telah didapat.



**Gambar 1.2.** Diagram Alir Metodologi Penelitian “Analisis Ergonomi Sistem Kerja Divisi *Finishing* UKM Industri Garmen dengan Pendekatan *Posture Evaluation Index* dalam *Virtual Environment*”

## 1.7 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan ini dilakukan dengan mengikuti aturan sistematika penulisan yang baku sehingga memudahkan dalam proses penyusunannya. Laporan ini terdiri dari 5 bab dengan rincian sebagai berikut:

Bab 1 adalah bab pendahuluan. Bab ini berisikan tentang latar belakang, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 adalah bab tinjauan pustaka. Bab ini berisikan penjelasan mengenai teori-teori ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *virtual environment*, *software Jack TM*, metode *Static Strength Prediction*, metode *Low Back Analysis*, metode *Ovako Working Posture Analysis*, metode *Rapid Upper Limb Assessment*, dan metode *posture evaluation index (PEI)* dan *work cell evaluation index (WEI)*.

Bab 3 adalah bab metode penelitian. Data-data yang dikumpulkan terdiri dari profil lengkap PT X, metode kerja untuk tiap stasiun kerja, video dari rangkaian kegiatan kerja, tata letak dari tiap stasiun kerja, spesifikasi ukuran tiap mesin, dan data antropometri dari para pekerja. Bab ini juga membahas mengenai stasiun kerja dan variabel yang diteliti. Daftar konfigurasi kegiatan kerja yang akan disimulasikan pada *software Jack* juga disajikan pada bab 3. Kemudian, salah satu dari konfigurasi tersebut akan dijelaskan alur pembuatan modelnya secara lengkap pada bagian akhir Bab 3. Setelah model selesai dibuat, nilai PEI dari model tersebut dihitung untuk mendapatkan gambaran kualitas ergonomi dari konfigurasi tersebut.

Bab 4 adalah bab pembahasan. Pada bab ini, keempat belas buah model konfigurasi dianalisis. Kemudian, variabel yang diteliti akan dianalisis pengaruhnya terhadap nilai PEI. Pada bagian akhir bab ini, konfigurasi-konfigurasi yang paling optimal ditetapkan. Berdasarkan analisis tersebut, maka kesimpulan akhir dapat ditarik dan saran-saran dapat diberikan. Kesimpulan dan saran tersebut kemudian dipaparkan pada Bab 5.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 adalah bab dasar teori. Bab ini berisikan penjelasan mengenai teori-teori ergonomi, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *virtual environment*, *software Jack TM*, metode *Static Strength Prediction*, metode *Low Back Analysis*, metode *Ovako Working Posture Analysis*, metode *Rapid Upper Limb Assessment*, dan metode *posture evaluation index* (PEI) dan *work cell evaluation index* (WEI).

#### 2.1 Ergonomi

##### 2.1.1 Pendahuluan Mengenai Ergonomi

Kata “ergonomi” berasal dari dua buah kata dalam bahasa Yunani, yaitu “*ergon*” yang berarti kerja dan “*nomos*” yang berarti hukum. Ergonomi adalah suatu kajian terhadap interaksi antara manusia dengan mesin yang digunakannya, beserta faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi tersebut. Tujuan dari kajian ergonomi adalah untuk meningkatkan performa dari sistem dengan meningkatkan kualitas hubungan antara manusia dengan mesin yang digunakan. Hal ini bisa dilakukan dengan “mendesain ke dalam” sebuah antar muka (*interface*) yang lebih baik atau dengan “mendesain ke luar” faktor-faktor yang ada di lingkungan (*environment*), kegiatan kerja (*task*), atau organisasi (*organization*)<sup>10</sup>. Implementasi ilmu ergonomi dalam desain sistem seharusnya membuat suatu sistem bekerja lebih baik dengan mengeliminasi aspek-aspek yang tidak diinginkan, tidak terkontrol, dan tidak terukur, seperti:

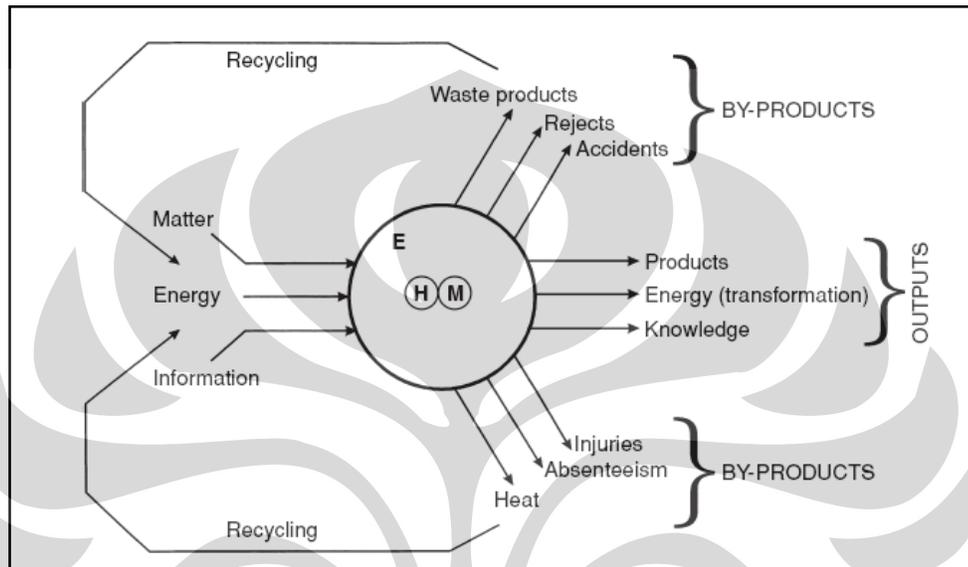
- Ketidakefisienan,
- Insiden, cedera, dan kesalahan,
- Kesulitan dalam penggunaan, dan
- Moral yang rendah dan apatisme.

“Bekerja lebih baik” dapat diartikan mendapatkan tingkat *output* yang lebih tinggi dengan tingkat *input* yang lebih sedikit (produktivitas meningkat) atau peningkatan reliabilitas dan efisiensi (menurunnya peluang terjadinya interaksi yang tidak diperlukan diantara komponen dalam sistem).

---

<sup>10</sup> Bridger, R.S., (2003). *Introduction to Ergonomics* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Taylor & Francis, p.1.

Fokus kajian dari ilmu ergonomi adalah interaksi antara manusia dengan mesin yang digunakan dan antar muka diantara keduanya (**gambar 2.1**). Ketika manusia berinteraksi dengan mesin, manusia tersebut berinteraksi melalui sebuah antar muka. Umpan balik (*feedback*) yang didapat juga diterima melalui antar muka.



**Gambar 2.1.** Sistem Kerja Sederhana. Manusia berinteraksi dengan mesin untuk mengubah input menjadi output. (E=*local environment*, H=*human*, M=*machine*).  
Sumber: Bridger, 2003

Ilmu ergonomi mempelajari beberapa hal yang meliputi:

- Lingkungan kerja, meliputi kebersihan, tata letak, suhu, pencahayaan, sirkulasi udara, desain peralatan, dan lainnya.
- Persyaratan fisik dan psikologis (mental) pekerja untuk melakukan sebuah pekerjaan: pendidikan, postur badan, pengalaman kerja, umur dan lainnya
- Bahan-bahan atau peralatan kerja yang berisiko menimbulkan kecelakaan kerja: pisau, palu, barang pecah belah, zat kimia dan lainnya.
- Interaksi antara pekerja dengan peralatan kerja: kenyamanan kerja, kesehatan dan keselamatan kerja, kesesuaian ukuran alat kerja dengan pekerja, standar operasional prosedur dan lainnya. Sasaran dari ilmu ergonomi adalah meningkatkan prestasi kerja yang tinggi dalam kondisi aman, sehat, nyaman dan tenteram.

### 2.1.2 Sejarah Singkat Ergonomi

*Scientific management*, yang dikembangkan Frederick W. Taylor dan *work study*, yang dikembangkan oleh pasangan suami istri Gilbreth, adalah dua ilmu yang menjadi cikal bakal munculnya ilmu ergonomi. Keduanya berkembang pada awal abad ke-20 dan kemudian menjadi dasar bagi peningkatan produktivitas dengan melakukan desain ulang terhadap metode kerja yang ada.

F.W. Taylor menemukan suatu cara untuk merancang sebuah metode yang optimal dalam menjalankan suatu rangkaian pekerjaan. Taylor menganggap bahwa setiap elemen kerja, betapapun kecilnya, sangatlah berharga untuk dikaji dan kemudian dilakukan perbaikan di dalamnya. Lebih jauh lagi, Taylor berpendapat bahwa adalah tanggung jawab pihak manajemen untuk mengatur agar upaya perbaikan di atas dapat dilakukan, sehingga nantinya keuntungan dari perusahaan dapat ditingkatkan.

*Work study* dikembangkan oleh Frank B. Gilbreth dan istrinya dalam kurun waktu yang tidak jauh berbeda dengan masa F.W. Taylor. Suami istri Gilbreth mengembangkan sebuah metode untuk menganalisis dan mengevaluasi cara pengerjaan dari sebuah kegiatan kerja. Kegiatan kerja tersebut dibagi menjadi elemen-elemen penyusunnya: gerakan-gerakan dasar dan prosedur yang dibutuhkan dalam pengerjaan. Kemudian, gerakan-gerakan yang tidak efektif dan tidak efisien dihilangkan. Dengan melakukan desain ulang terhadap elemen yang tersisa, maka produktivitas kerja dapat ditingkatkan.

Usaha untuk melakukan "*fit the man to the job*" (FMJ- menyesuaikan manusia dengan pekerjaan) merupakan dasar dari ide bahwa produktivitas atau efisiensi bisa ditingkatkan dengan memilih pekerja dengan kemampuan yang sesuai untuk suatu pekerjaan. Pendekatan ini didasari asumsi bahwa kemampuan khusus benar-benar dibutuhkan bagi suatu pekerjaan dan kemampuan tersebut dapat diidentifikasi dan diukur secara objektif.

Sebuah pendekatan alternatif, yang merupakan prinsip dasar dari ergonomi, adalah "*fit the job to the man*" (FJM- menyesuaikan pekerjaan dengan manusia). Kebanyakan dari hasil rekayasa manusia dan desain tempat kerja pada tahap awal berusaha untuk menciptakan desain kerja yang sesuai dengan karakteristik pekerja. Asumsi mendasar pada pendekatan FJM adalah bahwa

sebuah set karakteristik pekerja dapat diukur dan dispesifikasi, kemudian sebuah kegiatan kerja dapat dirancang berdasarkan set karakteristik tersebut dan ini dapat dilakukan untuk setiap kegiatan.

Pada 1857, Jastrzebowski memproduksi sebuah risalah “*An Outline of Ergonomics or the Science of Work*”, tetapi risalah tersebut baru dikenal di luar Polandia di era sekarang. Di Inggris, lapangan kajian dari ergonomi dibuka pasca Perang Dunia ke-2. Istilah “ergonomi” diperkenalkan ulang oleh Murrell pada tahun 1949, tetapi banyak orang yang bingung membedakannya dengan “ekonomi”. Murrell membuat penekanan pada desain peralatan dan tempat kerja. Menurutnya, subjek yang relevan dengan upaya proses desain tersebut adalah anatomi, fisiologi, kedokteran industri, desain, arsitektur, dan rekayasa iluminasi. Di eropa, ilmu ergonomi lebih banyak berada di wilayah biologi. Di Amerika Serikat (AS), sebuah disiplin ilmu yang mirip ergonomi juga muncul (dikenal dengan nama *Human Factor*) tetapi ilmu ini lebih banyak berada dalam wilayah psikologi.

*Human factor* dan ergonomi memiliki banyak kesamaan, tetapi perkembangan keduanya berada pada jalur berbeda. *Human factor* lebih banyak memberikan penekanan pada integrasi pertimbangan manusia dalam proses desain sistem. Kajian *human factor* mencapai kesuksesan dalam desain sistem di industri *aerospace* (NASA dan program luar angkasa AS). Berbeda dengan *human factor*, ergonomi “gaya” eropa lebih banyak berkembang di sekitar ilmu dasarnya, *work design*. Meski memiliki perbedaan, keduanya sekarang ini lebih sering dianggap sebagai terminologi ilmu yang berdampingan. Sebagai contoh di AS, *Human Factor Society* telah mengganti namanya menjadi *Human Factor and Ergonomics Society*. Keduanya, *human factor* dan *ergonomics*, menggunakan pendekatan FJM dan menyatakan bahwa kegiatan kerja harus benar-benar disesuaikan dengan karakteristik manusia yang menjalankannya.

## 2.2 Antropometri

### 2.2.1 Pendahuluan Mengenai Antropometri

Kata “antropometri” memiliki arti “pengukuran terhadap ukuran tubuh manusia”. Kata ini berasal dari dua buah kata dalam bahasa Yunani, yaitu

“anthropos” (manusia) dan “metron” (ukuran). Data antropometri digunakan dalam kajian ergonomi untuk menspesifikasikan dimensi fisik dari tempat kerja, peralatan, perabotan, dan pakaian. Hal ini untuk memastikan bahwa ketidaksesuaian secara fisik antara dimensi produk dengan dimensi yang berkaitan dengan manusia sebagai pengguna dapat dihindari.<sup>11</sup>

### 2.2.2 Membuat Desain untuk Populasi Pengguna

Langkah pertama dalam pembuatan desain yang berkaitan dengan kajian ergonomi adalah menspesifikasikan populasi dari pengguna dan kemudian membuat desain untuk mengakomodasi selebar mungkin rentang dari karakteristik populasi. Desain yang baik sangat memperhatikan variabilitas dari populasi pengguna. Dalam ergonomi, kata “populasi” digunakan dalam pendekatan statistik dan mengacu pada sekelompok manusia yang memiliki kesamaan karakteristik tertentu (seperti kesamaan profesi kerja, kesamaan letak geografis tempat tinggal, dll.). Untuk kepentingan pembuatan desain, kriteria yang digunakan untuk menentukan kelompok mana yang dapat disebut “populasi” menjadi sangat berguna dan berkaitan langsung dengan masalah-masalah yang nantinya muncul dalam proses perancangan.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya perubahan ukuran tubuh dalam populasi. Banyak hasil kajian yang menunjukkan bahwa kondisi kehidupan yang lebih baik diasosiasikan dengan ukuran tubuh yang lebih tinggi/besar. Sebaliknya, ukuran tubuh yang kecil sering dikaitkan dengan kondisi lingkungan yang lebih buruk, tingkat stres yang tinggi, kemiskinan, dll. Banyak negara telah menyaksikan peningkatan ukuran tubuh penduduknya selama 150 tahun belakangan ini. Hal ini terjadi karena kondisi kehidupan dan kesediaan pangan yang lebih baik di era sekarang: sanitasi yang lebih bersih, imunisasi bagi anak, transportasi dengan proses pengawetan makanan sehingga memungkinkan dilakukannya suplai makanan dengan jangkauan yang lebih luas dan umur makanan yang lebih lama, dan tersedianya produk makanan dan minuman yang di dalamnya terkandung suplemen-suplemen tambahan, pada seperti vitamin D dan kalsium.

---

<sup>11</sup> *Ibid.*, p. 58.

Berdasarkan Konig *et al* pada tahun 1980<sup>12</sup>, pertumbuhan yang terjadi seperti di atas adalah sebuah fenomena yang terjadi di seluruh dunia dan tidak terbatas pada tinggi tubuh orang dewasa. Konig juga mencatat bahwa pertumbuhan tersebut juga tidak terjadi secara seragam. Dari tahun 1830-1930, tinggi rata-rata anak-anak muda naik 0,5 cm pada tiap dekade, sedangkan sejak tahun 1930 hingga sekarang, tinggi rata-rata tersebut naik 5 cm tiap dekadanya<sup>13</sup>.

Penemuan tersebut berimplikasi besar pada pakar ergonomi yang berusaha untuk membuat desain yang mengakomodasi rentang ukuran manusia yang lebih luas. Dengan itu, konsep “Tuan Rata-Rata (*Mr. Average*)” menjadi sangat tidak valid. Selain itu, struktur populasi dan kondisi kehidupan berubah di banyak bagian dunia. Sehingga, data antropometri yang telah dikumpulkan di masa lalu akan sangat mungkin menjadi tidak absah lagi digunakan di masa kini.

Variasi alami dari populasi manusia memiliki implikasi terhadap hampir seluruh rancangan produk yang ada di dunia. Beberapa contoh yang paling nyata adalah produk pakaian, perabot, dan kendaraan. *Pendekatan dari kajian ergonomi adalah untuk memperhatikan dan mempertimbangkan dimensi produk dalam kaitannya dengan manusia, yaitu dari sisi batasan-batasan yang terdapat pada variabilitas ukuran tubuh manusia.* Fakta yang tidak boleh diabaikan oleh perancang ketika membuat desain untuk pasar internasional adalah ukuran dan proporsi tubuh manusia yang bervariasi pada populasi yang berbeda. Ashby pada tahun 1979 mengatakan tentang betapa pentingnya memperhatikan sisi ergonomi dalam desain, seperti berikut<sup>14</sup>:

“Jika sebuah benda didesain agar sesuai dengan 90% dari populasi penduduk Amerika Serikat, maka benda tersebut akan cocok dengan 90% penduduk Jerman, 80% penduduk Perancis, 65% penduduk Italia, 45% penduduk Jepang 25% penduduk Thailand, dan 10% penduduk Vietnam”

Sehingga menjadi sangat tidak praktis dan mahal untuk merancang sebuah produk individu yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan semua pengguna.

---

<sup>12</sup> Konig HL, Kreuger AP, Lang S, Sonning W (1980) *Biologic Effects of Enviromental Electromagnetism*. Springer Verlag.

<sup>13</sup> Bridger, R.S, *Op cit*, p. 59-60.

<sup>14</sup> Ashby, P., (1979). *Ergonomics Handbook 1: Body Size and Strength*. SA Design Institute, Private Bag X191, Pretoria 0001.

Sebagian besar produk dibuat dalam produksi massal dan didesain agar sesuai dalam rentang karakteristik pengguna yang lebih lebar.

### 2.2.3 Survei Antropometri

Antropometri data yang didapat dari populasi militer biasanya telah terdokumentasi dengan baik dan digunakan untuk merancang berbagai macam benda seperti kokpit pesawat hingga pakaian tentara. Tetapi pada umumnya, survei antropometri akan memakan biaya yang tinggi akibat jumlah *sample* yang dianggap mewakili suatu populasi sangatlah besar. Permasalahan yang muncul pada banyak data antropometri, terutama di Amerika Serikat dan Eropa, adalah umur data yang tidak berlaku lama dan lemahnya standarisasi antar survei yang ada. Tidak semua peneliti mengukur dengan variabel antropometri yang sama. *The International Standards Organization* telah melakukan upaya untuk membuat standarisasi dari pengukuran antropometri, yaitu ISO DIS 7250, Technical Committee 159. Variabel antropometri yang terdapat pada ISO tersaji pada **tabel 2.1.** di bawah.

**Tabel 2.1.** Daftar Variabel Antropometri ISO

NO	VARIABLE	METHOD OF MEASUREMENT
1	Body weight	Subject stands on weighing scale
2	Stature	Vertical distance to highest part of head. Subject stands erect, with feet together with heels, buttocks, shoulders, back of head touching a vertical surface
3	Eye height	Vertical distance floor to inner corner of eye. Subject stands as above
4	Shoulder height	Vertical distance from floor to acromium. Subject stands as above
5	Elbow height	Vertical distance from floor to lowest bony point of elbow. Upper arm hangs freely and elbow is flexed 90 degrees
6	Spina iliaca height	Height of anterior superior iliac spine above floor
7	Tibial height	Height of anterior head of tibia above floor
8	Sitting height (erect)	Distance of highest point of head to horizontal sitting surface. Subject sits against a vertical surface, thighs fully supported and lower legs hanging freely
9	Eye height (sitting)	As for standing but in the seated posture above
10	Shoulder height (sitting)	Vertical distance from horizontal sitting surface to acromion
11	Elbow height (sitting)	As for standing, but in the sitting position above.

**Tabel 2.1.** Daftar Variabel Antropometri ISO (lanjutan)

12	Cervical height (sitting)	Vertical distance from seat surface to skin overlying tip of 7th cervical vertebra
13	Shoulder breadth	Distance between the acromions
14	Lower leg length	Vertical distance from floor to lowest part of thigh behind knee (90 degrees of knee flexion)
15	Knee height	Vertical distance from floor to upper surface of thigh (90 degrees of knee flexion)
16	Hand length	Distance from the tip of the middle finger to the most distal point of the styloid process of the radius with the hand outstretched
17	Hand breadth (at metacarpal)	Distance between the radial and ulnar metacarpals
18	Index finger length	Distance from tip of 2nd finger to the proximal skin furrow between the digits
19	Index finger breadth	Distance between the medial and lateral surfaces of the 2nd finger in the region of the joint between the proximal and medial phalanges (first knuckle)
20	Index finger breadth (distal)	As above but medial and distal phalanges
21	Foot length	Maximum distance from the back of the heel to the tip of the longest toe
22	Foot breadth	Maximum distance between the medial and lateral surfaces of the foot
23	Head length	Distance along a straight line from the glabella to the rearmost point of the skull
24	Head breadth	Maximum breadth of the head above the ears
25	Head circumference	Maximum circumference of the head over the glabella the rearmost point of the skull
26	Sagittal arc	The arc from the glabella to the inion (protrusion where the back of the head meets the neck in the mid-sagittal plane)
27	Bitragion arc	Arc from one tragion over the top of the head to the other
28	Face length	Distance between the sellion and the menton with the mouth closed
29	Forward reach	Maximum distance from a wall against which the subject presses the shoulder blades to the grip axis of the hand
30	Forearm–hand length	Distance from the back of the upper arm at the elbow to the grip axis of the hand (90 degrees of elbow flexion)
31	Fist height	Vertical distance from the floor to the grip axis of the hand, with the arms hanging freely
32	Crotch height	Distance from the floor to the distal part of the pubis
33	Hip breadth (standing)	Maximum horizontal distance across the hips
34	Hip breadth (sitting)	As above
35	Elbow to elbow breadth	Maximum distance between the lateral surfaces of the ebows

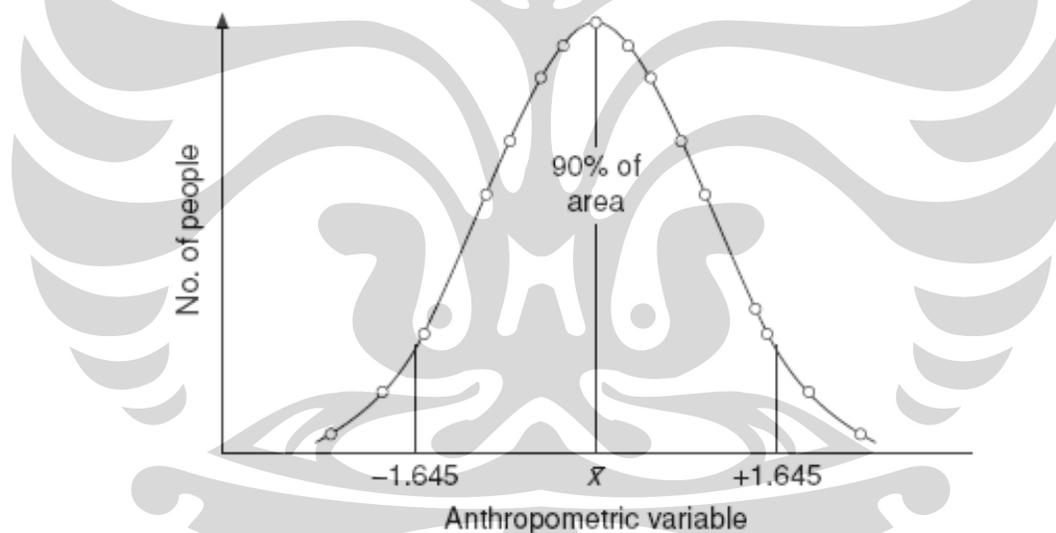
**Tabel 2.1.** Daftar Variabel Antropometri ISO (Sambungan)

36	Waist circumference	Trunk circumference in the region of the umbilicus
37	Body depth (sitting)	Horizontal distance from the rear of the knee to the back of the buttock
38	Buttock-knee length	Horizontal distance from the front of the kneecap to the rearmost part of the buttock
39	Wrist circumference	The circumference of the wrist between the styloid process and the hand, with the hand outstretched

Sumber: Bridger, 2003

#### 2.2.4 Prinsip Antropometri Terapan dalam Kajian Ergonomi

Data variabel antropometri dalam sebuah populasi dengan tingkat kesehatan yang baik biasanya terdistribusi secara normal seperti yang terlihat pada **gambar 2.2.** di bawah.

**Gambar 2.2.** Distribusi Normal pada Variabel Antropometri

Sumber: Bridger, 2003

Untuk keperluan pembuatan desain, dua parameter kunci dari sebuah distribusi normal adalah *mean* (rata-rata) dan standar deviasi. *Mean* adalah jumlah total (*sum*) dari semua pengukuran individu dibagi dengan jumlah *n* pengukuran. *Mean* adalah ukuran dari tendensi sentral. Standar deviasi dihitung menggunakan perbedaan antara tiap pengukuran individu dengan *mean* dan merupakan ukuran

dari derajat dispersi dalam distribusi normal. Sehingga, nilai dari *mean* menentukan posisi dari distribusi normal sepanjang sumbu X. Sedangkan nilai dari standar deviasi menentukan bentuk dari distribusi normal. Standar deviasi dengan nilai yang rendah menunjukkan bahwa sebagian besar data hasil pengukuran berada di dekat nilai rata-rata: distribusi ini memiliki bentuk "bell shape" dengan puncak yang tinggi. Sedangkan standar deviasi dengan nilai yang tinggi menunjukkan bahwa data tersebar jauh dari *mean*: distribusinya memiliki bentuk "bell shape" yang lebih landai.

Distribusi dari ukuran tubuh sebuah populasi menunjukkan batasan statistik dalam desain. Karakteristik penting dari distribusi normal adalah bahwa distribusi ini memiliki persebaran data yang simetris. Seberapa banyak observasi yang berada di bawah rata-rata, sebanyak itu pulalah yang berada di atas *mean*. Fakta sederhana itu terjadi pada banyak variabel. Meskipun demikian, masih banyak terjadi kesalahpahaman, bahkan pada kalangan ahli (*expert*) sekalipun. Sering terdengar pernyataan, "Tinggi anakmu berada di bawah rata-rata tinggi anak seusianya" atau "Beratmu berada di atas rata-rata orang dengan tinggi yang sama denganmu". Keduanya dipersepsikan secara negatif. Padahal tidak ada konotasi negatif atau positif jika mengacu pada data statistik tersebut. Yang ada adalah setengah dari jumlah data tersebar di atas atau di bawah rata-rata. Yang menjadi lebih penting adalah seberapa jauh perbedaan terjadi antara sebuah pengukuran dengan rata-rata populasinya. Jumlah observasi yang nilainya berbeda dengan *mean* akan semakin berkurang dengan meningkatnya jarak perbedaan.

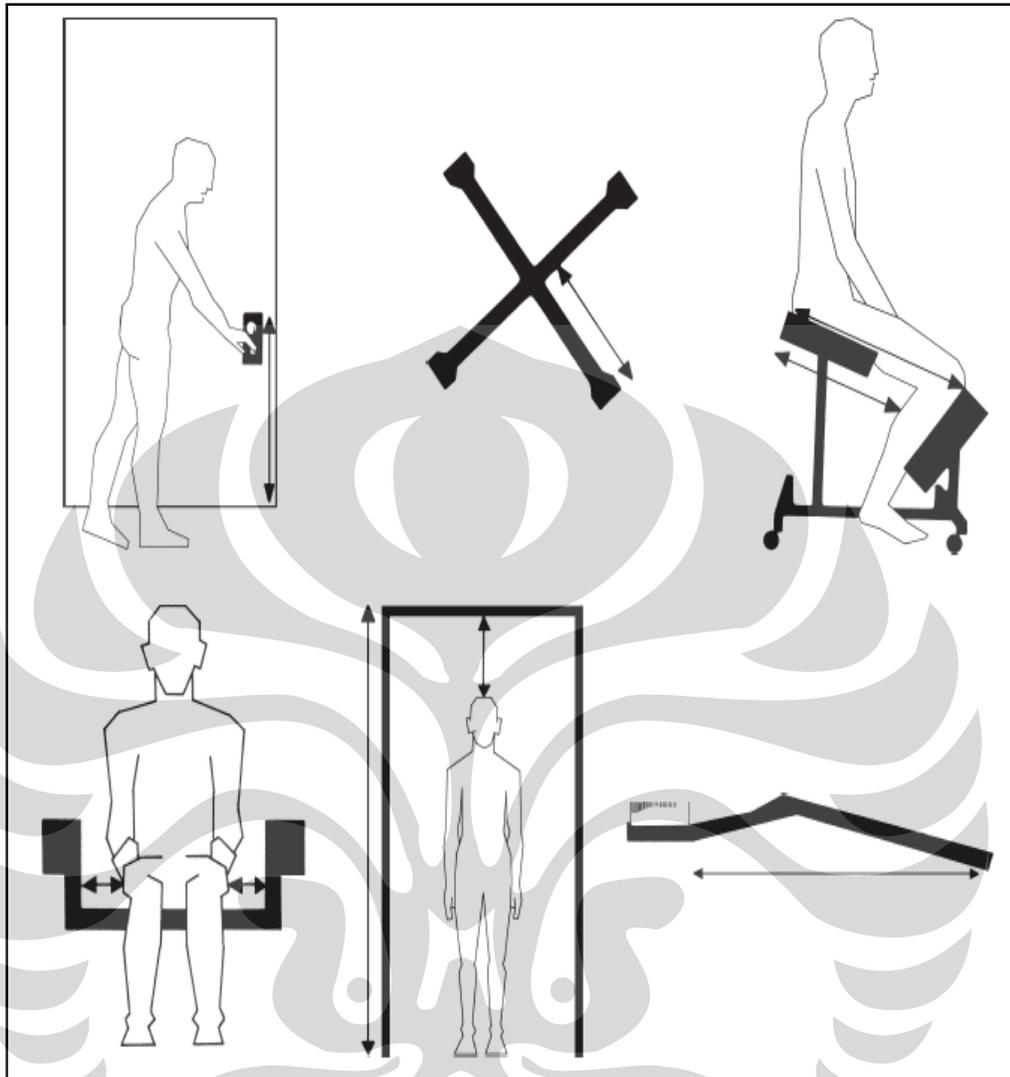
Dengan menggunakan standar deviasi dan *mean*, estimasi dari ukuran tubuh dapat dihitung berdasarkan spesifikasi populasi yang akan dipakai. Sebagai contoh, jika standar deviasi dikalikan dengan konstanta bernilai 1,64 dan dikurangi dengan *mean*, ukuran tubuh yang merupakan kumulatif 5% dari populasi akan didapat. Jika standar deviasi yang dikali 1,64, ditambahkan dengan *mean*, ukuran tubuh yang merupakan kumulatif 95% dari populasi juga didapat. Keduanya dikenal dengan istilah "persentil 5" dan "persentil 95".

Informasi statistik mengenai ukuran tubuh tidak secara langsung dapat diaplikasikan dalam pembuatan desain. Pertama, seorang perancang harus menganalisis bagaimanakah ketidakcocokan antropometri dapat terjadi (antara

manusia dengan produk yang sedang dirancang) dan kemudian memutuskan data antropometri mana yang tepat untuk menghilangkan ketidakcocokan tersebut. Berikutnya, persentil yang berkesesuaian harus dipilih. Dalam banyak aplikasi desain, ketidakcocokan muncul hanya pada salah satu nilai ekstrim dari ukuran tubuh (sebagai contoh, pada orang yang sangat tinggi atau sangat rendah). Solusinya adalah dengan memilih salah satu dari dua hal: membuat desain hanya untuk dimensi minimal atau hanya untuk dimensi maksimal.

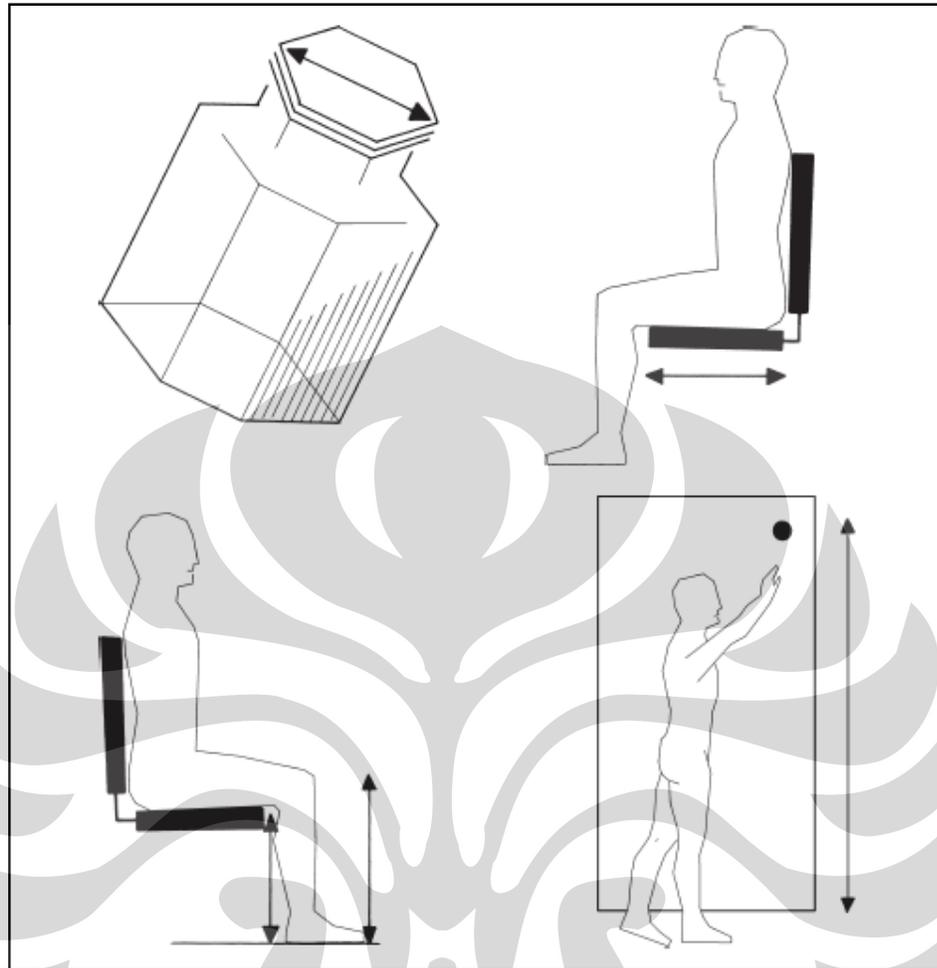
Ketika membuat desain untuk dimensi minimal, maka data antropometri dengan persentil tinggi harus dipilih. Dalam mendesain pintu, sebagai contoh, ruang yang cukup bagi kepala harus disiapkan bagi orang dengan ukuran tubuh yang sangat tinggi dan data yang digunakan adalah data antropometri dengan persentil 95 atau 99. Tinggi pintu tidak boleh lebih rendah dari tinggi manusia pada persentil tersebut dan kelonggaran (*allowance*) untuk tambahan tinggi harus diberikan untuk peningkatan tinggi tubuh; salah satunya dapat disebabkan oleh penggunaan aksesoris tambahan. **Gambar 2.3.** menunjukkan beberapa contoh dari penggunaan dimensi minimal.

Sedangkan dalam membuat desain untuk dimensi maksimal, maka data antropometri dengan persentil rendah harus dipilih. Dalam mendesain sebuah stasiun kerja, sebagai contoh, jangkauan tangan maksimal untuk operator harus dibuat untuk orang dengan jangkauan tangan pekerja yang paling pendek dan data yang digunakan adalah data antropometri dengan persentil 1 atau 5. Tempat dari alat, bahan, atau benda apapun yang akan diambil dengan menggunakan tangan, harus lebih pendek dari jangkauan maksimal pada persentil 1 atau 5. **Gambar 2.4.** menunjukkan beberapa contoh dari penggunaan dimensi maksimal.



**Gambar 2.3.** Beberapa Penggunaan Dimensi Minimal

Sumber: Bridger, 2003



**Gambar 2.4.** Beberapa Penggunaan Dimensi Maksimal

Sumber: Bridger, 2003

### 2.3 Musculoskeletal Disorders

*Musculoskeletal disorders* adalah gangguan yang terjadi pada bagian muskuloskeletal manusia. Gangguan muskuloskeletal bukanlah sebuah diagnosis kesehatan yang merujuk pada suatu penyakit tertentu, melainkan merupakan sekumpulan luka yang mencakup:

- *Back pain (low back strain, etc.)*
- *Muscle strain*
- *Tendonitis*
- *Carpal tunnel syndrome (CTS)*
- *Rotator cuff syndrome*

- *Repetitive Strain Injury (RSI)*
- *Tennis elbow (epicondylitis)*
- *Shoulder pain (shoulder myalgia)*

Gangguan muskuloskeletal tidak boleh diabaikan karena dapat mengganggu fungsi dari sistem muskular dan skeletal<sup>15</sup>. Fungsi dari sistem muskular (baca: otot) adalah sebagai berikut:

- Menghasilkan pergerakan dari tubuh dan bagian-bagiannya.
- Mempertahankan postur normal tubuh manusia.
- Sel otot menghasilkan panas yang digunakan untuk mempertahankan suhu tubuh.

Sedangkan fungsi dari sistem skeletal (baca: tulang) adalah sebagai berikut:

- Alat gerak pasif (membantu otot menggerakkan tubuh).
- Menjaga organ-organ tubuh yang rentan, seperti otak, jantung, paru-paru, dll.
- *Homopoiesis* (beberapa tulang menghasilkan sel darah merah).

Faktor-faktor yang berisiko menyebabkan gangguan muskuloskeletal dibagi menjadi empat kategori, yaitu:

- Tekanan (*force*)
- Postur (*posture*)
- Pengulangan (*repetition*)
- Durasi kerja (*duration of task*)

Kemudian, gejala-gejala yang dapat terlihat ketika seseorang terkena gangguan muskuloskeletal adalah sebagai berikut<sup>16</sup>:

- Otot menegang pada tangan, pergelangan tangan, jari, lengan, atau bahu.
- Tangan dingin.
- Koordinasi tangan berkurang.
- Kesakitan.

<sup>15</sup> Bridger, R.S, *Op cit*, p. 33.

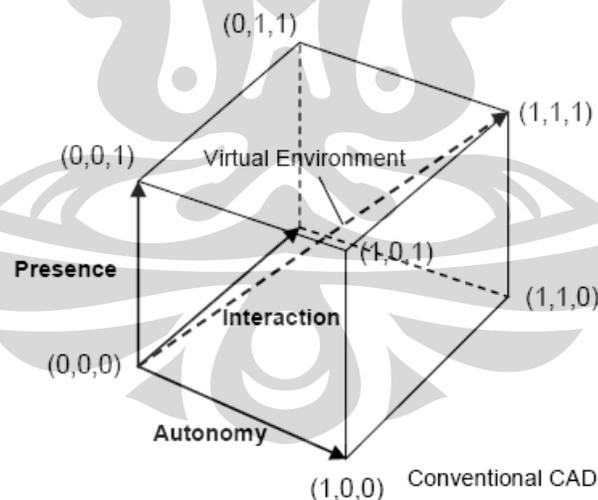
<sup>16</sup> Kartika Sari, I.G.A., (2007). Penilaian dan Usulan Pengurangan Risiko Ergonomi dengan Menggunakan Metode OCRA dan REBA di Bagian Pump Casing Inlow Side Cutting Pompa Air PT Panasonic Manufacturing Indonesia. *Skripsi, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*.

Sedangkan solusi yang dapat dilakukan jika terjadi gejala-gejala di atas adalah sebagai berikut:

- Pastikan stasiun kerja memberikan kenyamanan pada operator.
- Lakukan istirahat berkala sebelum tubuh mulai terasa sakit.
- Sisipkan waktu untuk melakukan peregangan sebelum kerja dan ketika beristirahat.

## 2.4 Virtual Environment

*Virtual environment* (VE) adalah representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer, yaitu suatu representasi yang memungkinkan penggunaannya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis sesuai dengan keadaan lingkungan nyata<sup>17</sup>. Kalawsky juga membicarakan tentang istilah *Virtual Reality* yang pertama kali diperkenalkan Jaron Lanier. Konsep ini merupakan konsep yang sama maknanya dengan *virtual environment*, tetapi lebih dikenal oleh publik. Dalam *virtual reality* terdapat tiga buah komponen; otonomi, keberadaan, dan interaksi yang kesemuanya berada pada nilai maksimalnya dalam kubus Zelter<sup>18</sup>. **Gambar 2.5** di bawah menunjukkan dimensi dari *virtual reality*.



**Gambar 2.5.** Kubus Zelter untuk Konsep *Virtual Reality*

Sumber: Kalawsky, 1993

<sup>17</sup> Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company, p. 396.

<sup>18</sup> Zeltzer, D. (1992). *Autonomy, Interaction and Presence*. *Presence*, 1(1), p.127-132.

Zelzer menyatakan bahwa:

- Otonomi (O) mengacu pada ukuran kualitatif dari kemampuan objek virtual untuk bereaksi terhadap stimulus. Nilai 0 muncul ketika tidak ada reaksi yang timbul dan nilai 1 muncul jika otonomi berada dalam kondisi maksimal.
- Interaksi (I) mengacu pada tingkat aksesibilitas ke parameter atau variabel pada objek. Nilai 0 diberikan pada kontrol variabel yang tidak dilakukan secara langsung. Nilai 1 diberikan jika variabel yang ada bisa dimanipulasi secara langsung (*real time*) ketika program sedang dijalankan.
- Keberadaan (K) mengacu pada tingkat keberadaan dengan sebuah ukuran ketelitian dari sensor *input* dan saluran *output*. Tingkat keberadaan sangatlah bergantung pada kebutuhan dari kerja yang akan dilakukan.

Dalam *virtual reality*, titik (1,1,1) sebagai (O,I,K) dalam kubus Zelter menunjukkan kondisi dimana simulasi dapat benar-benar merepresentasikan dunia nyata sehingga akan sulit dibedakan antara dunia nyata dengan simulasi tersebut<sup>19</sup>. Titik (0,1,0) mengindikasikan bahwa pengguna dapat mengontrol semua variabel dari objek atau model secara *real time* selama program berjalan. Sedangkan, titik (0,1,1) merepresentasikan sebuah situasi dimana terdapat tingkat otonomi dan keberadaan yang tinggi, tetapi dengan tingkat interaksi yang rendah. Di dunia ini, seorang manusia dapat menjadi peneliti pasif dengan kebebasan yang dia miliki dilihat dari sudut pandangnya, tetapi tetap memungkinkan “mencelupkan” dirinya pada lingkungan virtual.

*Virtual environment* memiliki atribut seperti di bawah ini<sup>20</sup>:

- Lingkungan yang dihasilkan/diciptakan oleh computer.
- Lingkungan atau pengalaman partisipan mengenai lingkungan yang berada dalam dunia 3 dimensi.
- Partisipan merasakan sebuah keberadaan pada *virtual environment*.
- Partisipan dapat mengatur variabel-variabel yang ada pada *virtual environment*.

<sup>19</sup> Kalawsky, R. (1993b). *Critical Aspects of Visually Coupled Systems*. In: Earnshaw, R., Gigante, M. and Jones, H. (eds.), *Virtual Reality Systems*. London: Academic Press, p. 302–312.

<sup>20</sup> Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D’Cruz, M.D. & Eastgate, R.M. (1995). *Manufacturing Operations in Virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4, pp. 306–317.

- Perilaku objek pada *virtual environment* bisa disesuaikan dengan perilaku objek tersebut di dunia nyata.
- Partisipan dapat berinteraksi secara *real time* dengan *virtual environment*.

Simulasi dalam lingkungan virtual harus dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*virtual human*) berada pada lokasi yang baru, berinteraksi dengan objek dan lingkungan, serta mendapat respon balik yang tepat dari objek yang mereka manipulasi<sup>21</sup>.

*Virtual human* adalah model biomekanis yang akurat dari sosok manusia. Model ini, sepenuhnya meniru gerakan manusia sehingga memungkinkan bagi para peneliti untuk melakukan simulasi aliran proses kerja, dan melihat bagaimana beban kerja yang diterima model ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu.

Lapangan aplikasi dari *virtual environment* sangatlah luas. Beberapa diantaranya adalah<sup>22</sup>:

- Dalam bidang arsitektur, VE digunakan untuk mengevaluasi desain dari struktur baru.
- Dalam bidang pendidikan dan pelatihan, VE digunakan untuk memperlihatkan pada orang bentuk-bentuk dunia seperti permukaan planet, model molekul, atau bagian dalam dari tubuh hewan. VE juga sudah digunakan untuk keperluan pelatihan pilot dan pengendara.
- Dalam bidang hiburan, VE digunakan oleh studio film, pembuat *video game*, dan perusahaan mainan.
- Dalam bidang kesehatan, VE digunakan dalam perencanaan terapi radiasi dan simulasi bedah untuk keperluan pelatihan.
- Dalam bidang informasi, VE digunakan untuk menyajikan sebuah set data yang rumit dalam bentuk yang mudah dimengerti.
- Dalam bidang ilmu pengetahuan, VE digunakan untuk memodelkan dan mengkaji sebuah fenomena yang rumit di komputer
- Dalam bidang *telepresence*, VE telah digunakan untuk mengembangkan alat kontrol dari robot (*telerobot*).

<sup>21</sup> Wilson, J.R. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics." *Applied Ergonomics* 30.

<sup>22</sup> Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.

Berikut ini adalah contoh penggunaan *virtual environment* yang berhubungan langsung dengan kajian ergonomi yang bernilai positif bagi kesehatan dan keselamatan kerja:

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

## 2.5 Jack<sup>TM</sup>

### 2.5.1 Pendahuluan Mengenai Jack

Jack adalah produk ergonomi dan faktor manusia yang memungkinkan penggunaannya untuk memposisikan model biomekanikal manusia secara akurat dalam *virtual environment*, memberikan model tersebut sebuah set tugas yang akan dikerjakan, dan menganalisis kinerja dari pelaksanaan tugas<sup>23</sup>.

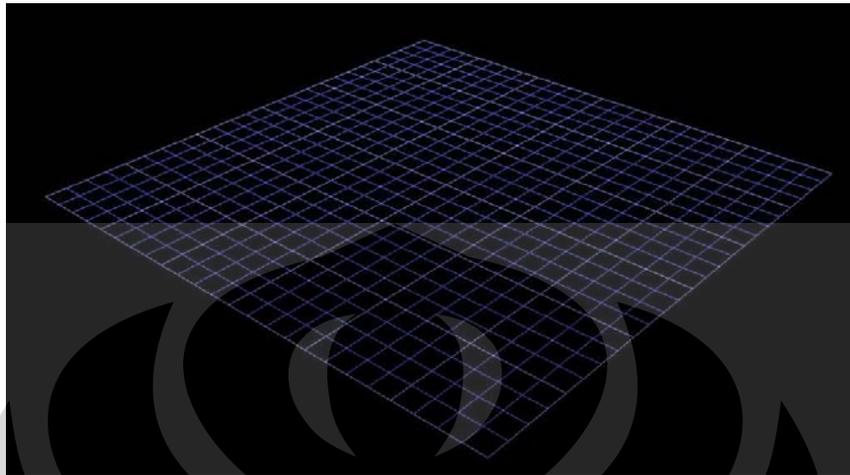
Beberapa kegunaan dari *software* Jack adalah sebagai berikut:

- Membuat dan memvisualisasikan *digital mock-up* dari sebuah desain
- Membuat analisis ergonomi pada desain yang dibuat
- Mempelajari manusia dalam tempat kerja yang disimulasikan
- Mengevaluasi operasi pemeliharaan
- Sebagai alat bantu dalam proses pelatihan

Fokus pengembangan yang dapat dilakukan Jack adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat, yang terdapat dalam sistem apapun. Kemampuan terbaik dari Jack adalah Jack mampu mengisi lingkungan yang dimilikinya dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri yang dapat

<sup>23</sup> Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. In: *Proceed of The 7<sup>th</sup> International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process"* – ATA 2001, Florence.

diatur dan ditentukan sendiri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata. Lingkungan pada *software* ini dapat terlihat pada **gambar 2.6.**



**Gambar 2.6.** Lingkungan pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version 6.0

Model manekin pada Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan. Jack telah memperhatikan keseimbangan tubuh, mampu melakukan kegiatan berjalan, dan dapat diberikan perintah untuk mengangkat suatu benda. Model pada Jack juga memiliki “kekuatan” dan jika telah melebihi batas tertentu, maka Jack dapat memberikan peringatan pada penggunanya. Selain itu, pengguna Jack dapat membuat model pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran tubuh, berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Jack 6.0 menggunakan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 untuk membuat model. Namun, Jack juga menyediakan formulir khusus jika pengguna ingin membuat model manekin berdasarkan data antropometri yang ingin diteliti. **Gambar 2.7.** menunjukkan figur model pria dan wanita pada Jack.



**Gambar 2.7.** Manekin Pria (Jack) dan Wanita (Jill) pada Jack

Sumber: Jack Base Manual Version

Banyak perusahaan telah menggunakan perangkat lunak ini untuk mendapatkan banyak keuntungan, beberapa diantaranya:

- Mempersingkat waktu dari proses desain.
- Biaya pengembangan produk yang lebih rendah.
- Meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkan.
- Meningkatkan produktivitas.
- Meningkatkan keamanan dan keselamatan kerja.
- Secara tidak langsung akan meningkatkan moral dari pekerja.

Secara umum, ada tujuh langkah yang digunakan dalam melakukan simulasi pada Jack, yaitu:

1. Membuat *virtual environment* pada Jack.
2. Membuat *virtual human*.
3. Memposisikan *virtual human* pada *virtual environment* sesuai dengan yang diinginkan.
4. Memberikan *virtual human* sebuah tugas atau kerja, dan
5. Menganalisis kinerja dari tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* dengan TAT.

### 2.5.2 Jack Task Analysis Toolkit

*Task Analysis Toolkit* (TAT) adalah sebuah modul tambahan pada *software* Jack yang dapat memperkaya kemampuan pengguna untuk menganalisis aspek ergonomi dan faktor manusia dalam desain kerja di dunia industri. Dengan TAT, para perancang bisa menempatkan *virtual human* ke dalam berbagai macam lingkungan untuk melihat bagaimana model manusia tersebut menjalankan tugas yang diberikan. TAT dapat menaksir risiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi. Kemudian, TAT dapat memberikan intervensi untuk mengurangi risiko. Modul ini juga dapat menunjukkan batasan maksimal dari kemampuan pekerja ketika melakukan kegiatan mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membengkokkan. Selain itu, TAT juga dapat menunjukkan kegiatan-kegiatan yang tidak produktif dan rentan menjadi penyebab cedera atau kelelahan. Dengan Jack TAT, analisis ergonomi dapat dilakukan lebih awal, yaitu pada fase pembuatan desain, sebelum bahaya dan risiko menjadi semakin sulit untuk diatasi dan menimbulkan biaya yang lebih tinggi.

Jack TAT menyediakan sembilan buah metode analisis ergonomi, seperti tertulis di bawah ini:

- *Low Back Compression Analysis*, yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan yang bekerja pada tulang belakang dalam kualitas postur dan kondisi beban tertentu.
- *Static Strength Prediction*, yang digunakan untuk mengevaluasi jumlah persentase populasi pekerja yang mampu menjalankan pekerjaan yang diberikan berdasarkan postur, tenaga yang dibutuhkan, dan ukuran antropometri.
- *NIOSH Lifting Analysis*, yang digunakan untuk mengevaluasi kegiatan mengangkat benda berdasarkan persamaan NIOSH.
- *Metabolic Energy Expenditure*, yang digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja berdasarkan karakteristik pekerja dan rangkaian kegiatan yang akan dilakukan.
- *Fatigue and Recovery Analysis*, yang digunakan untuk menaksir apakah waktu pemulihan yang diberikan bisa mencegah pekerja mengalami kelelahan.

- *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*, yang digunakan untuk mengecek apakah postur yang digunakan dalam bekerja sudah memberikan kenyamanan.
- *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*, yang digunakan untuk mengevaluasi risiko yang menyebabkan gangguan pada tubuh bagian atas.
- *Manual Material Handling Limits*, yang digunakan untuk mengevaluasi dan merancang kegiatan kerja yang berkaitan dengan proses *material handling*, sehingga tingkat risiko cedera dapat dikurangi, dan
- *Predetermined Time Analysis*, yang digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja berdasarkan sistem *method time measurement (MTM-I)*.

## 2.6 Static Strength Prediction (SSP)

*Static Strength Prediction* adalah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi persentase populasi yang memiliki kemampuan untuk melaksanakan suatu tugas. Analisis ini dibuat berdasarkan kualitas postur, tenaga yang dibutuhkan, dan ukuran antropometri dari populasi. Prinsip dasar yang digunakan SSP adalah<sup>24</sup>:

$$\begin{array}{l} \text{[Each Joint Load Moment]} < \text{[Population Strength Moments]} \\ \text{(Predicted from model)} \quad \quad \quad \text{(Statistically defined norms)} \quad \dots\dots\dots \end{array} \quad (2.1)$$

SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya. Konsep biomekanika diaplikasikan dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit dan bergerak. Pada tubuh manusia pergerakan otot akan membuat tulang cenderung berotasi pada setiap persendiaan yang ada. Besarnya kecenderungan berotasi ini disebut dengan momen rotasi pada suatu sendi. Selama terjadi pergerakan, maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal lainnya. Secara matematis, hal ini dituliskan dalam persamaan:

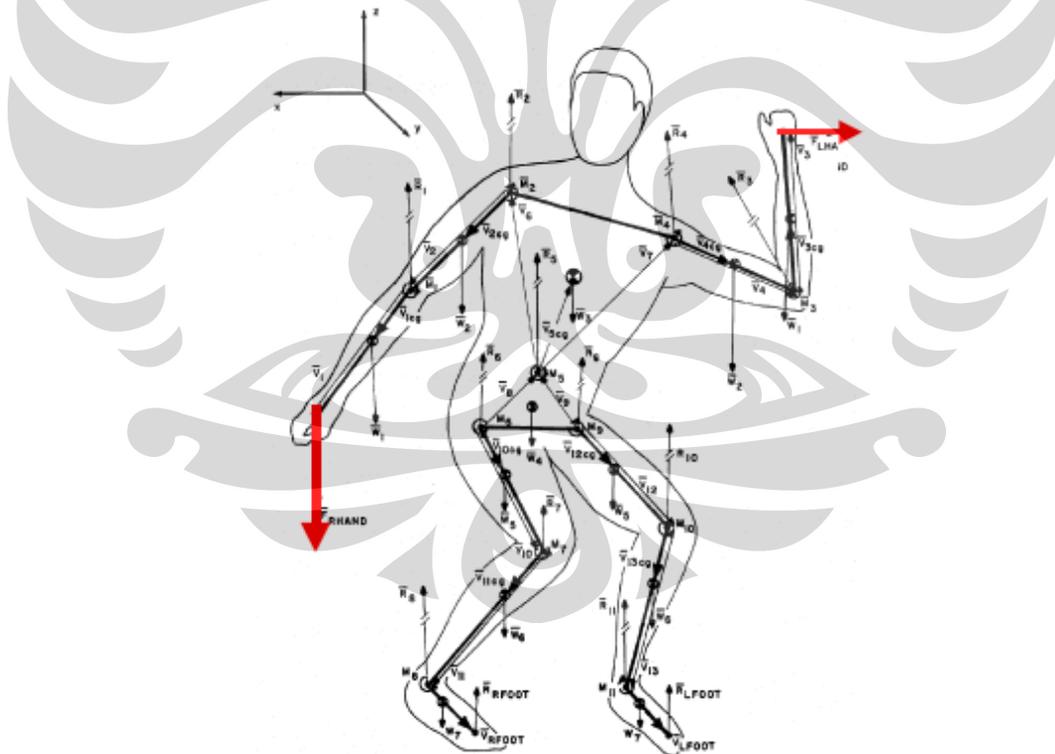
$$M_j = S_j \dots\dots\dots (2.2)$$

<sup>24</sup> Chaffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.

dimana  $M_j$  adalah gaya eksternal pada setiap persendian dan  $S_j$  adalah gaya maksimal yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Nilai dari  $M_j$  dipengaruhi oleh tiga faktor:

- Beban yang dialami tangan (contohnya: beban mengangkat, gaya dorong, dan lain-lain).
- Postur kerja ketika seseorang mengeluarkan usaha terbesarnya.
- Antropometri seseorang

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul, maka data tersebut diolah dengan mekanika Newton. Gaya yang didapatkan tubuh dari luar akan dikalikan dengan jarak antara titik tempat tubuh menerima gaya luar tersebut dengan persendian. Yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. **Gambar 2.8** adalah model biomekanikal manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan sebuah aktivitas.



**Gambar 2.8.** Model Biomekanika untuk Memprediksi  
Beban dan Gaya pada Persendian

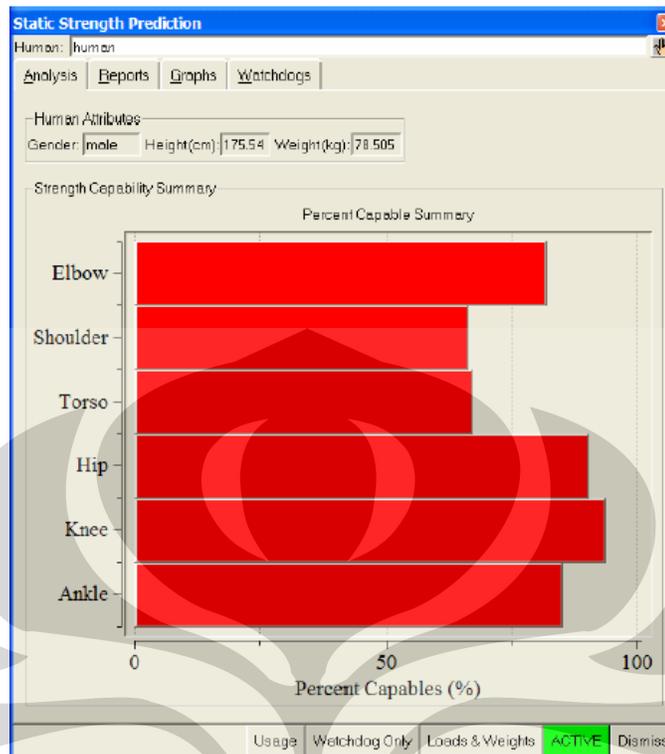
Sumber: Chaffin, Don B., G Lawton, & Louise G. Johnson, 2003

Metode SSP dapat digunakan untuk membantu:

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

Di dalam fase perancangan, sebuah kegiatan kerja (seharusnya) hanya dapat diterima, jika persentase pekerja yang mampu melakukannya mencapai 100%. Dalam praktiknya, hal ini mustahil dilakukan karena banyak kerja yang menghasilkan nilai di bawah 100%. Rancangan kegiatan kerja yang menghasilkan nilai 0% haruslah dieliminasi. Selain itu, kegiatan yang memiliki nilai di bawah batas tertentu sebaiknya juga tidak dilanjutkan ke fase selanjutnya pasca perancangan.

Dengan informasi yang diberikan SSP, seorang perancang dapat mendesain sebuah kerja yang mampu dilaksanakan oleh sebanyak mungkin orang dalam suatu populasi. **Gambar 2.9.** menunjukkan salah satu kotak dialog SSP pada *software* Jack:



**Gambar 2.9.** Kotak Dialog *Static Strength Prediction* pada Jack

Sumber: Jack TAT Manual

## 2.7 Low Back Analysis (LBA)

*Low Back Analysis* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tekanan yang bekerja pada bagian tulang belakang manusia, dalam berbagai macam postur kerja, dan kondisi beban. Secara rinci, LBA menghitung tekanan pada *vertebral disc* L4/L5 dan membandingkan pada batasan tekanan yang ada pada standar NIOSH, yaitu 3400 N.

Secara matematis, standar *lifting* NIOSH dapat dirumuskan sebagai berikut<sup>25</sup>:

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

dimana RWL adalah *recommended weight limit*, LC adalah beban konstan (*load constant*) dan faktor lain adalah seperti yang tertulis di bawah:

- HM, faktor "Horizontal Multiplier",

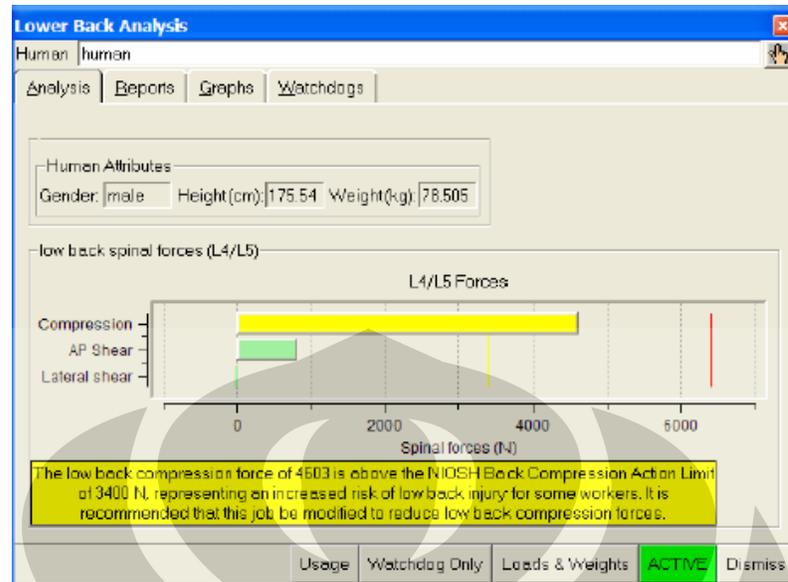
<sup>25</sup> NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110.*

- VM, faktor "Vertical Multiplier",
- DM, faktor "Distance Multiplier",
- FM, faktor "Frequency Multiplier",
- AM, faktor "Asymmetric Multiplier", dan
- CM, faktor "Coupling Multiplier".

Metode LBA dapat digunakan untuk membantu:

- Menentukan apakah kegiatan atau sub-kegiatan yang telah ada atau baru akan diterapkan pada suatu stasiun kerja telah sesuai dengan pedoman yang ada pada standar NIOSH.
- Memberikan informasi terjadinya peningkatan risiko cedera pada bagian tulang belakang manusia.
- Memperbaiki tata letak sebuah stasiun kerja beserta tugas-tugas yang akan dilakukan di dalamnya sehingga risiko cedera pada bagian tulang belakang pekerja dapat dikurangi.
- Memprioritaskan jenis-jenis kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

Selain menyediakan informasi mengenai tekanan pada *vertebral disc* L4/L5, hasil analisis metode LBA juga memberikan informasi mengenai momen reaksi (torsi) sagital, lateral, dan aksial yang terjadi pada *disc* L4/L5. Selain itu, informasi mengenai tingkat aktivitas otot-otot batang tubuh yang digunakan dalam menyeimbangkan momen spinal juga dapat dihasilkan. Sebuah contoh kotak dialog metode LBA pada *software* Jack terlihat pada **gambar 2.10.**



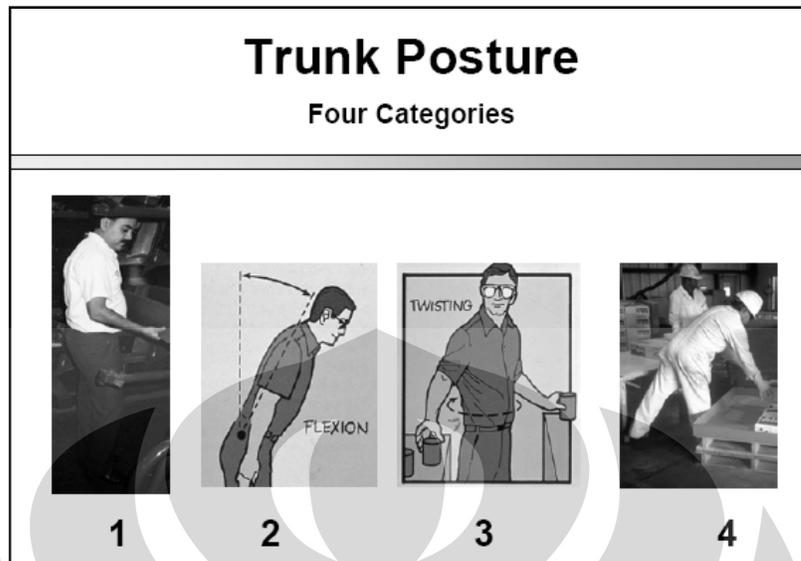
**Gambar 2.10.** Kotak Dialog *Lower Back Analysis* pada Jack

Sumber: Jack TAT Manual

### 2.8 *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*

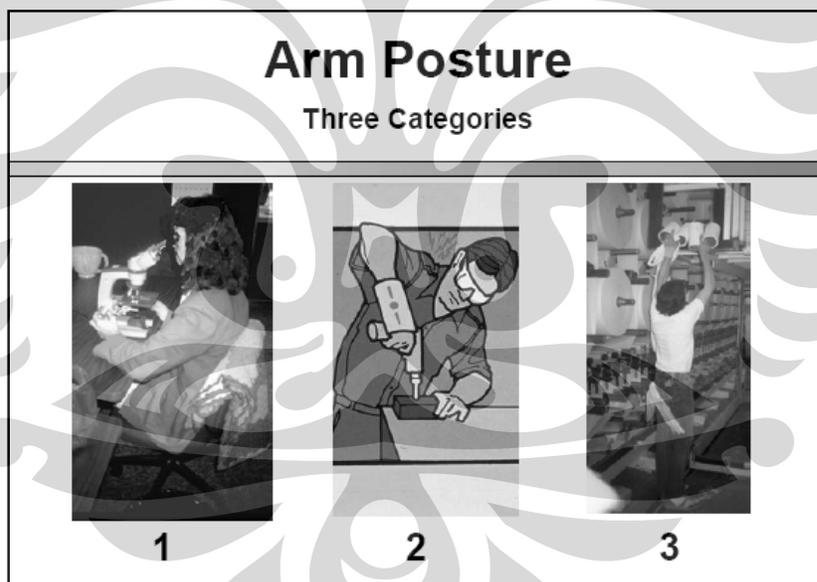
*Ovako Working Posture Analysis* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengecek tingkat kenyamanan pada postur kerja dan kemudian menentukan langkah-langkah koreksi yang dibutuhkan. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Ovako Oy, salah satu perusahaan industri baja di negara Finlandia pada era 1970-an. Analisis OWAS menghasilkan kode 4 digit yang digunakan untuk menilai posisi dari batang tubuh, kedua tangan, tubuh bawah, dan beban yang diterima. Sebagai contoh, jika kode yang dihasilkan analisis OWAS adalah 3241, maka kegiatan kerja yang dianalisis terdiri dari postur batang tubuh kategori 3, postur kedua tangan kategori 2, postur tubuh bawah kategori 4, dan beban kategori 1. Kategori postur pada tiap bagian tubuh dan beban yang diterima terlihat pada **gambar 2.11.** sampai dengan **2.15.**<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> Keyserling, W. M. (2004). OWAS: An Observational Approach to Posture Analysis. The University of Michigan.



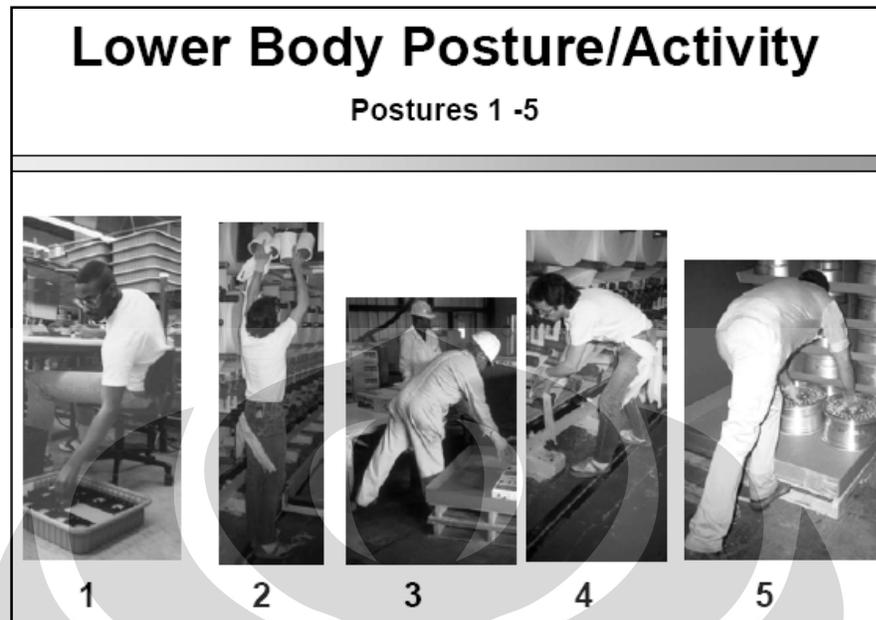
**Gambar 2.11.** Kategori Postur Batang Tubuh

Sumber: Keyserling, 2004



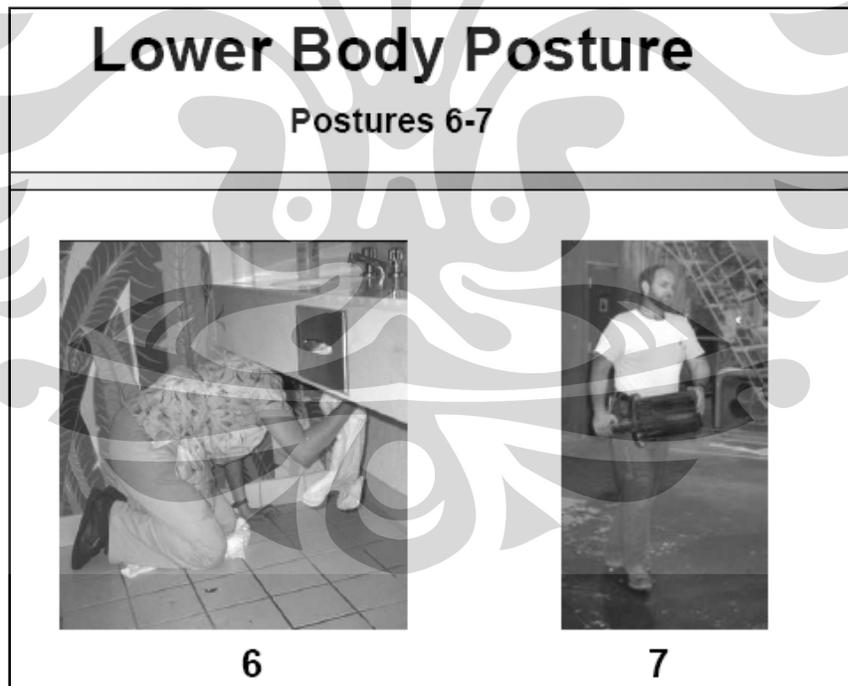
**Gambar 2.12.** Kategori Postur Tangan

Sumber: Keyserling, 2004



**Gambar 2.13.** Kategori Postur Tubuh Bawah Bagian 1

Sumber: Keyserling, 2004



**Gambar 2.14.** Kategori Postur Tubuh Bawah Bagian 2

Sumber: Keyserling, 2004

Load Handle	1	Load < 10kg
	2	10 < Load < 20kg
	3	Load > 20kg

**Gambar 2.15.** Kategori Beban yang Diterima Tubuh

Sumber: Karwowski dan Marras, 2003

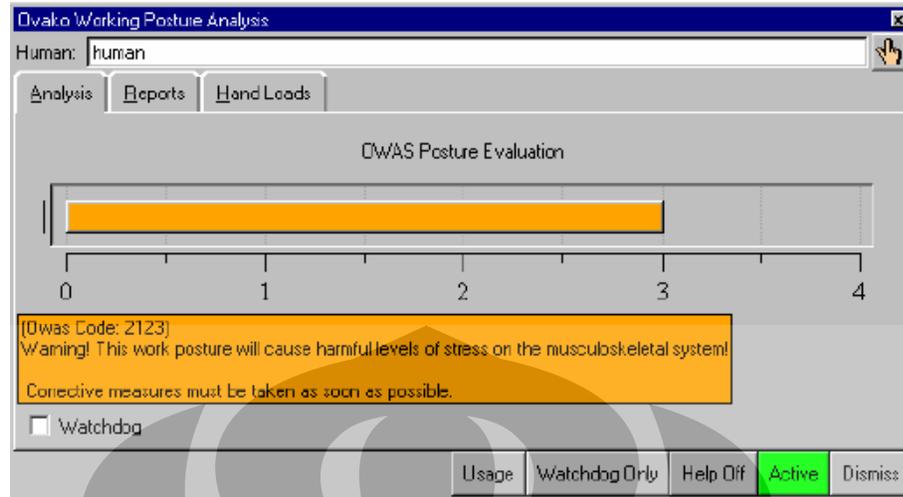
OWAS menggunakan skor *ranking* sebagai bentuk penilaiannya akhirnya. Skor ini menunjukkan tingkat kualitas postur secara kuantitatif dan tingkat kepentingan dari langkah-langkah koreksi yang harus dilakukan. Empat skor yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Level 1: Postur dalam kondisi normal, tidak dibutuhkan langkah koreksi.
2. Level 2: Postur memungkinkan untuk menimbulkan rasa sakit, tidak diperlukan langkah koreksi yang harus segera dilakukan, tetapi langkah koreksi mungkin dibutuhkan di masa yang akan datang.
3. Level 3: Postur memberikan rasa sakit, langkah koreksi harus dilakukan secepat yang dapat dilakukan.
4. Level 4: Postur memberikan rasa sakit yang sangat, langkah koreksi harus dilakukan dengan segera.

Metode OWAS dapat memberikan manfaat bagi penggunanya yaitu:

- Memberikan penilaian terhadap suatu postur kerja dengan cepat sehingga dapat diketahui risiko-risiko cedera yang dapat terjadi.
- Membantu dalam pembuatan desain kegiatan kerja atau perbaikan dari kegiatan yang telah ada sehingga dapat tercipta suatu stasiun kerja yang lebih nyaman.
- Mengidentifikasi dan memprioritaskan postur kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.

OWAS memiliki keterbatasan dalam analisis yang dihasilkannya. Metode ini mengklasifikasikan postur berdasarkan suatu evaluasi terhadap tingkat kenyamanan dan efek kesehatan yang subjektif. Dalam melakukan hal tersebut, OWAS tidaklah memperhatikan ritme kejadian dari postur kerja yang berbeda dan juga dampak dari mempertahankan postur kerja dalam jangka waktu yang lama. Gambar di bawah menunjukkan contoh dialog OWAS pada *software* Jack:



**Gambar 2.16.** Kotak Dialog *Ovako Working Posture Analysis* pada Jack

Sumber: Jack TAT Manual

## 2.9 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

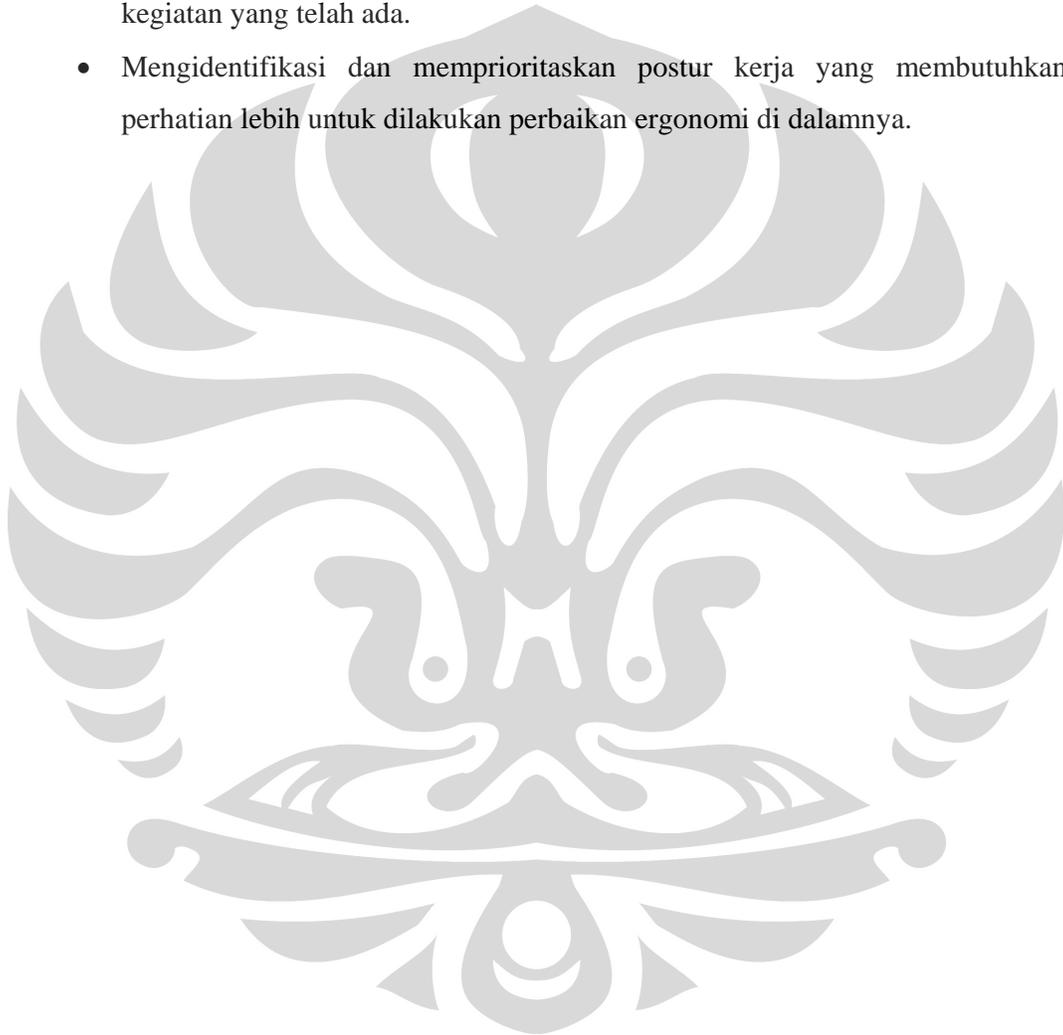
*Rapid Upper Limb Assessment* adalah sebuah alat analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat risiko cedera dan gangguan muskuloskeletal pada tubuh bagian atas. Analisis dibuat berdasarkan kualitas postur, penggunaan otot, berat beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensinya. Metode ini dibuat melalui pengisian lembar kerja, dimana lembar tersebut akan memudahkan penggunaannya untuk menghitung sebuah nilai/skor yang mengindikasikan derajat kepentingan dari tingkat intervensi yang diperlukan untuk mereduksi risiko dan bahaya yang dapat terjadi. Salah satu bentuk lembar kerja dari analisis metode RULA terlihat pada gambar 2.17.. Seperti terlihat pada gambar 2.17. dan 2.18., bagian tubuh yang dianalisis dibagi menjadi dua grup. Grup A terdiri dari bagian tubuh tangan dan pergelangan tangan. Grup B terdiri dari leher, batang tubuh, dan kaki. Skor akhir yang dihasilkan RULA adalah sebagai berikut:

1. 1 atau 2, nilai ini mengindikasikan risiko dapat diterima.
2. 3 atau 4, nilai ini menyatakan bahwa risiko harus diinvestigasi lebih lanjut.
3. 5 atau 6, nilai ini menyatakan bahwa risiko harus diinvestigasi lebih lanjut dan diberikan perbaikan dengan cepat.

4. 7, nilai menyatakan bahwa risiko harus segera diinvestigasi dan diberi perbaikan.

Metode RULA akan membantu penggunanya untuk:

- Memberikan penilaian terhadap suatu kegiatan kerja dengan cepat sehingga risiko cedera pada tubuh bagian atas dapat dikurangi.
- Membantu dalam pembuatan desain kegiatan kerja atau perbaikan dari kegiatan yang telah ada.
- Mengidentifikasi dan memprioritaskan postur kerja yang membutuhkan perhatian lebih untuk dilakukan perbaikan ergonomi di dalamnya.



# RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

### A. Arm & Wrist Analysis

**Step 1: Locate Upper Arm Position**

**Step 1a: Adjust...**  
 If shoulder is raised: +1;  
 If upper arm is abducted: +1;  
 If arm is supported or person is leaning: -1

**Step 2: Locate Lower Arm Position**

**Step 2a: Adjust...**  
 If arm is working across midline of the body: +1;  
 If arm out to side of body: +1

**Step 3: Locate Wrist Position**

**Step 3a: Adjust...**  
 If wrist is bent from the midline: +1

**Step 4: Wrist Twist**  
 If wrist is twisted in mid-range = 1;  
 If twist at or near end of range = 2

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A**  
 Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in Table A

**Step 6: Add Muscle Use Score**  
 If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or:  
 If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

**Step 7: Add Force/load Score**  
 If load less than 2 kg (intermittent): +0;  
 If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;  
 If 2 kg to 10 kg (static or repeated) or:  
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

**Step 8: Find Row in Table C**  
 The completed score from the Arm/wrist analysis is used to find the row on Table C

## SCORES

**Table A**

Upper Arm	Lower Arm	Wrist			
		1	2	3	4
1	1	1	2	3	4
2	1	2	3	4	5
3	1	3	4	5	6
4	1	4	5	6	7
5	1	5	6	7	8
6	1	6	7	8	9
7	1	7	8	9	10
8	1	8	9	10	11
9	1	9	10	11	12

**Table B**

Neck	Trunk Posture Score					
	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	5	6
2	2	3	4	5	6	7
3	3	4	5	6	7	8
4	4	5	6	7	8	9
5	5	6	7	8	9	10
6	6	7	8	9	10	11

**Table C**

1	2						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	6	7
2	2	3	4	5	6	7	8
3	3	4	5	6	7	8	9
4	4	5	6	7	8	9	10
5	5	6	7	8	9	10	11
6	6	7	8	9	10	11	12
7	7	8	9	10	11	12	13
8	8	9	10	11	12	13	14

### B. Neck, Trunk & Leg Analysis

**Step 9: Locate Neck Position**

**Step 9a: Adjust...**  
 If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1

**Step 10: Locate Trunk Position**

**Step 10a: Adjust...**  
 If trunk is twisted: +1; If trunk is side-bending: +1

**Step 11: Legs**  
 If legs & feet supported and balanced: +1;  
 If not: +2

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B**  
 Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B

**Step 13: Add Muscle Use Score**  
 If posture mainly static or:  
 If action 4/minute or more: +1

**Step 14: Add Force/load Score**  
 If load less than 2 kg (intermittent): +0;  
 If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;  
 If 2 kg to 10 kg (static or repeated) or:  
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

**Step 15: Find Column in Table C**  
 The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C

**Final Score**

Subject: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Company: \_\_\_\_\_ Department: \_\_\_\_\_ Scorer: \_\_\_\_\_

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

Gambar 2.17. Contoh Lembar Kerja RULA

Sumber: Hedge, 2000

**Gambar 2.18.** menunjukkan contoh kotak dialog RULA pada *software* Jack.

**Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Human: No\_Name

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.

Usage Dismiss

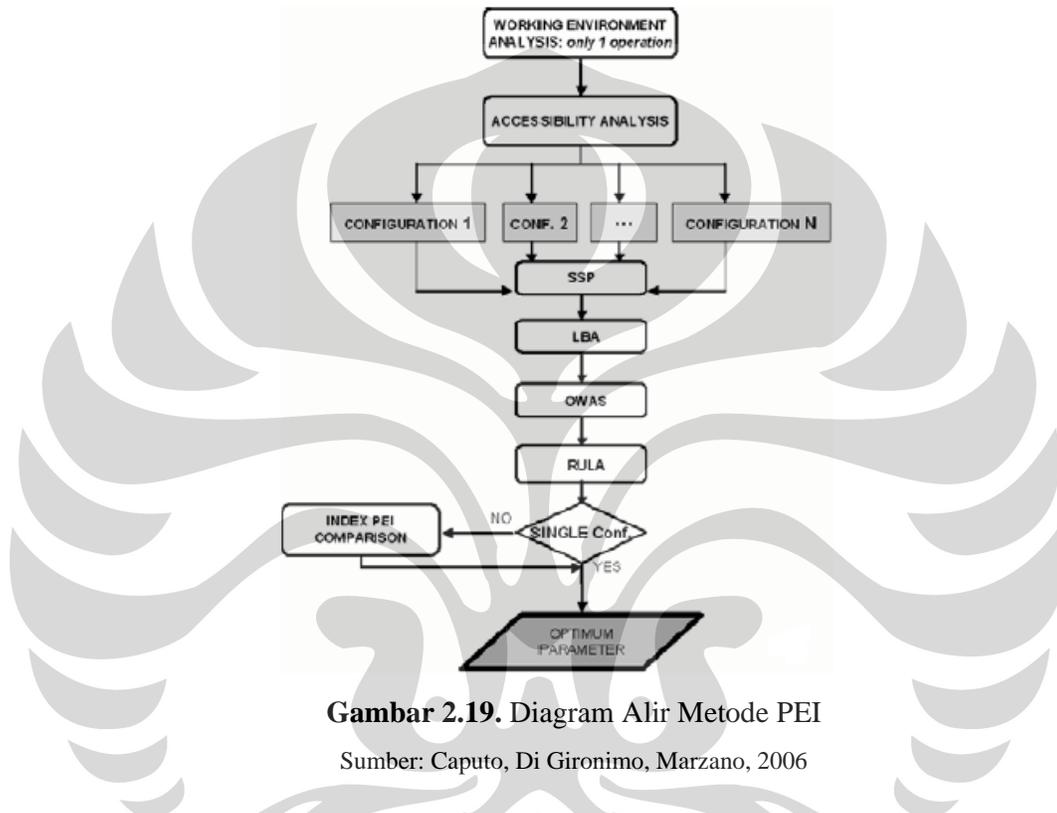
**Gambar 2.18.** Kotak Dialog *Rapid Upper Limb Assessment* pada Jack  
Sumber: Jack TAT Manual

## 2.10 *Posture Evaluation Index (PEI) Dan Work Cell Evaluation Index (WEI)*

Metodologi PEI dan WEI dikembangkan oleh Prof. Frans Caputo dan Giuseppe Di Gironimo, Ph.D dari University of Naples Federico II, Italia. Metodologi ini dikembangkan berdasarkan aplikasi *Task Analysis Toolkit (TAT)* yang terdapat pada *software* Jack. Tujuan dari penggunaan metodologi ini adalah untuk melakukan optimalisasi terhadap fitur geometri pada sebuah stasiun kerja. Dengan optimalisasi yang dilakukan, postur kerja yang paling memberikan

kenyamanan pada pekerja, dalam berbagai macam persentil populasi, dapat ditentukan<sup>27</sup>.

Jika fitur geometri yang menjadi karakter dari sebuah stasiun kerja hanya mempengaruhi sisi ergonomi dari sebuah operasi, maka metode PEI dapat digunakan. Metode ini mengikuti alur yang ada pada gambar di bawah:

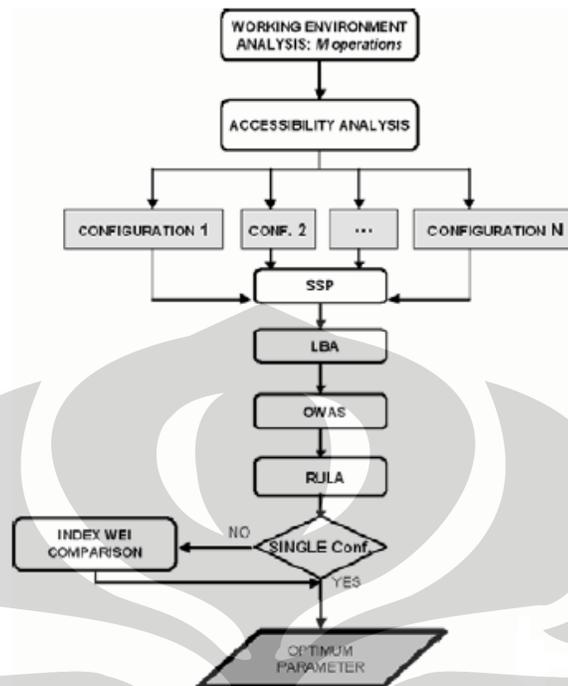


**Gambar 2.19.** Diagram Alir Metode PEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

Dengan metode PEI, optimalisasi dari sebuah operasi pada satu buah stasiun kerja dapat dilakukan. Secara umum, terdapat lebih dari sebuah operasi pada sebuah stasiun kerja. Dalam kasus ini, kombinasi dari fitur geometri tidak bisa mempengaruhi sebuah operasi dengan cara yang sama dan karenanya, metode PEI menjadi tidak relevan untuk diterapkan. Optimalisasi pada sebuah stasiun kerja dengan lebih dari satu operasi dapat dilakukan dengan metode WEI. Gambar di bawah menunjukkan alur pada metode tersebut:

<sup>27</sup> 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*.



**Gambar 2.20.** Diagram Alir Metode WEI

Sumber: Caputo, Di Gironimo, Marzano, 2006

### 2.10.1 Fase Pertama: Analisis terhadap Lingkungan Kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan seluruh pergerakan alternatif yang memungkinkan: hal ini, secara umum, meliputi pemahaman terhadap rute alternatif, postur dan kecepatan eksekusi, yang kesemuanya memberikan kontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil. Sangatlah penting untuk mensimulasikan semua operasi di atas untuk memverifikasi kelayakan dari operasi tersebut. Faktanya, sebagai contoh, tidak menjadi jaminan apakah semua titik yang ditentukan bisa dijangkau oleh postur yang berbeda. Eksekusi dari analisis ini menjamin tingkat kelayakan dari tugas yang ada. Diantara seluruh fase optimalisasi, fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena fase ini membutuhkan pembuatan simulasi secara *real time* dalam jumlah yang banyak, padahal banyak diantaranya yang akan menjadi sia-sia.

### 2.10.2 Fase Kedua: Analisis Keterjangkauan dan Aksesibilitas

Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu membutuhkan kajian pendahuluan terhadap aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Hal ini adalah masalah yang menarik dan sering muncul dalam lini produksi. Masalah ini berkenaan dengan apakah memungkinkan untuk membawa seluruh metode gerakan yang telah dirancang ke dalam sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Sebuah analisis dapat dilakukan dalam Jack, dengan mengaktifkan algoritma mengenai deteksi benturan. Kegiatan kerja yang tidak memberikan hasil yang memuaskan pada fase ini lebih baik tidak dilanjutkan ke fase berikutnya. Dari analisis terhadap lingkungan, keterjangkauan, dan aksesibilitas, konfigurasi dari tata letak maupun metode kerja yang akan dianalisis pada fase berikutnya dapat ditentukan. Jika jumlah konfigurasi yang memungkinkan untuk diteliti terlalu banyak, maka prosedur *Design of Experiment* (DOE) dapat diterapkan.

### 2.10.3 Fase Ketiga: *Static Strength Prediction*

Setelah konfigurasi kegiatan kerja disusun, pertanyaan berikutnya adalah: berapa banyak pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan tiap kegiatan yang ada pada konfigurasi. Seperti yang telah tertuang pada sub-bab 2.6, kegiatan yang memiliki nilai persentase di bawah batas tertentu sebaiknya tidak dilanjutkan ke fase selanjutnya. Batas bawah yang digunakan dalam penelitian ini adalah 90% seperti yang juga dipakai pada penelitian PEI<sup>28</sup>. Sehingga konfigurasi yang memiliki persentase di bawah 90% akan dieliminasi.

### 2.10.4 Fase Keempat: *Low Back Analysis*

Kegiatan kerja yang memiliki persentase SSP lebih dari atau sama dengan 90%, kemudian dianalisis dengan menggunakan metode *low back analysis*. Analisis 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 standar NIOSH yaitu 3400 N.

---

<sup>28</sup> Marzano, A. (Mei 2009). Wawancara personal.

#### 2.10.5 Fase Kelima: *Ovako Working Posture Analysis*

Kegiatan yang telah dianalisis dengan metode LBA, kemudian, dievaluasi dengan menggunakan OWAS. Metode OWAS mengevaluasi secara *real time* tingkat kenyamanan bentuk postur tubuh dari model manekin selama pelaksanaan aktivitas. Kemudian, OWAS memberikan skor level antara 1 s.d 4 dan kode 4 digit yang digunakan untuk menilai posisi dari tubuh bagian belakang, kedua tangan, dan kaki beserta tingkat beban yang diterima. Skor level menunjukkan tingkat kualitas postur secara kuantitatif dan tingkat kepentingan dari langkah-langkah koreksi yang harus dilakukan.

#### 2.10.6 Fase Keenam: *Rapid Upper Limb Assessment*

Dari skenario konfigurasi yang diajukan, prosedur mengeliminasi secara progresif kegiatan kerja pada konfigurasi yang: 1) tidak memungkinkan untuk mengakses titik-titik kritis, 2) tidak mampu dilakukan oleh populasi pekerja yang ada 3) sangat memungkinkan memberikan bahaya dan cedera pada bagian tulang belakang. Pada fase kelima, kualitas dari postur kerja dianalisis. Analisis ini mengacu pada keberadaan risiko terjadinya penyakit dan atau bahaya yang dapat timbul pada tubuh bagian atas. Risiko tersebut diberikan skor antara 1 s.d. 7. Skor tersebut mengindikasikan tingkat bahaya dari risiko beserta langkah korektif yang harus dilakukan.

#### 2.10.7 Fase Ketujuh: Evaluasi PEI

Perbandingan kualitas ergonomi antara satu kegiatan kerja dengan kegiatan lainnya dapat dilakukan pada fase ini. Perbandingan tersebut akan memberikan sebuah klasifikasi risiko yang terjadi pada para bagian muskuloskeletal pekerja, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Yang menjadi acuan dari perbandingan tersebut adalah nilai PEI yang dihasilkan. Nilai PEI tersebut mengintegrasikan hasil dari analisis LBA, OWAS, dan RULA. Konfigurasi dengan nilai tertinggi dinyatakan sebagai konfigurasi yang paling optimal.

Nilai PEI merupakan jumlah total dari tiga buah variabel;  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I_3$ . Variabel  $I_1$  merupakan hasil normalisasi dari nilai LBA dengan batas kekuatan

tekanan pada standar NIOSH (3400 N). Variabel  $I_2$ , dan  $I_3$  merupakan hasil dari indeks OWAS yang dinormalisasi dengan nilai kritisnya (“4”) dan indeks RULA yang dinormalisasi dengan nilai kritisnya (“7”)<sup>29</sup>.

$$PEI = I_1 + I_2 + mr \cdot I_3 \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

$I_1 = LBA/3400$  N,  $I_2 = OWAS/4$ ,  $I_3 = RULA/7$ , dan  $mr$  adalah *amplification factor* dengan nilai 1,42.

Definisi dari PEI dan penggunaan dari ketiga buah metode analisis (LBA, OWAS, RULA) bergantung terhadap hal-hal berikut. Faktor-faktor yang menjadi penyebab utama dari pembebanan yang berlebihan pada biomekanikal adalah: repetisi, frekuensi, postur, usaha kerja, dan waktu pemulihan. Faktor yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kegiatan adalah postur ekstrim, khususnya pada tubuh bagian atas. Konsekuensinya, perhatian yang lebih harus diberikan pada evaluasi tingkat ketidaknyaman pada *lumbar disc* L4/L5 (pengaruh  $I_1$ ) dan evaluasi dari tingkat kelelahan pada tubuh bagian atas (pengaruh  $I_3$ ). PEI memungkinkan penggunaanya untuk menentukan modus operandi untuk menjalankan kegiatan kerja dalam cara yang sederhana. Faktanya, postur optimal yang berkaitan dengan kegiatan dasar adalah postur kritis dengan nilai PEI minimum. Variabel yang mempengaruhi nilai akhir PEI bergantung pada tingkat ketidaknyaman pada postur yang dianalisis: semakin tinggi tingkat ketidaknyaman, semakin tinggi nilai PEInya.

Untuk memastikan tingkat kenyamanan dari kerja, dengan memperhatikan standar keamanan dan keselamatan, sebuah postur yang nilai  $I_1$ -nya lebih dari atau sama dengan 1 akan diasumsikan tidak absah. Berdasarkan hal ini, nilai maksimal yang dapat diterima adalah 3 (kekuatan tekanan yang bekerja pada *lumbar disc* L4/L5 sama dengan batas pada standar NIOSH 3400 N, nilai dari sudut sendi tidak dapat diterima). Dengan mengulangi semua fase di atas untuk tiap

<sup>29</sup> Di Gironimo, G., Monacelia, G., Patalano, S. (2004). A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference - Design 2004*

konfigurasi, maka nilai ergonomi dari tiap konfigurasi dapat ditentukan, dan akhirnya, kegiatan kerja yang paling optimal dalam konfigurasi dapat dipilih.

#### 2.10.8 Fase Kedelapan: Evaluasi WEI

Jika dalam satu stasiun kerja terdapat lebih dari satu buah operasi, maka metode yang digunakan adalah metode WEI (M menunjukkan jumlah operasi).

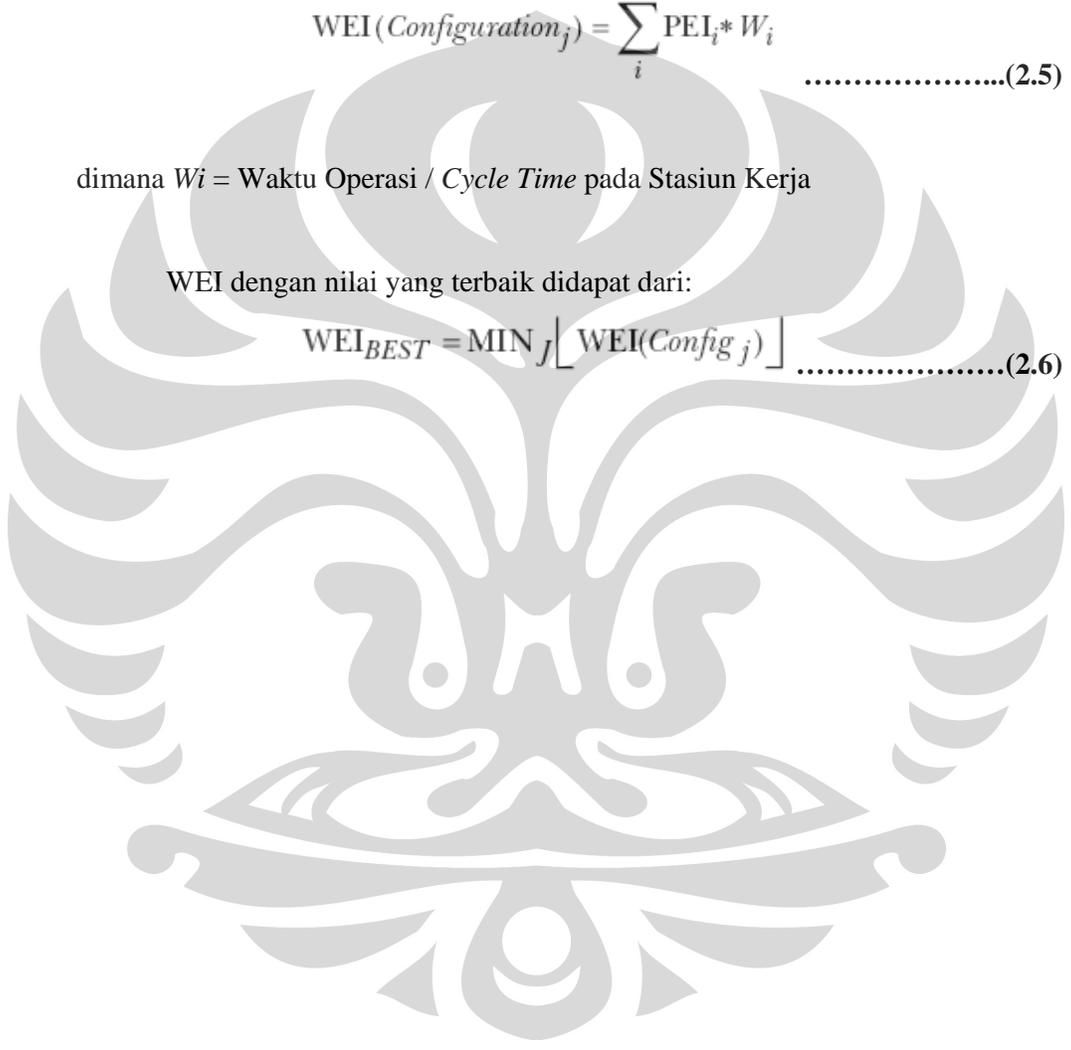
Dengan:

$$WEI( Configuration_j ) = \sum_i PEI_i * W_i \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana  $W_i$  = Waktu Operasi / *Cycle Time* pada Stasiun Kerja

WEI dengan nilai yang terbaik didapat dari:

$$WEI_{BEST} = MIN_J [ WEI( Config j ) ] \dots\dots\dots(2.6)$$



## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Bab 3 adalah bab metode penelitian. Data-data yang dikumpulkan terdiri dari profil lengkap PT X, metode kerja untuk tiap stasiun kerja, video dari rangkaian kegiatan kerja, tata letak dari tiap stasiun kerja, spesifikasi ukuran tiap mesin, dan data antropometri dari para pekerja. Bab ini juga membahas mengenai stasiun kerja dan variabel yang diteliti. Daftar konfigurasi kegiatan kerja yang akan disimulasikan pada *software* Jack juga disajikan pada bab 3. Kemudian, salah satu dari konfigurasi tersebut akan dijelaskan alur pembuatan modelnya secara lengkap pada bagian akhir Bab 3. Setelah model selesai dibuat, nilai PEI dari model tersebut dihitung untuk mendapatkan gambaran kualitas ergonomi dari konfigurasi tersebut.

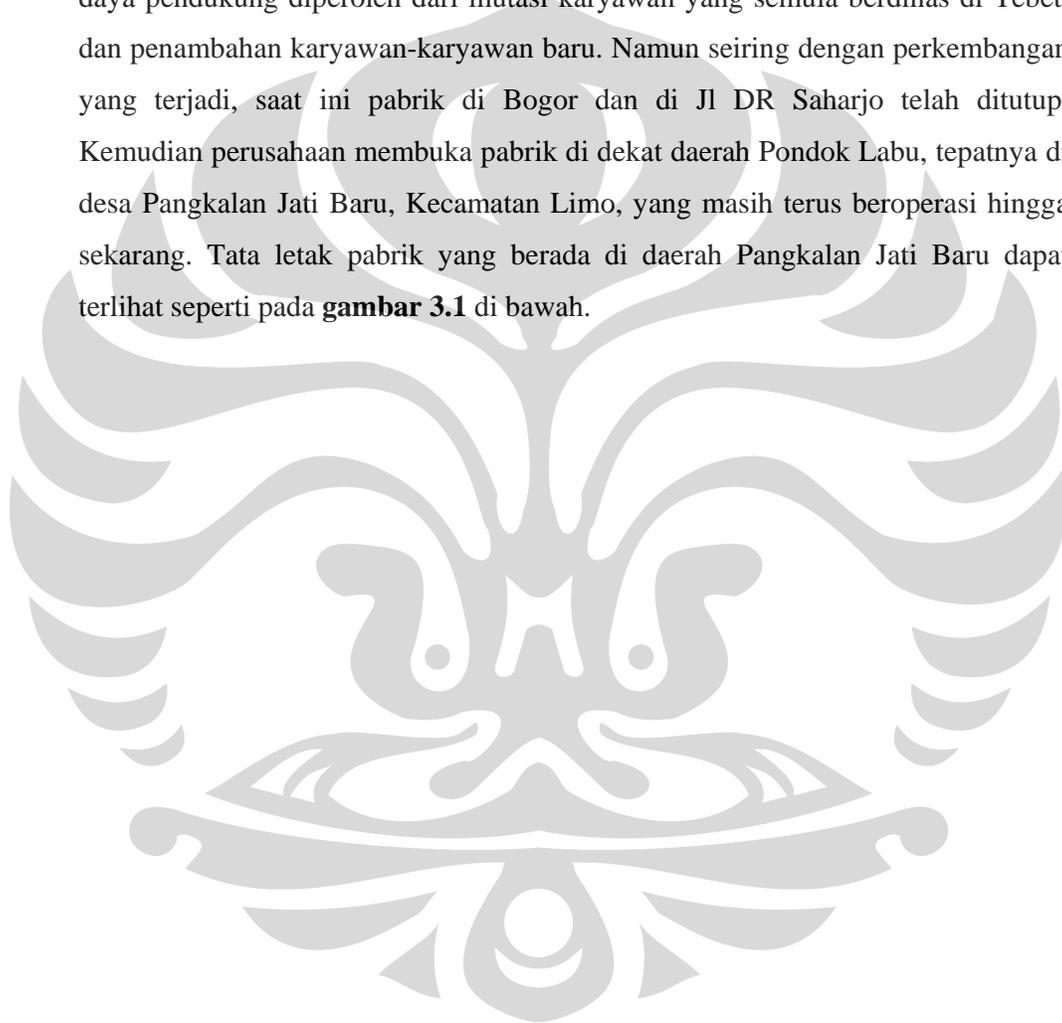
#### **3.1 Gambaran Umum Perusahaan**

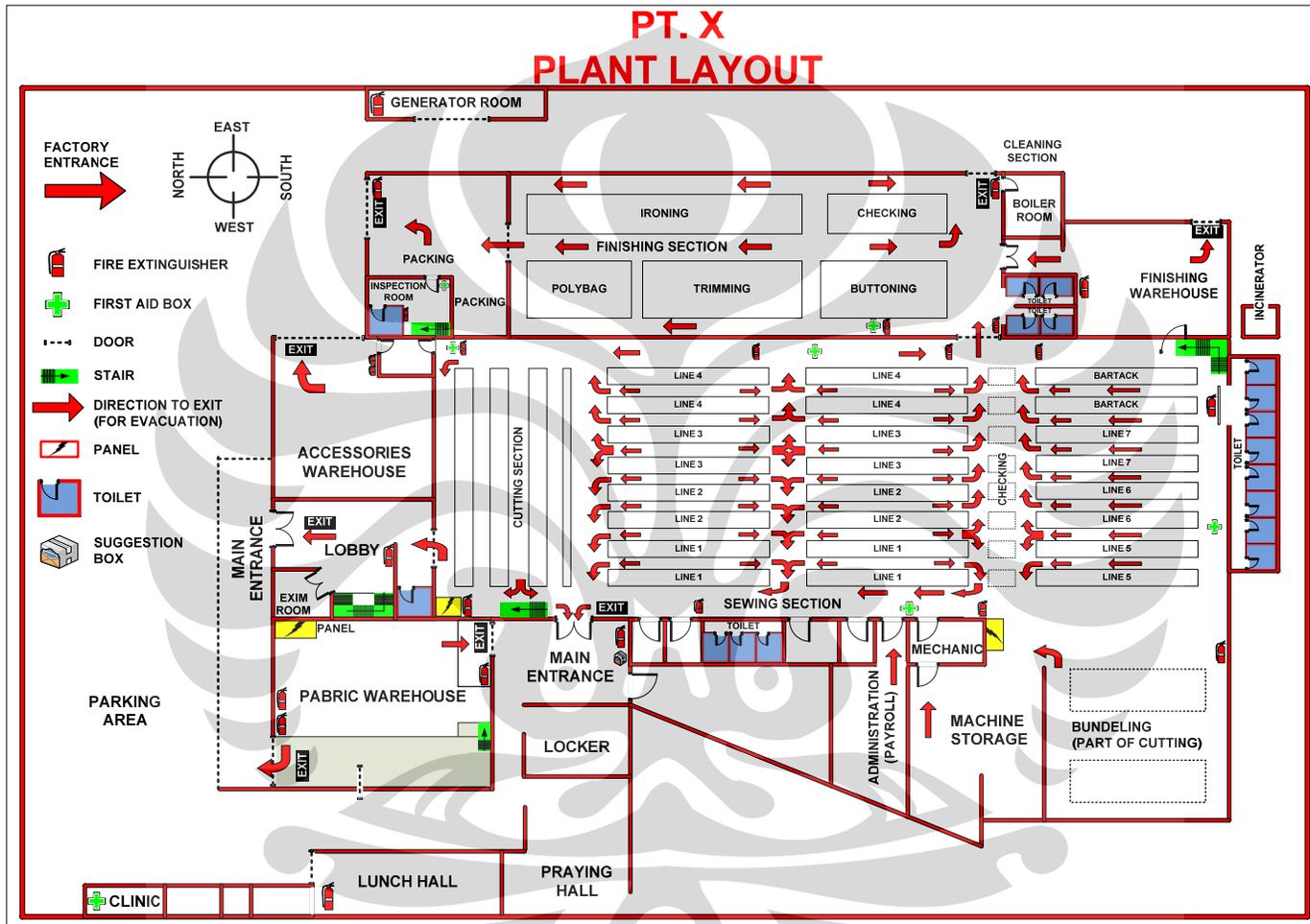
##### **3.1.1 Sejarah dan Profil PT. X**

PT. X berawal dari sebuah '*home industry*' yang berlokasi di Jl. DR Saharjo No. 317 A Tebet, Jakarta Selatan. Perusahaan yang didirikan tahun 1974 ini pada mulanya memakai nama 'Jacolin Fitrab', dan mengkonsentrasikan diri untuk memproduksi pakaian jadi 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 diganti menjadi PT. X.

Pada tahun 1984, PT. X untuk pertama kalinya melakukan ekspor hasil produksinya ke Amerika Serikat, dan sejak saat itu PT. X mengkonsentrasikan diri pada produksi pakaian jadi untuk diekspor dengan model sesuai pesanan memakai label atau merk sesuai dengan yang diinginkan oleh pihak *buyer*. Sejak tahun 1984 perkembangan industri pakaian jadi secara nasional mengalami perkembangan yang menggembirakan 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 Tebet 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 berdinasi 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. Kemudian perusahaan membuka pabrik di dekat daerah Pondok Labu, tepatnya di desa Pangkalan Jati Baru, Kecamatan Limo, yang masih terus beroperasi hingga sekarang. Tata letak pabrik yang berada di daerah Pangkalan Jati Baru dapat terlihat seperti pada **gambar 3.1** di bawah.





Gambar 3.1. Tata Letak Pabrik PT. X

Sumber: PT. X

Walau demikian, kantor pusat pada saat itu, PT. X tetap berada di Tebet. Sekarang ini alamat kantor pusat telah berpindah ke Jl. Prof Soepomo, SH No. 49 A Tebet, Jakarta Selatan.

PT. X memiliki kapasitas produksi 60.000 hingga 72.000 potong kain per bulan dengan menggunakan sekitar 600 buah mesin atau alat. Produk yang dihasilkan oleh PT. X adalah hasil garmen tekstil berupa celana panjang (jins), celana formal, baju, rok, jas hujan, dll. Sedangkan jenis-jenis mesin yang digunakan oleh PT. X, beberapa di antaranya tertuang pada **tabel 3.1.** di bawah ini.

**Tabel 3.1.** Daftar Mesin PT. X

NO.	JENIS MESIN	MERK	JUMLAH (unit)
1	Mesin Jarum 1	PRAFF, BROTHER, TYPICAL, MITSUBISHI, SISTER, JUKI, METRO SPECIAL	270
2	Mesin Jarum 1 Otomatis	BROTHER, JUKI, PRAFF	56
3	Mesin Jarum 2	JUKI, BROTHER	21
4	Mesin Jarum 2 Otomatis	BROTHER	4
5	Mesin Potong Samping	JUKI	7
6	Mesin Obras Benang 5	BROTHER, JUKI, YAMATO	52
7	Mesin Obras Benang 4	PEGASUS	2
8	Mesin Obras Benang 3	JUKI, BROTHER	4
9	Mesin Obras Neci	PEGASUS	1
10	Mesin <i>Snap Button</i>		7

Sumber: PT. X

Dewasa ini PT. X melakukan ekspor pakaian luar pria dan wanita ke berbagai negara. Sebagian besar ekspor dilakukan ke Amerika Serikat. Selain itu, ekspor juga dilakukan ke Kanada dan beberapa negara di Eropa sesuai dengan kuota yang dikeluarkan oleh pemerintah. **Tabel 3.2.** menunjukkan pelanggan utama yang menjadi pasar ekspor PT X:

**Tabel 3.2.** Daftar Pelanggan Utama PT X

NO.	PEMBELI	REGIONAL
1.	LERNER	Amerika Serikat
2.	LIMITED	Amerika Serikat
3.	MEIJER	Amerika Serikat
4.	SWIRE	Amerika Serikat
5.	TOMMY HILFIGER	Amerika Serikat/Eropa
6.	WET SEAL	Amerika Serikat
7.	ROYAL ROBINS	Amerika Serikat
8.	CARTER'S	Amerika Serikat
9.	HOLLISTER	Amerika Serikat
10.	ABERCROMBIE&FITCH	Amerika Serikat
11.	SARA LEE (Champion)	Amerika Serikat
12.	ONEILL	Eropa
13.	ZARA	Eropa
14.	ESPIRITS	Australia
15.	ESPIRITS	Jerman
16.	POLO JEANS	Amerika Serikat
17.	MACHU PICHU	Eropa
18.	NAPAPIJRI	Eropa

Sumber: PT. X

PT X memiliki sekitar 450 karyawan yang tersebar dalam beberapa bagian, dengan latar belakang pekerja yang beraneka ragam. Jenjang pendidikan karyawan bervariasi dari tingkat sekolah dasar hingga perguruan tinggi. Mayoritas karyawan PT. X adalah perempuan dengan persentase mencapai 89,68% dari seluruh karyawan. *Database* karyawan PT. X disajikan pada **tabel 3.3** di bawah.

Tabel 3.3. Database Karyawan PT. X

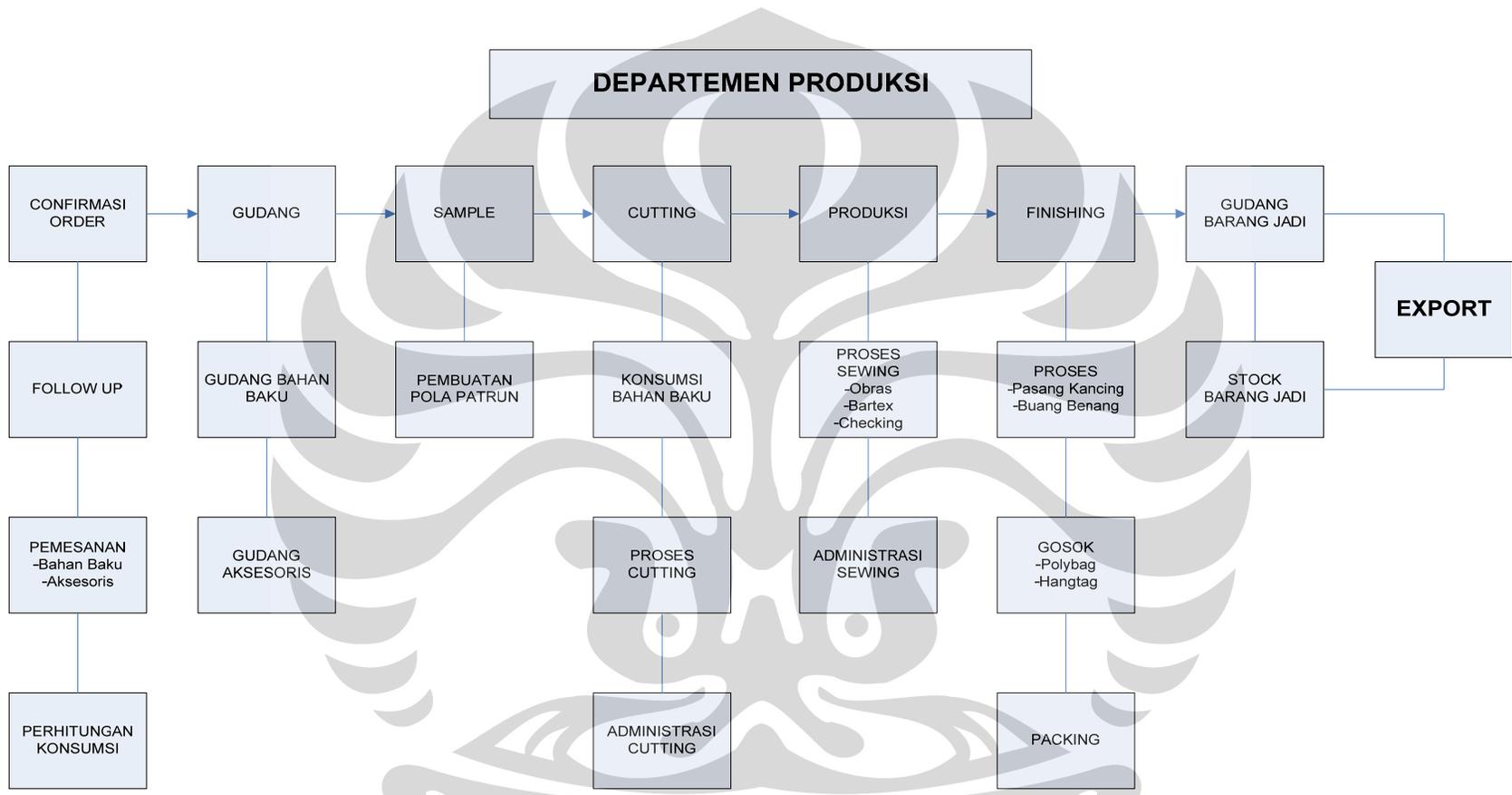
NO.	BAGIAN	JENIS KELAMIN		PENDIDIKAN				AGAMA		STATUS LAMA IKATAN KERJA		STATUS KERJA	
		L	P	SD	SMP	SMA	S1	ISLAM	NON-ISLAM	BULANAN	HARIAN	TETAP	KONTRAK
1	Gudang	2	2		1	2	1	4		2	2	1	3
2	Mekanik	5	1			6		6		5	1	5	1
3	Line 1	1	48	21	17	11		49		2	47	24	25
4	Line 2	1	51	15	25	12		50	2	2	50	20	32
5	Line 3	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	
	<b>Total</b>	<b>49</b>	<b>426</b>	<b>163</b>	<b>152</b>	<b>148</b>	<b>12</b>	<b>458</b>	<b>17</b>	<b>77</b>	<b>398</b>	<b>245</b>	<b>230</b>
	<b>Persentase</b>	<b>10,32%</b>	<b>89,68%</b>	<b>34,32%</b>	<b>32,00%</b>	<b>31,16%</b>	<b>2,53%</b>	<b>96,42%</b>	<b>3,58%</b>	<b>16,21%</b>	<b>83,79%</b>	<b>51,58%</b>	<b>48,42%</b>

Sumber: PT. X

### 3.1.2 Departemen Produksi PT. X

Departemen produksi pada PT. X dikepalai langsung oleh seorang manajer produksi. Tugas dari departemen ini adalah membuat dan menentukan alur proses pengerjaan dari pakaian yang dipesan pelanggan. Pelanggan akan memberikan bahan baku, desain pakaian yang diinginkan, dan contoh produk jadi yang diinginkan. Nantinya, departemen produksi harus mampu menterjemahkannya ke dalam bentuk proses produksi, mesin-mesin yang digunakan, jumlah stasiun kerja yang dipakai, dan estimasi jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan. Jumlah tenaga kerja akan diajukan ke departemen personalia selaku pihak yang mengurus sumber daya manusia di perusahaan. **Gambar 3.2.** menunjukkan alur kerja keseluruhan pada departemen produksi. Departemen ini membawahi lagi beberapa divisi, yaitu :

- Divisi *follow up* yang bertanggung jawab untuk berhubungan langsung 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Divisi kancing yang bertanggung jawab terhadap proses penandaan lubang kancing, pemasangan kancing, pembuatan lubang kancing serta segala aktivitas yang berhubungan dengan pemasangan kancing.
- Divisi *finishing* yang bertanggung jawab terhadap proses produksi tahap akhir.



Gambar 3.2. Departemen Produksi PT. X

Sumber: PT. X

- Divisi gudang yang bertanggung jawab terhadap pengaturan material di gudang dan melakukan pencatatan arus keluar masuk bahan-bahan dari gudang, baik bahan pakaian maupun aksesoris-aksesoris lain yang diperlukan.

### 3.1.2.1 Divisi *Cutting*

Divisi *cutting* dikepalai oleh seorang kepala *cutting* dan wakil kepala *cutting* 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 *dicutting*. 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 lapisan 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 langsung membawahi para operator atau para pekerja. Proses kerja yang dilakukan adalah menjahit tiap-tiap bagian satu per satu hingga menjadi pakaian yang lengkap dan 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. Setelah proses ini 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*).

### 3.1.2.3 Divisi Kancing

Divisi kancing yang 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 yang dilalui oleh pakaian yang dibuat. Terdapat beberapa jenis proses yang ada pada divisi ini yang diterjemahkan dalam bentuk stasiun kerja yaitu:

- Stasiun kerja pencabutan benang

- Stasiun kerja penjahitan ulang
- Stasiun kerja penyedotan debu dan benang
- Stasiun kerja penyetrikaan pakaian, dan,
- Stasiun kerja pelipatan pakaian&pembungkusan (*polybag*).

Selain itu, divisi ini juga mengatur perihal proses pencucian pakaian. Tetapi proses pencucian biasanya dilakukan dengan menggunakan pihak ketiga (*outsourcing*), sesuai dengan permintaan pelanggan. Meskipun secara 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, penyetrikaan pakaian, dan pelipatan pakaian dan pembungkusan.

### **3.2 Penentuan Objek Penelitian**

Untuk menentukan objek penelitian, dilakukan observasi lapangan (termasuk diantaranya melakukan analisis aksesibilitas dan keterjangkauan) ke divisi *finishing* PT. X dan wawancara dengan pihak personalia dan pekerja. Selain untuk penentuan objek penelitian, kegiatan di atas juga dilakukan untuk menemukan adanya indikasi rancangan kerja yang tidak ergonomis pada divisi *finishing*.

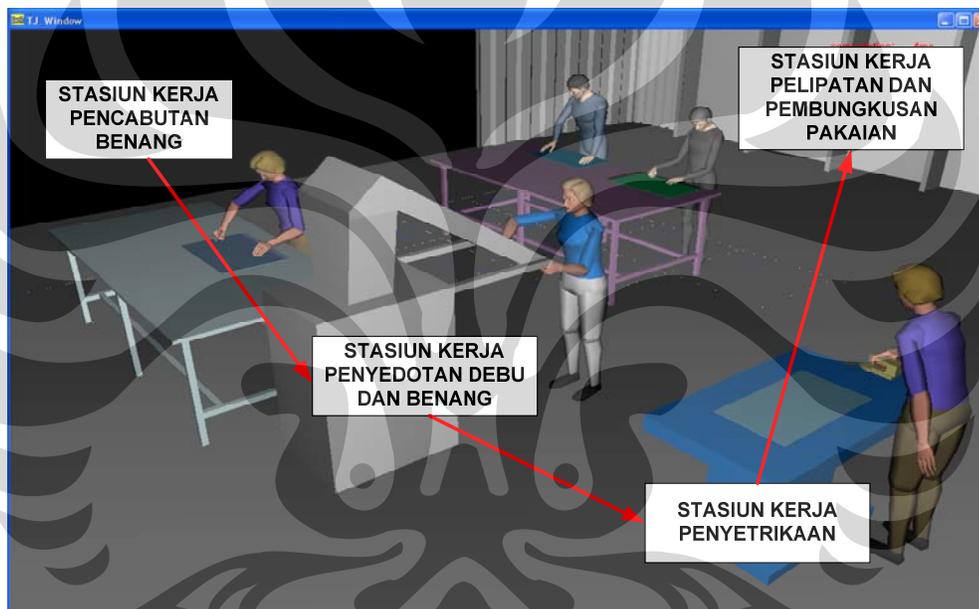
#### **3.2.1 Penentuan Stasiun Kerja**

Setelah melakukan observasi langsung ke divisi *finishing*, ditemukan bahwa alur proses kerja beserta jumlah stasiun kerja yang dipakai dalam pembuatan satu jenis pakaian bergantung dari rancangan proses produksi yang dibuat oleh departemen produksi. Rancangan tersebut bergantung pada jenis pakaian dan jumlah unit yang dipesan oleh pelanggan. Sehingga, proses produksi antara jenis pakaian yang satu akan berbeda dengan jenis pakaian yang lain.

Selain itu, didapatkan empat jenis stasiun kerja yang berjalan selama observasi dilakukan, yaitu stasiun kerja pencabutan benang, penyedotan debu dan benang, penyetrikaan pakaian, dan pelipatan pakaian dan pembungkusan. Meskipun proses produksi untuk jenis pakaian tertentu dapat tidak melibatkan salah satu dari jenis stasiun kerja di atas; secara umum, keempatnya adalah stasiun

kerja yang sering digunakan dalam keseluruhan proses. Ditambah lagi, pada tiga dari empat stasiun kerja kerja, yaitu stasiun kerja pencabutan benang, penyetricaan pakaian, dan pelipatan pakaian dan pembungkusan, ditemukan indikasi ketidaknyamanan dan kegiatan berulang pada pekerja, yang nantinya dapat menyebabkan gangguan muskuloskeletal.

Berdasarkan hal-hal di atas, maka stasiun kerja yang akan diteliti adalah stasiun kerja pencabutan benang, penyedotan debu dan benang, penyetricaan pakaian, dan pelipatan dan pembungkusan pakaian. **Gambar 3.3.** menunjukkan alur pengerjaan keempat stasiun kerja di atas. Tanda panah pada gambar menunjukkan urutan pengerjaan dalam divisi *finishing*.



**Gambar 3.3.** Alur Kerja pada Divisi *Finishing*

Namun, perlu dilakukan tindakan lebih lanjut untuk memastikan apakah objek penelitian yang dipilih sudah tepat. Oleh karena itu, dilakukan wawancara personal dengan pihak pekerja maupun pihak departemen personalia.

Wawancara ke 10 orang pekerja dilakukan dengan menyertakan tiga pertanyaan dasar:

- Apakah Anda pernah mengalami nyeri dan rasa tidak nyaman pada bagian tulang dan otot di punggung (gangguan muskuloskeletal)?
- Apakah hal di atas (pada pertanyaan pertama) sering terjadi?

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

Pertanyaan di atas diajukan untuk mengungkap ada tidaknya masalah ergonomi yang terjadi selama pekerja menjalankan kegiatannya. Hasilnya, seluruh pekerja yang diwawancara mengatakan “Iya” untuk ketiga pertanyaan di atas. Bahkan, banyak pekerja yang menambahkan bahwa hal-hal di atas semakin sering terjadi setelah mereka harus bekerja lembur (*over time*). Dibutuhkan minimal 1 hari istirahat bagi para pekerja, yang mayoritasnya adalah wanita, untuk melakukan pemulihan jika lembur dilakukan.

Hasil wawancara dikonfirmasi ke pihak personalia untuk divalidasi. Pihak personalia membenarkan bahwa banyak pekerja yang sering tidak masuk kerja setelah lembur kerja dilakukan. Tetapi, ternyata para pekerja menggunakan alasan “sakit” sebagai bentuk izin ketidakhadiran, sehingga pihak personalia tidak benar-benar mengetahui apakah pekerja sering mengalami gangguan muskuloskeletal, ketidaknyaman kerja, dan kelelahan.

#### 3.2.1.1 Stasiun Kerja Pencabutan Benang.

Pada stasiun kerja pencabutan benang, pekerja mencabut benang yang tersisa pada setiap pakaian dengan menggunakan gunting. Jumlah stasiun kerja yang digunakan dalam proses ini dapat berubah-ubah, bahkan dalam satu jenis rancangan proses produksi yang sama. Hal ini terjadi karena proses pencabutan benang tidak memerlukan mesin khusus dalam pengerjaannya- hanya memerlukan gunting dan meja. Sehingga, banyaknya stasiun kerja yang berjalan bergantung pada jumlah meja yang dapat digunakan oleh pekerja. Satu meja kerja dapat digunakan oleh dua hingga enam orang pekerja. Selain itu, ditemukan bahwa lamanya proses antar tiap siklus juga sangat bervariasi akibat jumlah benang yang tersisa pada tiap potong kain tidak sama.

Kecenderungan terjadinya ketidaknyamanan, kelelahan, dan risiko gangguan muskuloskeletal akan sangat tinggi untuk terjadi pada stasiun kerja ini. Hal ini terjadi akibat postur tubuh pekerja selama kegiatan terindikasi tidak ergonomis. Kesimpulan ini diambil karena pekerja harus mengerjakan proses kerja selama hampir 3 menit secara berulang kali dalam 8 jam waktu kerja. Proses

ini dapat memakan waktu satu hari kerja penuh karena seluruh tipe pakaian pastilah memiliki sisa-sisa benang setelah mengalami proses penjahitan (*sewing*). Ditambah lagi, pekerja cenderung lebih suka mengerjakan kegiatannya dalam posisi berdiri dengan agak membungkuk, padahal sudah tersedia bangku di depan meja kerjanya. Hal ini mereka lakukan karena mereka merasa lebih luwes (*flexible*) jika mengerjakan tugas dengan berdiri. Posisi kerja tersebut dapat terlihat pada **gambar 3.4**.



**Gambar 3.4.** Posisi Kerja Pencabutan Benang

#### 3.2.1.2 Stasiun Kerja Penyedotan Debu dan Benang

Pada stasiun kerja ini, pekerja menyedot debu dan benang yang masih tersisa pada pakaian. Hal ini terutama dilakukan untuk pakaian yang terbuat dari bahan non-plastik. Mesin yang digunakan adalah mesin sedot debu dan benang dengan merk SUISEI, yang merupakan satu-satunya mesin jenis tersebut yang dimiliki PT. X. Gambar dari mesin tersebut dapat terlihat pada **gambar 3.5** di bawah ini.



**Gambar 3.5.** Mesin Sedot Debu dan Benang

Kecenderungan terjadinya ketidaknyamanan, kelelahan, dan risiko gangguan muskuloskeletal tidak terlalu tinggi pada stasiun kerja ini. Hal ini akibat gerakan kerja yang dilakukan cukup sederhana, postur kerja yang tidak ekstrim (**gambar 3.6.**), dan waktu siklus yang kurang dari satu menit. Tetapi penelitian terhadap stasiun kerja ini tetap perlu dilakukan karena stasiun kerja ini cukup sering digunakan dan merupakan bagian yang tak terpisahkan pada sistem kerja divisi *finishing*.



**Gambar 3.6.** Posisi Kerja Penyedotan Debu dan Benang

### 3.2.1.3 Stasiun Kerja Penyetrikaan

Pada stasiun kerja ini, pekerja menyetrika pakaian di atas satu buah meja kerja. Bahan yang mengalami penyetrikaan adalah bahan non-plastik seperti katun, jins, dll. Untuk beberapa tipe pakaian tertentu, pekerja juga menambahkan kegiatan pelipatan, seperti pada celana jins. Terdapat tiga jenis gosokan pada stasiun kerja ini, yaitu gosokan *steam* gantung (22 buah), gosokan *steam boiler* (16 buah), dan gosokan biasa (5 buah). Selain itu, terdapat pula 21 buah meja kerja yang sudah berada dalam satu paket dengan gosokannya. Bentuk meja kerja dan gosokan yang digunakan dapat dilihat pada **gambar 3.7.**



**Gambar 3.7.** Meja Setrika dan Gosokan

Kecenderungan terjadinya ketidaknyamanan, kelelahan, dan risiko gangguan muskuloskeletal akan cukup tinggi terjadi pada stasiun kerja ini. Hal ini terjadi akibat postur tubuh pekerja selama kegiatan terindikasi tidak ergonomis. Meski waktu siklus selama proses tidak terlalu tinggi (sekitar 1 menit), pekerja harus melakukannya secara berulang-ulang. Jika mayoritas pesanan pada hari tertentu menggunakan bahan yang harus mengalami proses penyetrikaan, maka pekerja dapat bekerja hingga 8 jam kerja dalam sehari. Stasiun kerja ini juga menyimpan bahaya yang lebih dibandingkan stasiun kerja lain, yaitu panas yang dihasilkan pada bagian dasar gosokan. Panas tersebut dihasilkan oleh uap yang dialirkan melalui pipa-pipa di atas stasiun kerja. Jika pekerja tidak berhati-hati dalam proses pengerjaannya, maka risiko mengalami luka bakar akan menjadi sangat tinggi. Sama halnya dengan pekerja pada stasiun kerja pencabutan benang,

pekerja pada stasiun kerja penyeterikaan lebih suka bekerja dalam posisi berdiri sambil agak membungkuk. Padahal sudah disediakan sebuah bangku di depan meja kerjanya. Kebanyakan pekerja mengalihfungsikan bangku yang ada sebagai tempat meletakkan pakaian yang telah selesai disetrika. Posisi kerja beserta bangku yang dialihfungsikan dapat terlihat pada **gambar 3.8.**



**Gambar 3.8.** Posisi Kerja Penyeterikaan dan Bangku yang Dialihfungsikan

#### 3.2.1.4 Stasiun Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian

Pada stasiun kerja ini, pekerja melipat potongan pakaian agar sesuai dengan plastik pembungkus yang telah disediakan. Setelah dilipat, maka pakaian tersebut dimasukkan ke dalam plastik. Untuk beberapa tipe pakaian, contohnya celana jins, pekerja langsung memasukkan potongan bahan jadi ke dalam bungkus karena proses pelipatan telah dilakukan di stasiun kerja penyeterikaan. Sama halnya dengan proses pencabutan benang, jumlah stasiun kerja yang digunakan dapat bervariasi antar satu rancangan produksi dengan yang lainnya. Hal ini terjadi karena proses melipat dan membungkus dapat dilakukan dimana saja. Sehingga jumlah stasiun kerja yang diperlukan bergantung pada jumlah meja kosong yang tersedia. Contoh pakaian sebelum dan sesudah melalui proses dapat terlihat pada **gambar 3.9.**



**Gambar 3.9.** Pakaian Sebelum dan Setelah Proses Pelipatan dan Pembungkusan

Kecenderungan terjadinya ketidaknyamanan, kelelahan, dan risiko gangguan muskuloskeletal akan cukup tinggi terjadi pada stasiun kerja ini. Hal ini terjadi akibat postur tubuh pekerja selama kegiatan terindikasi tidak ergonomis. Pekerja mengerjakan tugasnya dengan posisi membungkuk. Selain itu, pekerja lebih suka mengerjakan dalam posisi berdiri padahal di sekitar meja kerja terdapat beberapa bangku yang tersedia. Tetapi risiko cedera yang dapat dialami pekerja pada stasiun kerja ini lebih kecil dari stasiun kerja pencabutan benang dan penyetricaan. Hal ini terjadi akibat waktu siklus yang tidak terlalu lama (sekitar dua menit untuk pelipatan dan 15 detik untuk pembungkusan) dan tidak adanya risiko bahaya kerja seperti yang terdapat pada proses penyetricaan. Selain itu, dibandingkan dengan stasiun kerja yang lain, pekerja di stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan memiliki waktu pemulihan yang lebih lama. Waktu pemulihan didapat dari waktu tunggu yang terjadi akibat waktu siklus proses sebelumnya (pencabutan benang) lebih lama dari waktu siklus proses pelipatan dan pembungkusan. Posisi kerja pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan, dapat terlihat pada **gambar 3.10**.



**Gambar 3.10.** Posisi Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian

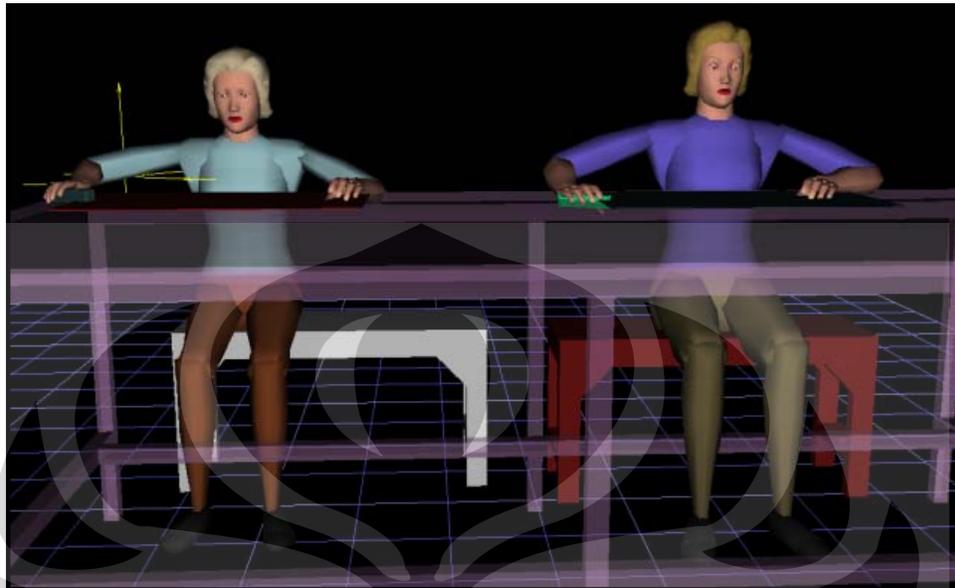
### 3.2.2 Penentuan Variabel yang Diteliti

Setelah observasi di lapangan selesai dilakukan, variabel-variabel yang akan diperhitungkan pengaruhnya terhadap nilai ergonomi dapat ditentukan. Berdasarkan pengamatan, variabel-variabel yang dipilih adalah persentil data antropometri, jenis kelamin, dan posisi kerja.

#### a. Persentil Data Antropometri

Persentil data antropometri yang akan diperhitungkan pengaruhnya adalah persentil 5 dan 95. Kedua titik ini dipilih karena keduanya adalah nilai ekstrim yang biasa diperhatikan dalam perancangan produk dan metode kerja. Dalam aplikasi perancangan, ketidaksesuaian sering terjadi antara dimensi produk dengan data antropometri manusia penggunaannya. Banyak kasus yang menunjukkan bahwa ketidaksesuaian sering terjadi pada kedua titik ekstrim di atas. Dengan pemilihan persentil data antropometri sebagai variabel yang akan diteliti, ingin diketahui apakah rancangan stasiun kerja dan metode kerja yang digunakan pada divisi *finishing* telah sesuai dengan kaidah ergonomi yang ada, baik jika dilihat dari sisi pekerja dengan dimensi tubuh yang maksimal, maupun pekerja dengan dimensi tubuh minimal. **Gambar 3.11.** menunjukkan

perbandingan ukuran antara model manekin persentil 5 (bagian kiri gambar) dengan persentil 95 (bagian kanan gambar).



**Gambar 3.11.** Model Manekin Persentil 5 (kiri) dan Persentil 95 (kanan)

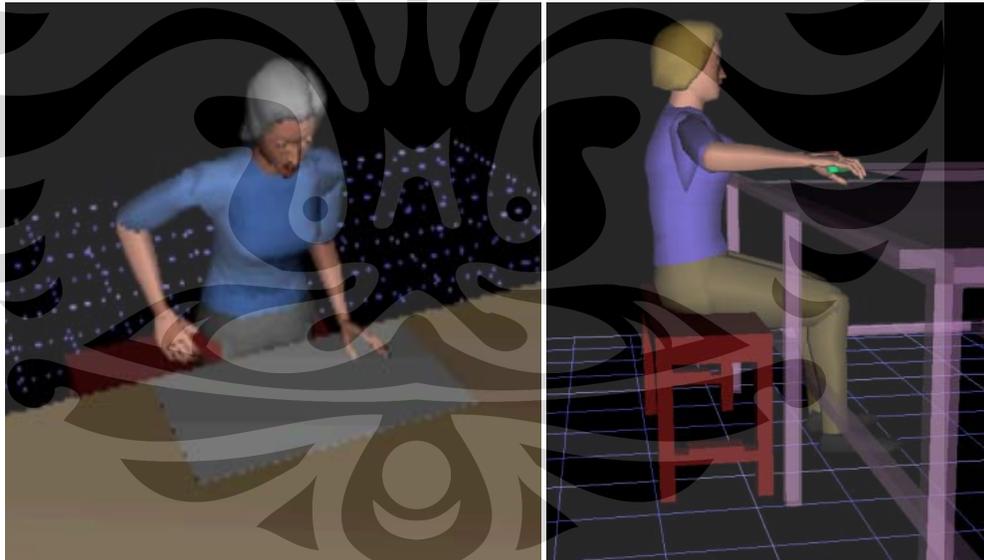
b. Jenis Kelamin

Jenis kelamin yang akan digunakan dalam simulasi hanyalah wanita. Hal ini dilakukan karena jumlah pekerja wanita pada divisi *finishing* mencapai 58 orang atau 93,55% dari seluruh pekerja yang ada. Selain itu, pekerja wanita merupakan mayoritas dari karyawan yang ada di perusahaan. Jumlahnya mencapai 89,68% dari jumlah pekerja secara keseluruhan. Jenis kelamin pria tidak diteliti karena jumlahnya yang tidak signifikan, terutama pada divisi *finishing*. Hanya terdapat empat orang pria yang bekerja pada divisi tersebut. Dengan pemilihan variabel jenis kelamin wanita, dapat diketahui apakah pekerja pada divisi *finishing* sudah bekerja dengan nyaman jika dilihat dari sisi ergonomi.

c. Posisi Kerja

Posisi kerja yang diperhitungkan pengaruhnya terhadap nilai ergonomi adalah posisi kerja berdiri dan duduk. Variabel ini dipilih karena tidak adanya standardisasi dari perusahaan, apakah pekerja harus mengerjakan suatu pekerjaan dalam posisi berdiri ataupun duduk. Terlihat bahwa banyak pekerja yang mengerjakan tugasnya dalam posisi berdiri, padahal di depan meja

kerjanya disediakan bangku untuk duduk. Dengan pemilihan variabel posisi kerja, ingin diketahui nilai ergonomi dari tiap posisi, kemudian membandingkannya satu sama lain. Dengan perbandingan tersebut, kesimpulan mengenai posisi kerja mana yang lebih ergonomis bagi para pekerja dapat diambil. Posisi kerja berdiri akan dianalisis pada empat buah stasiun kerja, yaitu stasiun kerja pencabutan benang, penyedotan debu dan benang, penyetrikaan pakaian, dan pelipatan dan pembungkusan pakaian. Sedangkan untuk posisi kerja duduk, hanya tiga buah stasiun kerja yang nantinya akan dianalisis. Stasiun kerja penyedotan debu dan benang tidak dianalisis posisi duduknya karena tidak ada bangku yang disediakan di dalam stasiun kerjanya. Selain itu, penambahan bangku di depan mesin sedot debu tidaklah akan memberi kemudahan tambahan bagi pekerja. Pekerja akan mengalami kesulitan untuk menjangkau mesin sedot debu karena terdapat bak yang diletakkan tepat di depan mesin tersebut. **Gambar 3.12.** menunjukkan perbandingan antara posisi kerja berdiri dengan duduk.



**Gambar 3.12.** Posisi Kerja Berdiri (kiri) dan Duduk (kanan)

### 3.2.3 Penentuan Konfigurasi

Berdasarkan variabel-variabel yang telah ditetapkan, maka konfigurasi yang akan diteliti dapat ditentukan. Terdapat 14 konfigurasi yang akan dianalisis dengan *software* Jack. **Tabel 3.4.** di bawah menunjukkan karakteristik dari tiap konfigurasi.

**Tabel 3.4.** Karakteristik Konfigurasi yang akan Disimulasikan

NO	NAMA	VARIABEL			
		STASIUN KERJA	JENIS KELAMIN PEKERJA	PERSENTIL DATA ANTROPOMETRI	POSISI KERJA
1	Konfigurasi 1	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 95	Berdiri
2	Konfigurasi 2	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	Persentil 95	Berdiri
3	Konfigurasi 3	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 95	Berdiri
4	Konfigurasi 4	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 95	Berdiri
5	Konfigurasi 5	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 5	Berdiri
6	Konfigurasi 6	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	Persentil 5	Berdiri
7	Konfigurasi 7	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 5	Berdiri
8	Konfigurasi 8	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 5	Berdiri
9	Konfigurasi 9	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 95	Duduk
10	Konfigurasi 10	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 95	Duduk
11	Konfigurasi 11	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 95	Duduk
12	Konfigurasi 12	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 5	Duduk
13	Konfigurasi 13	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 5	Duduk
14	Konfigurasi 14	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 5	Duduk

### 3.3 Data Yang Dikumpulkan

#### 3.3.1 Data Antropometri Pekerja PT. X

Data pertama yang dikumpulkan adalah data antropometri PT. X. Data ini dibutuhkan untuk membuat model manekin yang akan diberikan perintah kerja pada *software* Jack. Dikarenakan keterbatasan yang terdapat di lapangan, hanya 30 orang pekerja yang dapat diukur data antropometrinya. Selain itu, variabel yang dapat diukur hanyalah variabel tinggi dan berat badan. Data tinggi dan berat badan tersebut nantinya dimasukkan ke dalam Jack. Jack akan menyesuaikan data tinggi dan berat badan itu dengan *database* antropometri ANSUR (Army Natick Survey User Requirements) tahun 1988 yang dimiliki Jack. Berdasarkan *database* tersebut, Jack akan memberikan variabel data antropometri lainnya (selain tinggi dan berat badan) yang belum didapatkan. Tinggi dan berat badan pekerja PT. X dapat terlihat pada **tabel 3.5.** di bawah.

**Tabel 3.5.** Hasil Pengukuran Tinggi dan Berat Badan PT. X

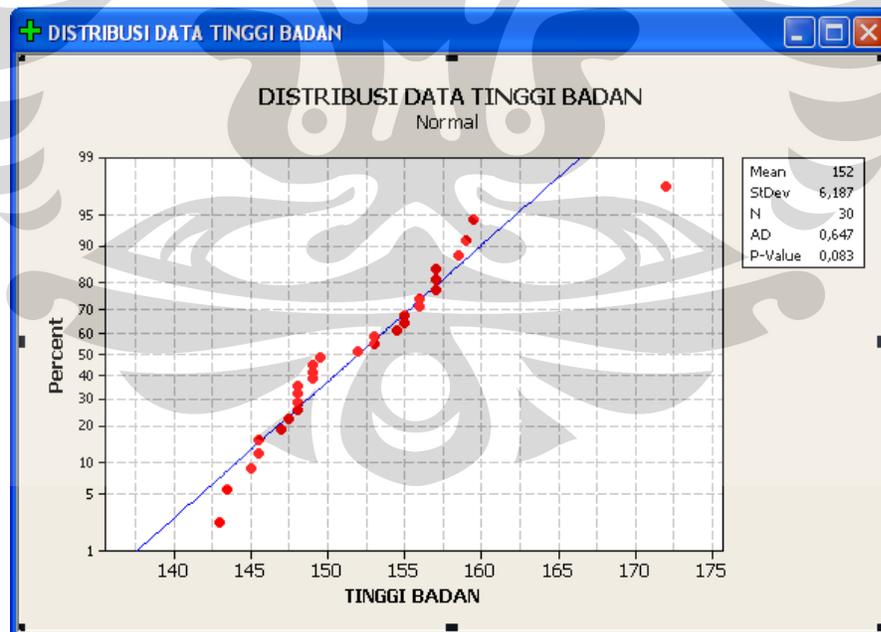
OBSERVASI KE-	TINGGI (cm)	BERAT (kg)
1	145,5	45
2	159	46
3	148	41
4	155	50
5	158,5	83
6	155	55
7	148	52
8	153	47
9	172	52,5
10	157	46
11	149	57
12	152	45
13	156	50
14	148	41
15	147,5	41
16	145,5	67
17	154,5	48
18	157	44
19	149,5	54
20	143,5	42,5
21	153	46

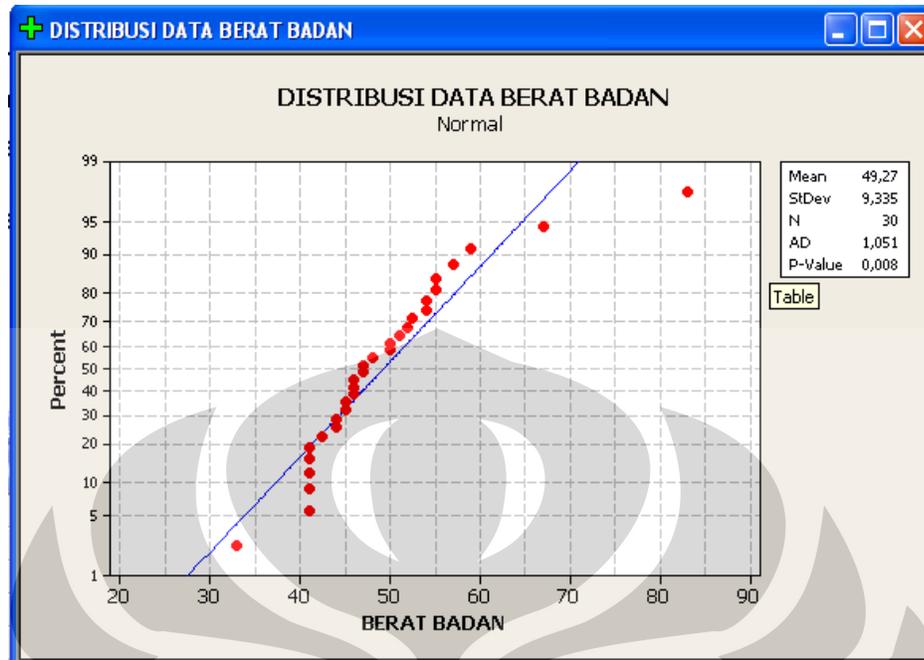
**Tabel 3.5** Hasil Pengukuran Tinggi dan Berat Badan PT. X (lanjutan)

OBSERVASI KE-	TINGGI (cm)	BERAT (kg)
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

Sumber: PT. X

Untuk mengetahui apakah data antropometri yang telah dikumpulkan adalah data antropometri yang baik, maka perlu dilakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data tersebut terdistribusi secara normal atau tidak. Jika hasil uji normalitas menghasilkan *p-value* lebih dari 5%, maka data tersebut terdistribusi secara normal. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 14. Hasilnya tersaji pada **gambar 3.13. dan 3.14.** di bawah.

**Gambar 3.13.** Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan PT. X



**Gambar 3.14.** Hasil Uji Normalitas Data Berat Badan PT. X

Berdasarkan hasil uji normalitas,  $p$ -value dari data tinggi badan adalah 8,3%. Sedangkan  $p$ -value dari data berat badan adalah 0,8%. Dari sini, dapat dilihat bahwa data tinggi badan terdistribusi secara normal, sedangkan data berat badan tidak. Dengan itu, data tinggi badan ditetapkan sebagai data utama yang digunakan untuk membuat model manekin pada *software* Jack. Meskipun data berat badan tidak terdistribusi secara normal, data ini tetap akan digunakan sebagai data pelengkap dalam pembuatan model manekin.

Kemudian, data tinggi dan berat badan di atas dibuatkan persentil 5 dan 95 yang dapat terlihat pada **tabel 3.6.**

**Tabel 3.6.** Persentil 5 dan 95 pada Data Tinggi dan Berat Badan PT. X

Persentil	Tinggi (cm)	Berat (kg)
5	144,175	41
95	159,275	63,4

Selanjutnya, agar data persentil yang dimiliki valid, data tersebut coba dibandingkan dengan Data Antropometri Pekerja Indonesia yang didapatkan dari

Persatuan Ergonomi Indonesia. Data antropometri pekerja Indonesia dapat terlihat pada **tabel 3.7** di bawah.

**Tabel 3.7.** Data Antropometri Pekerja Indonesia

VARIABEL ANTROPOMETRI	UKURAN DIMENSI TUBUH (cm)		
	Persentil 5	Persentil 50	Persentil 95
Tinggi Badan Tegak	144.95	159.5	172
Tinggi Mata Berdiri	133	147.5	160.55
Tinggi Siku Berdiri	89	100	109.7
Panjang Alas Kaki	20.95	24	27
Lebar Alas Kaki	8.5	10	12
Siku ke Siku	33	41	49.06
Jangkauan Tangan ke Depan	59	72	83
Rentangan Tangan	141	161	176.7
Lebar Bahu	33	40	46
Lebar Pinggul	26.17	33	40
Tinggi Lutut Duduk	37	44	52
Tinggi Popliteal	34	40.6	46
Panjang Siku ke Genggaman Tangan	29.5	35	39

Sumber: Persatuan Ergonomi Indonesia, 2009

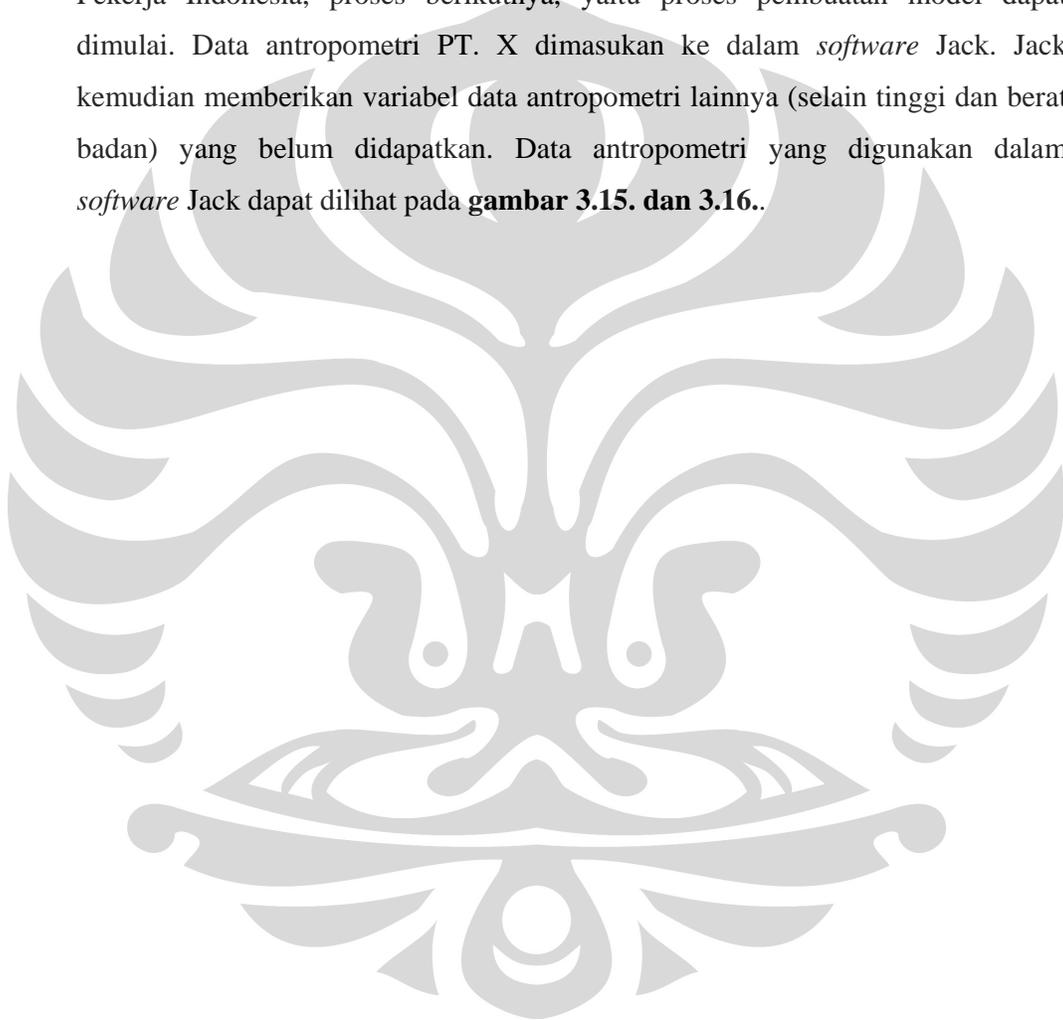
Dari data di atas dapat dilihat bahwa:

- Data tinggi badan persentil 5 pada PT. X (144,175 cm) hanya sedikit berbeda dengan data tinggi badan persentil 5<sup>th</sup> pada Data Antropometri Pekerja Indonesia (144,95 cm).
- Data tinggi badan persentil 95 pada PT. X (159,275 cm) memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan data tinggi badan persentil 95<sup>th</sup> pada Data Antropometri Pekerja Indonesia (172 cm).
- Tidak dapat dilakukan perbandingan data berat badan karena tidak ada variabel data tersebut pada Data Antropometri Pekerja Indonesia.

Meskipun terjadi perbedaan yang cukup signifikan pada data tinggi badan persentil 95, keabsahan data antropometri PT. X yang telah dikumpulkan tetap diyakini keabsahannya. Perbedaan tersebut dapat dimaklumi karena jumlah *sample* yang digunakan antara kedua data tersebut sangatlah berbeda. Data

antropometri PT. X didapat dari hasil observasi terhadap 30 orang pekerja. Sedangkan Data Antropometri Pekerja Indonesia adalah data yang telah dikumpulkan oleh Persatuan Ergonomi Indonesia selama bertahun-tahun dan selalu diperbaharui tiap periode. Data antropometri ini merupakan akumulasi dari berbagai macam penelitian ergonomi yang melibatkan ribuan *sample*.

Setelah data antropometri PT. X dibandingkan dengan Data Antropometri Pekerja Indonesia, proses berikutnya, yaitu proses pembuatan model dapat dimulai. Data antropometri PT. X dimasukkan ke dalam *software* Jack. Jack kemudian memberikan variabel data antropometri lainnya (selain tinggi dan berat badan) yang belum didapatkan. Data antropometri yang digunakan dalam *software* Jack dapat dilihat pada **gambar 3.15. dan 3.16.**



**Build Human...**

**Stature:**  
 144.2  
 Abdominal Dep.:  
 16.4  
 Ankle Hgt:  
 5.5  
 Acromion Height:  
 116.6  
 Arm Length:  
 63.7  
 Biacromial Br.:  
 32.9  
 Bideltoid Br.:  
 38.8  
 Buttock-Knee:  
 49.0  
 Elbow Rest Hgt:  
 19.9  
 Elbow-Fingertip:  
 38.4  
 Foot Breadth:  
 8.4  
 Foot Length:  
 21.5  
 Hand Breadth:  
 7.3  
 Hand Length:  
 15.8  
 Head Breadth:  
 14.4  
 Head Height:  
 20.9  
 Head Length:  
 18.1

Gender:  
 Female  
 Male

Units:  
 cm

Save as...  
 Name:

Edit Existing...  
 Human No\_Name

Add to Menu Create New

Basic Scaling Body Part Scaling Usage Clear Dismiss

**Gambar 3.15.** Data Antropometri Persentil 5 yang Digunakan dalam Simulasi

**Build Human...**

**Stature:**  
 159.3  
 Abdominal Dep.:  
 19.2  
 Ankle Hgt:  
 6.0  
 Acromion Height:  
 129.9  
 Arm Length:  
 70.7  
 Biacromial Br.:  
 35.5  
 Bideltoid Br.:  
 42.4  
 Buttock-Knee:  
 55.7  
 Elbow Rest Hgt:  
 21.0  
 Elbow-Fingertip:  
 42.4  
 Foot Breadth:  
 8.9  
 Foot Length:  
 23.5  
 Hand Breadth:  
 7.8  
 Hand Length:  
 17.3  
 Head Breadth:  
 14.4  
 Head Height:  
 21.7  
 Head Length:  
 18.6

Gender:  
 Female  
 Male

Units:  
 cm

Save as...  
 Name:

Edit Existing...  
 Human:

Add to Menu Create New

Basic Scaling Body Part Scaling Usage Clear Dismiss

**Gambar 3.16.** Data Antropometri Persentil 95 yang Digunakan dalam Simulasi

### 3.3.2 Dimensi Mesin dan Alat

Data dimensi mesin dan alat dibutuhkan untuk membuat model CAD (*computer aided design*) dari mesin dan alat yang digunakan di divisi *finishing* PT. X. Model CAD dibuat dengan menggunakan *software* AutoCAD 2007. Nantinya, model CAD tersebut akan diubah format *file*-nya menjadi *.stl* melalui *command* AMSTLOUT yang ada pada *software* Autodesk Mechanical Desktop 2008. Model yang telah berbentuk *.stl* kemudian diimpor menjadi model figur dalam lingkungan *software* Jack. Alat-alat yang dibuatkan model CAD-nya adalah sebagai berikut:

#### a. Meja Kerja

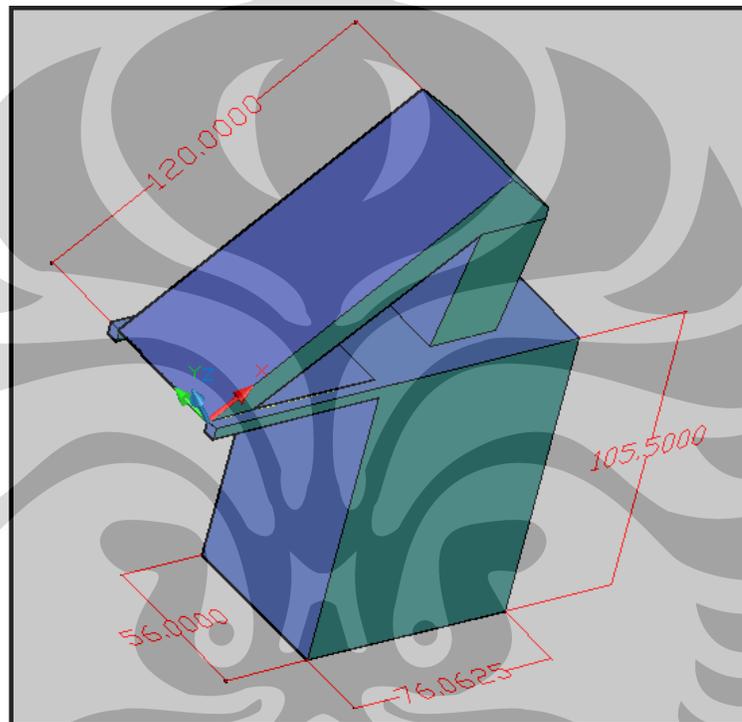
Meja kerja digunakan di hampir seluruh stasiun kerja yang ada di divisi *finishing*. Selain sebagai tempat kerja utama (seperti yang terdapat pada proses pencabutan benang dan pelipatan dan pembungkusan pakaian), meja kerja juga digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara pakaian, seperti pada proses penyedotan debu dan penyetricaan. **Gambar 3.17.** menunjukkan model CAD dari meja kerja.



**Gambar 3.17.** Model CAD Meja Kerja

b. Mesin Sedot Debu dan Benang

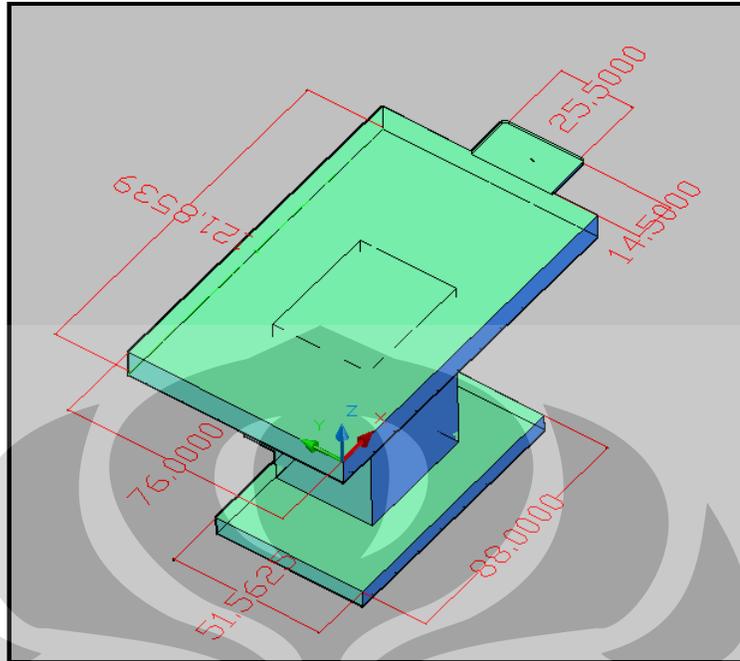
Mesin ini digunakan untuk menyedot sisa-sisa debu dan benang yang masih terdapat pada potongan kain. Tidak diperlukan *skill* khusus dalam penggunaan mesin ini. Seorang pekerja cukup mendekatkan bagian ujung kain ke bagian mulut penghisap dari mesin. Secara otomatis, udara yang bergerak ke dalam mulut penghisap akan menarik kain tersebut. **Gambar 3.18.** menunjukkan model CAD dari mesin sedot debu dan benang.



**Gambar 3.18.** Model CAD Mesin Sedot Debu dan Benang

c. Meja Gosokan

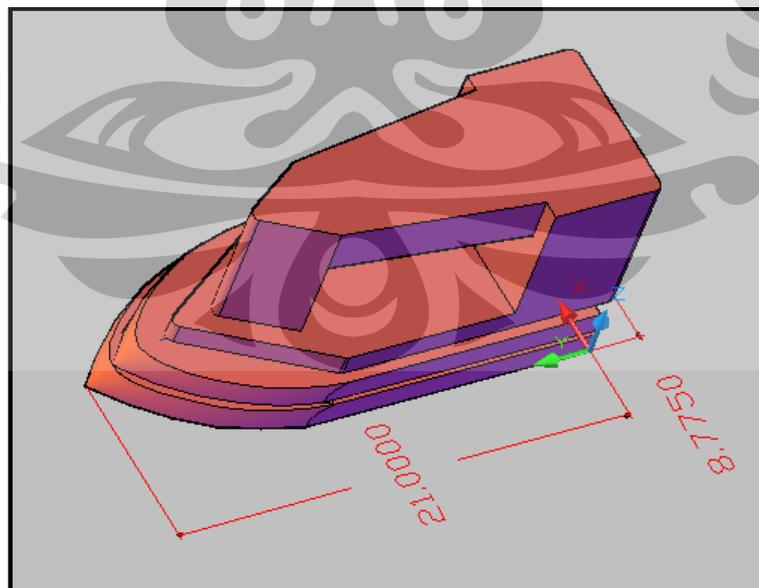
Meja ini adalah meja kerja khusus yang digunakan pada proses penyetricaan. Pada bagian samping kanan meja, terdapat area tambahan yang digunakan untuk meletakkan gosokan. Dalam penggunaannya, meja ini diberikan lapisan kain pada permukaannya agar pakaian yang sedang disetrica tidak bersentuhan langsung dengan meja kerja. Gambar model CAD dari meja gosokan terlihat pada **gambar 3.19** di bawah.



**Gambar 3.19.** Model CAD Mesin Gosokan

d. Gosokan

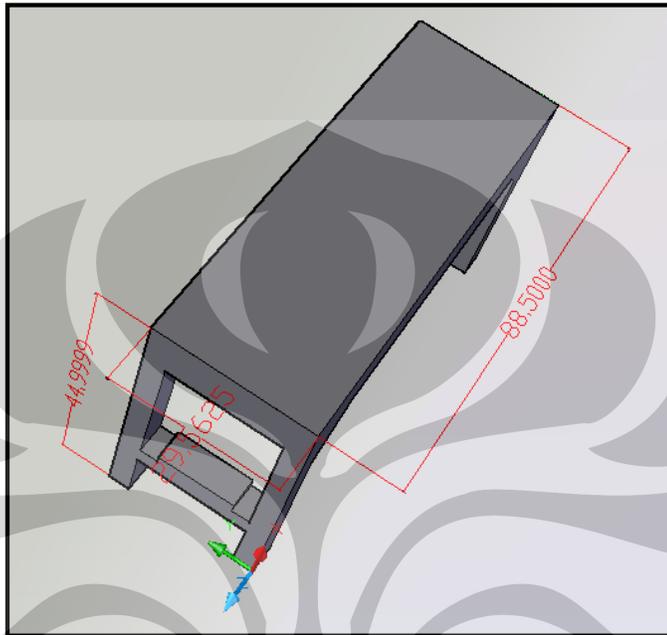
Dari berbagai macam jenis gosokan yang ada, hanya akan dibuat model dari 1 jenis gosokan saja, yaitu gosokan yang dipakai oleh pekerja yang diobservasi (gosokan *steam*). **Gambar 3.20.** menunjukkan model CAD dari gosokan.



**Gambar 3.20.** Model CAD Gosokan

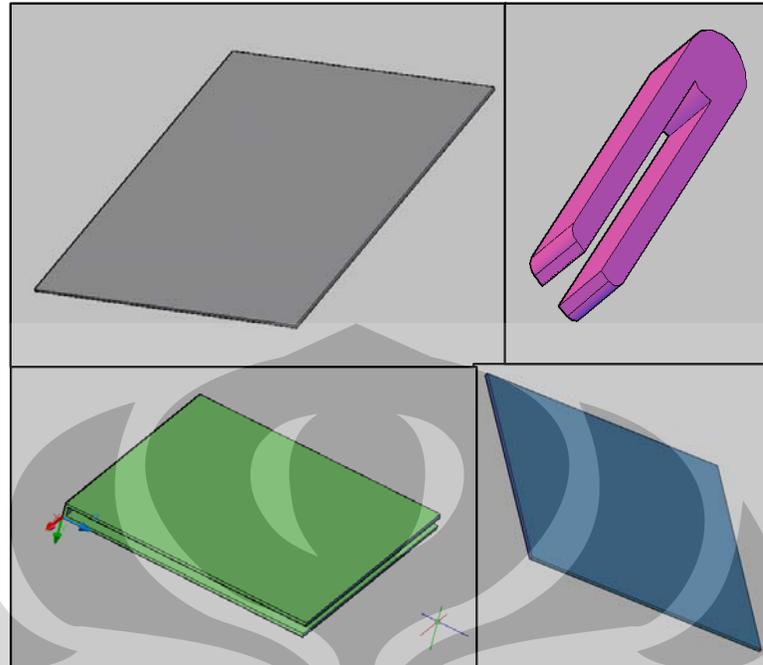
e. Bangku

Bangku yang peneliti buat model CAD-nya adalah bangku yang umum digunakan di divisi *finishing*. Bangku tersebut adalah bangku tanpa sandaran yang model CAD-nya dapat dilihat pada **gambar 3.21.** di bawah.



**Gambar 3.21.** Model CAD Bangku

Selain kelima buah model di atas, model *dummy* dari dua jenis kain, alat cabut sisa benang, dan plastik pembungkus juga dirancang. Keempat model tersebut akan digunakan sebagai alat bantu visual dalam pembuatan simulasi. Walaupun dalam bentuk *dummy*, keberadaan keempat benda tersebut tetap dapat diperhitungkan dalam *software* Jack, terutama menyangkut pengaruh berat yang dimiliki. Model *dummy* kain jenis 1 (warna hitam), alat cabut sisa benang (warna ungu), kain jenis 2 (warna biru), dan plastik pembungkus (warna hijau) dapat terlihat pada **gambar 3.22.** di bawah.



**Gambar 3.22.** Model CAD *Dummy*

### 3.3.3 Video Kegiatan Kerja

Video kegiatan kerja akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan simulasi pada *software* Jack. Model manekin nantinya akan diberikan perintah untuk melaksanakan suatu kerja atau tugas, yang pembuatan gerakannya didasarkan pada gerakan kerja sesungguhnya pada dunia nyata. Selain itu, video kegiatan kerja juga digunakan untuk mendapat bentuk tata letak dari stasiun kerja. Video kegiatan yang direkam adalah sebagai berikut:

- Video proses pencabutan benang
- Video proses penyedotan debu dan benang
- Video proses penyetricaan
- Video proses pelipatan dan pembungkusan pakaian

### 3.4 Pembuatan Model Konfigurasi 1

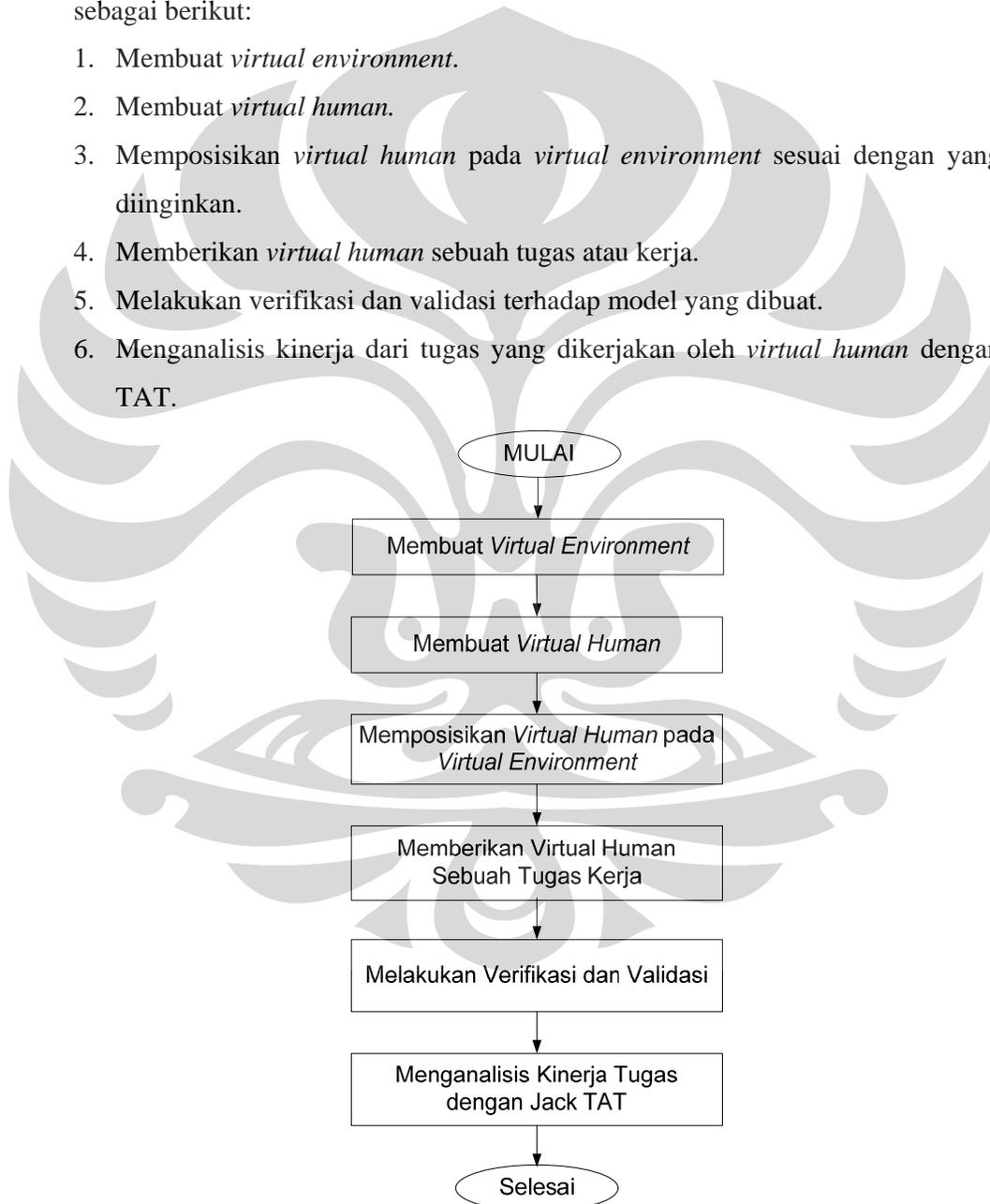
Untuk memperjelas proses pembuatan model dari konfigurasi yang telah ditentukan, proses pembuatan model disajikan secara lengkap pada sub-bab ini. Model yang akan dibuat adalah konfigurasi 1 yang menggunakan stasiun kerja

pencabutan benang, pekerja dengan jenis kelamin wanita, data antropometri dengan persentil 95, dan posisi kerja berdiri.

### 3.4.1 Alur Pembuatan Model

Alur pembuatan model pada *software* Jack mengikuti diagram alir yang tersaji pada **gambar 3.23**. Secara lengkap, alur pembuatan tersebut adalah sebagai berikut:

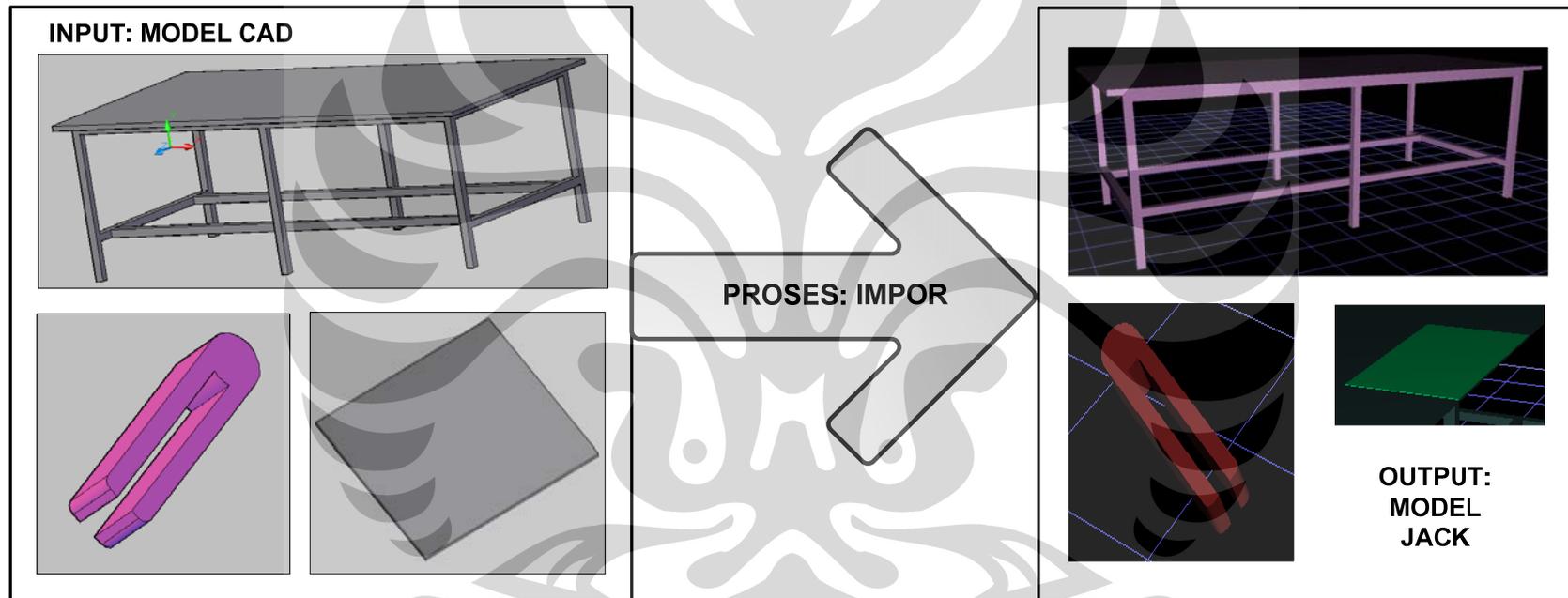
1. Membuat *virtual environment*.
2. Membuat *virtual human*.
3. Memposisikan *virtual human* pada *virtual environment* sesuai dengan yang diinginkan.
4. Memberikan *virtual human* sebuah tugas atau kerja.
5. Melakukan verifikasi dan validasi terhadap model yang dibuat.
6. Menganalisis kinerja dari tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* dengan TAT.



**Gambar 3.23.** Diagram Alir Pembuatan Model

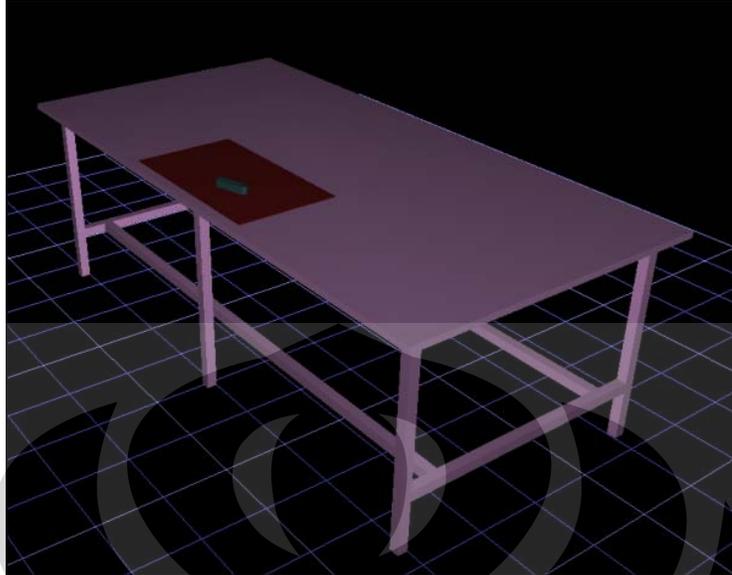
### 3.4.1.1 Pembuatan *Virtual Environment*

Proses ini digunakan untuk membuat tata letak stasiun kerja penyetrikaan pada *software* Jack yang semirip mungkin dengan tata letak aslinya. Pertama-tama model CAD meja, kain *dummy*, dan alat cabut benang *dummy* diimpor ke dalam *software* Jack. **Gambar 3.24.** menunjukkan model sebelum dan sesudah diimpor.



**Gambar 3.24** Proses Impor Model Alat pada Konfigurasi 1

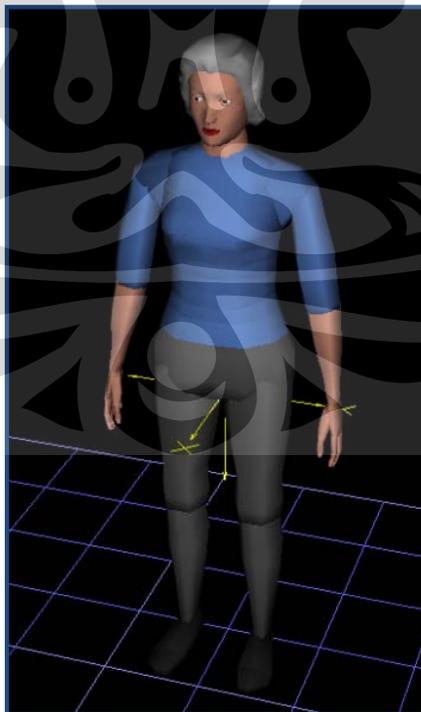
Selanjutnya, stasiun kerja pencabutan benang dibuat pada *virtual environment* Jack. Tata letak dari stasin kerja tersebut terlihat pada **gambar 3.25.** di bawah.



**Gambar 3.25.** Tata Letak Stasiun Kerja Pencabutan Benang pada *Software Jack*

#### 3.4.1.2 Pembuatan *Virtual Human*

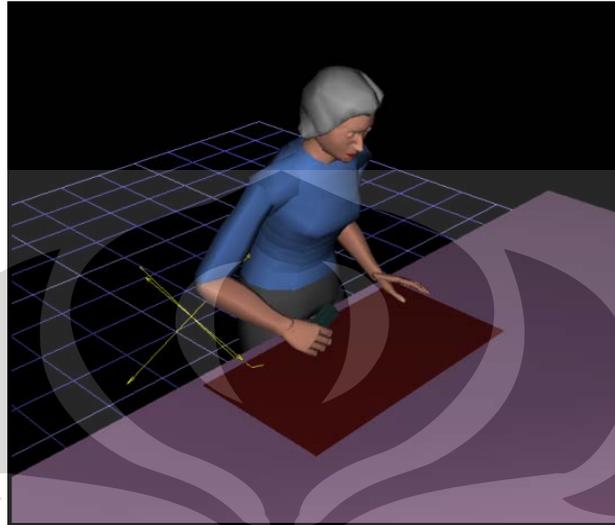
Data antropometri yang terdapat pada **gambar 3.16.** digunakan untuk membuat sebuah model manekin pekerja wanita dengan persentil 95. Gambar model manekin tersebut terlihat pada gambar **3.26.** di bawah.



**Gambar 3.26.** Model Manekin Pekerja Wanita Persentil 95

### 3.4.1.3 Penempatan *Virtual Human* pada *Virtual Environment*

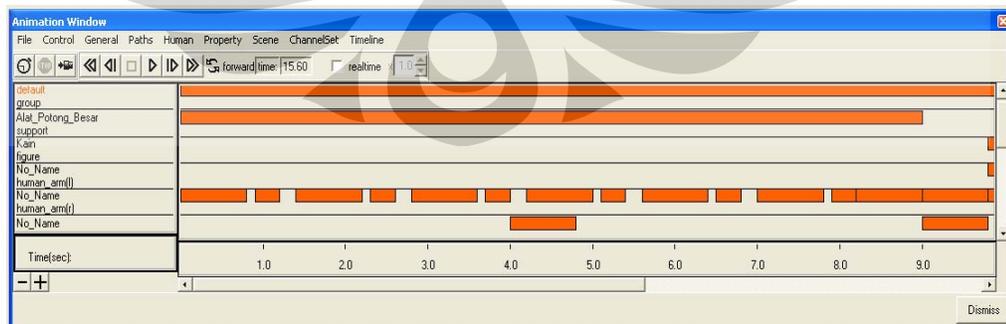
Langkah berikutnya dari proses pembuatan model adalah memposisikan model manekin pada stasiun kerja. **Gambar 3.27.** menunjukkan hal tersebut.



**Gambar 3.27.** Model Persentil 95 yang Ditempatkan pada Stasiun Kerja

### 3.4.1.4 Pembuatan Tugas Kerja pada Model Manekin

Setelah model manekin pekerja menempati posisi yang tepat pada stasiun kerjanya, model tersebut diberikan tugas untuk mengerjakan proses pencabutan benang. Pemberian tugas itu dilakukan menggunakan modul *animation system* (**Gambar 3.28.**) pada *software* Jack. Selama pembuatan animasi, gerakan yang dibuat harus terus disesuaikan dengan gerakan nyata pada rekaman. Hal ini dilakukan untuk menjamin validitas dari animasi gerakan yang dibuat.



**Gambar 3.28.** *Animation System* pada Konfigurasi 1

### 3.4.1.5 Verifikasi dan Validasi Model

Pengujian model terdiri dari dua bagian utama yaitu verifikasi dan validasi. Suatu model dikatakan telah lolos verifikasi jika model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen dan dipercaya konsepnya. Secara umum, pembuatan model konfigurasi tidak menggunakan *syntax* atau algoritma yang dibuat sendiri. *Logic* yang digunakan murni mengikuti apa yang telah terdapat pada Jack. Langkah verifikasi yang dilakukan adalah dengan mengecek ketepatan angka dan satuan yang digunakan ketika memasukkan data-data ke dalam *software* Jack. Pengecekan pertama yang dilakukan adalah mengecek satuan yang digunakan ketika memasukan data antropometri. **Gambar 3.29.** menunjukkan data tinggi dan berat badan yang sudah berada dalam satuan yang benar. **Gambar 3.30.** menunjukkan bahwa variabel data antropometri selain tinggi dan berat badan juga sudah menggunakan satuan yang tepat.



**Gambar 3.29.** Pengecekan Satuan pada Tinggi dan Berat Badan

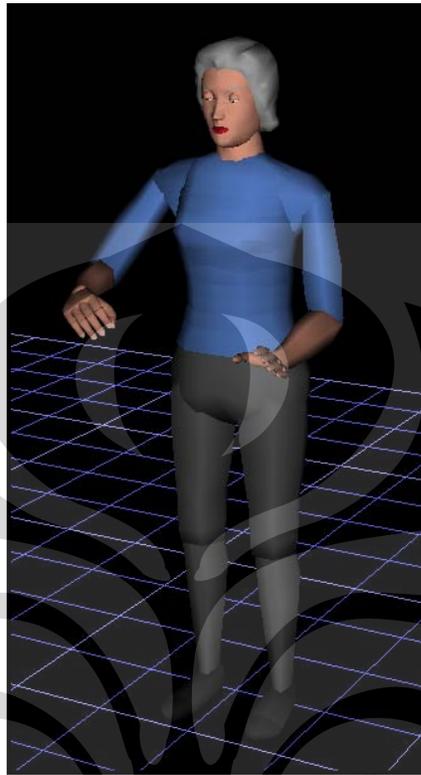
<b>Stature:</b>	<input type="text" value="159.3"/>	Gender:	<input checked="" type="radio"/> Female	Units:	<input type="text" value="cm"/>
Abdominal Dep.:	<input type="text" value="19.2"/>		<input type="radio"/> Male	<input type="text" value="mm"/>	<input type="text" value="cm"/>
Ankle Hgt:	<input type="text" value="6.0"/>			<input type="text" value="m"/>	<input type="text" value="in"/>
Acromion Height:	<input type="text" value="129.9"/>				
Arm Length:	<input type="text" value="70.7"/>				
Biacromial Br.:	<input type="text" value="35.5"/>				
Bideltoid Br.:	<input type="text" value="42.4"/>				
Buttock-Knee:	<input type="text" value="55.8"/>				
Elbow Rest Hgt:	<input type="text" value="21.0"/>	Hip Breadth:	<input type="text" value="34.2"/>		
Elbow-Fingertip:	<input type="text" value="42.4"/>	Interpupil Dist:	<input type="text" value="6.2"/>		
Foot Breadth:	<input type="text" value="8.8"/>	Shoulder-Elbow:	<input type="text" value="33.8"/>		
Foot Length:	<input type="text" value="23.5"/>	Sitting Acromial:	<input type="text" value="54.8"/>		
Hand Breadth:	<input type="text" value="8.3"/>	Sitting Eye:	<input type="text" value="72.9"/>		
Hand Length:	<input type="text" value="17.3"/>	Sitting Hgt:	<input type="text" value="84.2"/>		
Head Breadth:	<input type="text" value="14.4"/>	Sit Knee Hgt:	<input type="text" value="50.7"/>		
Head Height:	<input type="text" value="21.7"/>	Thigh Clearance:	<input type="text" value="17.3"/>		
Head Length:	<input type="text" value="18.6"/>	Thumbtip Reach:	<input type="text" value="78.4"/>		

**Gambar 3.30.** Pengecekan Satuan pada Variabel Data Antropometri

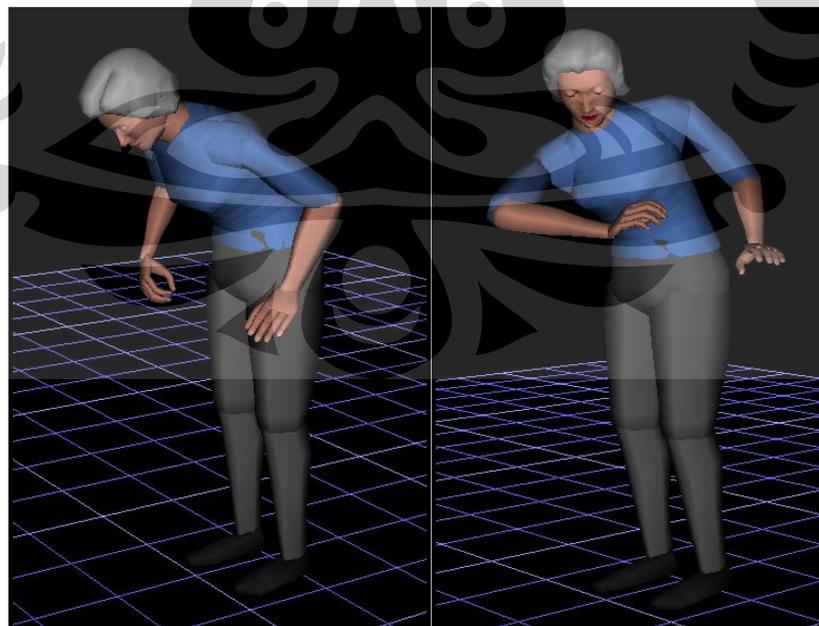
Setelah langkah pengecekan dilakukan, animasi dijalankan untuk memastikan apakah data telah terverifikasi. Jika hasil analisis telah dapat dikeluarkan, maka model dapat dikatakan telah terverifikasi.

Langkah validasi dilakukan dengan melakukan uji kondisi ekstrim. Uji kondisi ekstrim berguna untuk menunjukkan bahwa model sesuai dengan hubungan logis antar variabel dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan dan irasional dalam model. Pada pembuatan konfigurasi 1, postur kerja model manekin dibuat dalam kondisi yang sangat tidak ergonomis (titik ekstrim). Postur kerja tersebut kemudian dianalisis. Hasil analisis tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil analisis pada postur normal. Jika perbedaan yang terjadi signifikan,

maka model dapat dikatakan telah valid. Postur kerja normal dan ekstrim yang digunakan dalam konfigurasi 1 dapat terlihat pada **gambar 3.31.** dan **3.32.**



**Gambar 3.31.** Postur Kerja Normal pada Konfigurasi 1



**Gambar 3.32.** Postur Kerja Ekstrim pada Konfigurasi 1

Hasil analisis dari kedua postur tersebut terdapat pada **tabel 3.8.** di bawah.

**Tabel 3.8.** Hasil Analisis Perbandingan Dua Jenis Postur Konfigurasi 1

NO	KONDISI POSTUR	HASIL ANALISIS		
		LBA (Newton)	OWAS	RULA
1	Normal	416	1	3
2	Ekstrim	1120	2	7

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa perubahan postur kerja dari postur normal ke postur ekstrim menyebabkan perubahan yang signifikan pada ketiga jenis analisis. Perubahan tersebut logis sehingga dapat dikatakan bahwa model telah valid.

#### 3.4.1.6 Analisis Kinerja Tugas dengan *Jack Task Analysis Toolkit*

Analisis yang digunakan pada TAT adalah *Static Strength Prediction (SSP)*, *Low Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*, dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*. Sebelum analisis dilakukan, *loads&weights* (**gambar 3.33.**) dimasukkan pada model manekin. Pada konfigurasi 1, bagian *right palm center* model diberikan berat 100 gr sebagai representasi dari keberadaan alat pencabut benang. Selain itu, gaya yang diterima model juga diatur terdistribusi secara merata ke kedua kaki.

Analisis SSP digunakan untuk memastikan apakah kegiatan kerja dapat dilakukan oleh seluruh populasi pekerja. Persentase minimal yang dapat diterima adalah 90% dari keseluruhan jumlah pekerja. Hasil analisis SSP dapat terlihat pada **tabel 3.9.**



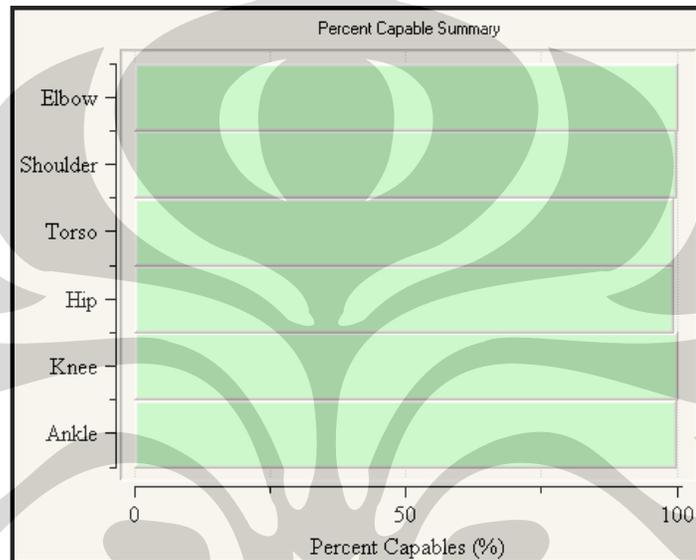
**Gambar 3.33.** Kotak Dialog *Loads and Weights* pada Konfigurasi 1

**Tabel 3.9.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 1

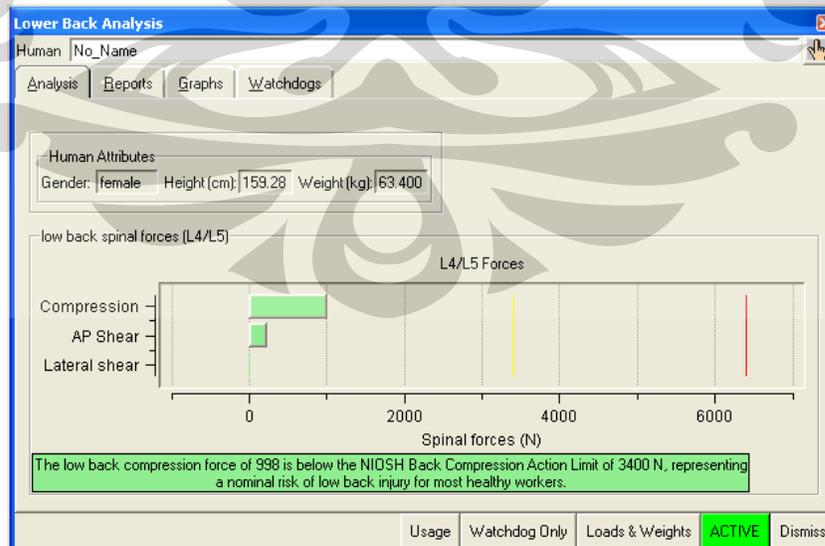
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	17	6	100	-2	FLEXN	41	11	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	--	36	9	100	-1	--	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	2	BACKWARD	38	12	100	-1	--	45	15	100
	Humeral Rot	0	--	23	9	100	-0	--	6	2	100
Trunk	Flex/Ext	-33	EXTEN	180	62	99					
	Lateral Bending	-2	RIGHT	182	41	100					
	Rotation	-1	--	44	13	100					
	Hip	-10	EXTEN	104	39	99	-10	EXTEN	104	39	99
	Knee	-6	FLEXN	81	26	100	-5	FLEXN	81	26	100
	Ankle	-26	EXTEN	93	25	100	-25	EXTEN	91	25	100

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

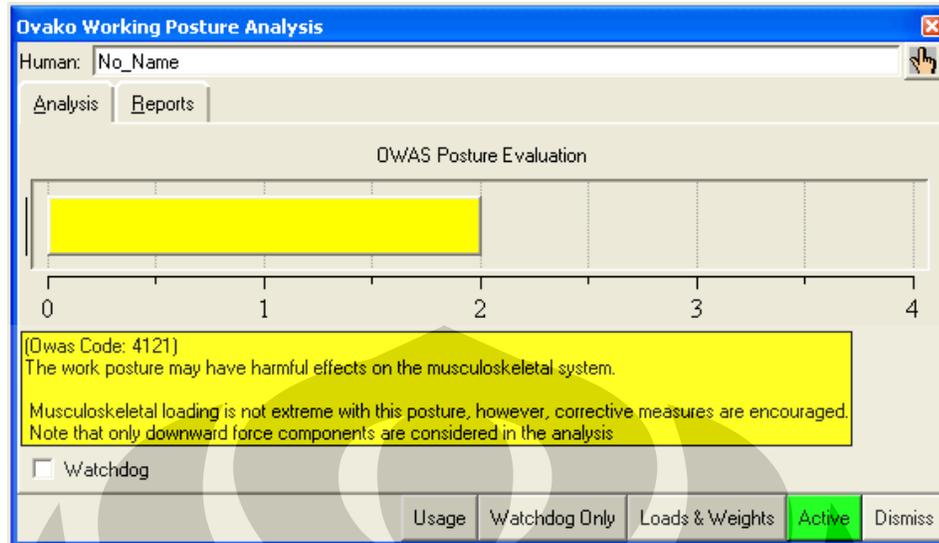
Kemudian, animasi dijalankan secara *real time* untuk mencari titik ekstrim postur kerja yang memberikan skor paling tinggi untuk tiap jenis analisis. Skor yang tinggi menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis. Pada saat animasi dijalankan, kecepatan simulasi diperlambat agar proses pencarian titik ekstrim menjadi lebih mudah untuk dilakukan. Hasil analisis TAT terlihat pada gambar 3.34. hingga gambar 3.34..



Gambar 3.34. Hasil Analisis SSP untuk Konfigurasi 1



Gambar 3.35. Hasil Analisis LBA untuk Konfigurasi 1



**Gambar 3.36.** Hasil Analisis OWAS untuk Konfigurasi 1

**Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

Task Entry Reports Analysis Summary

Job Title: Mencabut Benang Job Number: Location: Analyst: Comments: Date: 12 Juni 2009

Body Group A Posture Rating  
Upper arm: 3  
Lower arm: 2  
Wrist: 3  
Wrist Twist: 2  
Total: 5

Body Group B Posture Rating  
Neck: 1  
Trunk: 4  
Total: 6

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

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute  
Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating  
Standing, weight even. Room for weight changes.

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

Update Analysis

Usage Dismiss

**Gambar 3.37.** Hasil Analisis RULA untuk Konfigurasi 1

### 3.4.2 Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Setelah didapat skor dari tiap metode analisis, nilai PEI untuk konfigurasi 1 dapat dihitung. Dikarenakan tiap-tiap stasiun kerja pada divisi *finishing* hanya memiliki 1 operasi, maka perhitungan nilai PEI tidak dilanjutkan ke perhitungan nilai *Work Cell Evaluation Index* (WEI). Langkah pertama yang dilakukan adalah memastikan bahwa kegiatan kerja pada konfigurasi 1 dapat dikerjakan oleh minimal 90% dari seluruh pekerja. SSP memberikan hasil analisis sebagai berikut:

Untuk mengukur nilai PEI, maka digunakan hasil analisis LBA, OWAS, dan RULA yang tersaji pada **tabel 3.10**. di bawah.

**Tabel 3.10** Resume Skor LBA, OWAS, RULA

KONFIGURASI KE-	SKOR LBA	SKOR OWAS	SKOR RULA
1	998	2	7

Dengan memasukkan skor-skor di atas pada persamaan 2.4 di bawah, maka akan didapat nilai PEI dari konfigurasi 1.

$$PEI = I_1 + I_2 + (mr \cdot I_3) \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana  $I_1 = LBA/3400$ ,  $I_2 = OWAS/4$ ,  $I_3 = RULA/7$ , dan  $mr = 1,42$

Nilai PEI dari konfigurasi 1=

$$PEI = 998 N/3400N + 2/4 + (1,42 \times 7/7) \\ = 2,214$$

## BAB 4 PEMBAHASAN

Bab 4 adalah bab pembahasan. Pada bab ini, keempat belas buah model konfigurasi dianalisis. Kemudian, variabel yang diteliti akan dianalisis pengaruhnya terhadap nilai PEI. Pada bagian akhir bab ini, konfigurasi-konfigurasi yang paling optimal ditetapkan. Berdasarkan analisis tersebut, maka kesimpulan akhir dapat ditarik dan saran-saran dapat diberikan. Kesimpulan dan saran tersebut kemudian dipaparkan pada Bab 5.

### 4.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai PEI

Langkah-langkah pembuatan model yang tertuang pada sub bab 4.3, kemudian diterapkan kembali pada keseluruhan konfigurasi yang telah direncanakan untuk dibuat. Semua konfigurasi diuji apakah nilai SSP-nya lebih dari 90%, kemudian dicari titik ekstrim pada analisis LBA, OWAS, dan RULA.. Titik ekstrim adalah postur yang menghasilkan nilai tertinggi pada tiap analisis. Nilai tinggi menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis. Dengan menggunakan rumus persamaan 2.4 yang terdapat pada bab 2, nilai PEI dari tiap konfigurasi dapat dihitung.

$$PEI = I_1 + I_2 + (mr \cdot I_3) \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana  $I_1 = LBA/3400$  N,  $I_2 = OWAS/4$ ,  $I_3 = RULA/7$ , dan  $mr = 1,42$ .

**Tabel 4.1.** menunjukkan rekapitulasi hasil perhitungan nilai PEI untuk keempat belas buah konfigurasi yang ada. Setelah hasil perhitungan dari tiap konfigurasi ditampilkan, langkah analisis terhadap konfigurasi-konfigurasi tersebut dapat dilakukan. Analisis yang dilakukan adalah analisis untuk tiap konfigurasi, analisis nilai PEI berdasarkan stasiun kerja, analisis nilai PEI berdasarkan variabel persentil data antropometri, dan analisis nilai PEI berdasarkan variabel posisi kerja.

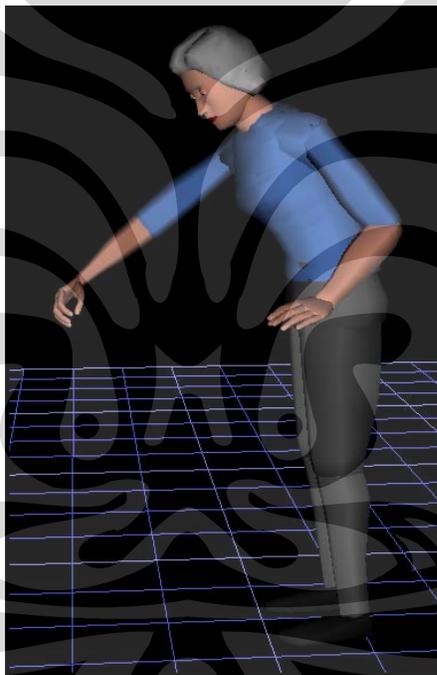
**Tabel 4.1.** Rekapitulasi Perhitungan Nilai SSP, LBA, OWAS, RULA, dan PEI

NO	NAMA	VARIABEL				NILAI SSP > 90%	NILAI LBA (Newton)	NILAI OWAS	NILAI RULA	NILAI PEI
		STASIUN KERJA	JENIS KELAMIN PEKERJA	PERSENTIL DATA ANTROPOMETRI	POSISI KERJA					
1	Konfigurasi 1	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	998	2	7	2,213529
2	Konfigurasi 2	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	740	2	3	1,326218
3	Konfigurasi 3	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	1041	2	5	1,820462
4	Konfigurasi 4	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	1000	2	4	1,605546
5	Konfigurasi 5	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	551	2	5	1,676345
6	Konfigurasi 6	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	467	2	4	1,448782
7	Konfigurasi 7	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	690	2	4	1,51437
8	Konfigurasi 8	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	472	2	4	1,450252
9	Konfigurasi 9	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 95	Duduk	Ya	639	1	4	1,24937
10	Konfigurasi 10	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 95	Duduk	Ya	1086	2	4	1,63084
11	Konfigurasi 11	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 95	Duduk	Ya	748	1	4	1,281429
12	Konfigurasi 12	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 5	Duduk	Ya	382	1	5	1,376639
13	Konfigurasi 13	Penyetrikaan	Wanita	Persentil 5	Duduk	Ya	737	2	6	1,933908
14	Konfigurasi 14	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 5	Duduk	Ya	464	3	4	1,697899

## 4.2 Analisis Konfigurasi

### 4.2.1 Analisis Konfigurasi 1

Konfigurasi 1 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pencabutan benang dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 95, dan posisi kerja berdiri. Setelah animasi selesai dibuat, maka dilihat nilai persentase kapabilitas pada analisis SSP. Hasilnya, seperti yang telah tertuang di **tabel 3.9.** pada **sub bab 3.4,** nilai SSP pada tubuh bagian siku, bahu, punggung, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki berada di atas 90%. Nilai ini menandakan bahwa konfigurasi 1 absah untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya. Langkah selanjutnya adalah menentukan titik ekstrim postur pada ketiga analisis. Titik ekstrim pada konfigurasi 1 terlihat pada **gambar 4.1.**



**Gambar 4.1.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 1

Titik ekstrim postur pada analisis LBA menghasilkan nilai tekanan kompresi sebesar 998 Newton. Tekanan tersebut terjadi akibat model manekin membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar  $35^{\circ}$  dan membengkok ke arah samping  $19,2^{\circ}$  (*axial*). Posisi membungkuk tersebut diperlukan untuk memudahkan pengerjaan tugas karena tinggi meja kerja lebih rendah dari bagian pinggang model manekin. Tetapi tekanan yang terjadi masih dapat diterima

karena berada di bawah standar *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N.

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai OWAS tertinggi selama animasi berjalan. Titik ekstrim tersebut menghasilkan kode OWAS 4121 dan nilai akhir OWAS sebesar 2. Kode OWAS 4121 menandakan bahwa:

- Bagian batang tubuh model berada dalam kategori 4 dimana terjadi kombinasi antara posisi membungkuk ke depan (*flexion*) dengan posisi memutar tubuh (*twist*). Kategori ini merupakan kategori yang paling tidak ergonomis untuk posisi batang tubuh pada analisis OWAS.
- Bagian tangan model berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan berada dalam kondisi normal. Kategori 1 adalah kategori dengan nilai terendah (paling ergonomis).
- Bagian tubuh bawah model berada dalam kategori 2 dimana bagian ini sudah tidak ditopang dengan alat bantu (seperti kursi), tetapi masih berada dalam kondisi normal. Kondisi normal yang dimaksud adalah tubuh bagian bawah tidak berada dalam kondisi miring, bengkok, maupun terpuntir.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Evaluasi akhir OWAS yang bernilai 2 mengindikasikan bahwa, secara keseluruhan, postur kerja mungkin dapat memberikan efek yang menyakitkan pada sistem muskuloskeletal pekerja. Walaupun beban yang diterima tidaklah ekstrim, langkah-langkah korektif sangatlah dianjurkan untuk dilakukan.

Langkah terakhir sebelum menghitung nilai PEI adalah menghitung nilai titik ekstrim berdasarkan analisis RULA. Penilaian untuk grup bagian tubuh A menghasilkan nilai 3,2,3,2 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist*. Nilai akhir untuk tubuh grup A adalah 5. Sedangkan untuk tubuh grup bagian B, analisis menghasilkan nilai 1 dan 4 untuk leher dan batang tubuh. Nilai akhir untuk tubuh grup B adalah 6. Nilai akhir keseluruhan untuk analisis RULA adalah 7. Nilai ini mengindikasikan bahwa tubuh bagian atas berada dalam kondisi yang paling tidak ergonomis (berdasarkan RULA). Nilai RULA yang tinggi merupakan pengaruh dari posisi kerja yang berdiri, bentuk yang tidak ergonomis untuk hampir setiap bagian tubuh,

penggunaan otot yang statis selama lebih dari 1 menit, dan tidak adanya penyangga bagi tangan. Kondisi kerja yang tidak ergonomis ini harus segera diinvestigasi dan dilakukan perubahan.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 1 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 2,214.

#### 4.2.2 Analisis Konfigurasi 2

Konfigurasi kedua adalah konfigurasi pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 95, dan posisi kerja berdiri. Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis SSP. Hasilnya, seluruh bagian tubuh memiliki nilai persentase kapabilitas lebih dari 90% (**tabel 4.2.**). Oleh karena itu, konfigurasi 2 layak dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

**Tabel 4.2.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 2

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	FLEXN	32	8	100	-1	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	40	10	100	-4	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	45	15	100	-0	--	47	16	100
	Humeral Rot	-0	--	25	7	100	-0	--	24	6	100
Trunk	Flex/Ext	-27	EXTEN	158	55	99					
	Lateral Bending	1	LEFT	129	32	100					
	Rotation	-0	--	54	16	100					
	Hip	-8	EXTEN	104	39	99	-9	EXTEN	104	39	99
	Knee	-7	FLEXN	84	27	100	-8	FLEXN	84	27	100
	Ankle	-23	EXTEN	91	25	100	-24	EXTEN	90	25	100

Selanjutnya, animasi dijalankan secara *real time* untuk menentukan titik-titik ekstrim postur yang memberikan nilai yang paling tidak ergonomis pada tiap analisis (**gambar 4.2.**). Berdasarkan hasil analisis LBA, tekanan kompresi tertinggi yang terjadi berjumlah 740 N; nilai yang masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Tekanan tersebut terjadi akibat model manekin membungkukkan tubuhnya ke arah depan (*flexion*) sebesar 11°. Posisi membungkuk itu terjadi karena bagian tangan model manekin, yang sedang memegang kain, harus diturunkan sesuai dengan tinggi mulut penghisap.

Kemudian, titik ekstrim postur pada analisis OWAS dicari. Hasilnya, titik ekstrim tersebut menghasilkan kode OWAS 2121 dan nilai akhir OWAS sebesar 2. Kode OWAS 2121 menunjukkan bahwa:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kategori 1 adalah kategori dengan nilai terendah (paling ergonomis).
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 2. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah tidak ditopang dengan alat bantu, tetapi tetap berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.



**Gambar 4.2.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 2

Evaluasi akhir OWAS memberikan nilai 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur kerja yang diperagakan model mungkin dapat memberikan efek yang menyakitkan pada sistem muskuloskeletal pekerja. Walaupun beban yang

terjadi tidaklah ekstrim, langkah-langkah antisipatif sangat dianjurkan untuk dilakukan.

Analisis keempat adalah analisis titik ekstrim dengan RULA. Penilaian untuk grup bagian tubuh A menghasilkan nilai 4,3,2,1 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist*. Nilai total untuk tubuh grup A adalah 4. Sedangkan penilaian untuk tubuh grup B menghasilkan nilai 1 dan 2 untuk bagian leher dan batang tubuh. Nilai total untuk tubuh grup B adalah 2. *Grand score* yang dihasilkan pada analisis RULA secara keseluruhan adalah 3, yang berada dalam zona kuning analisis. Kondisi ini relatif cukup ergonomis karena posisi badan yang tidak terlalu membungkuk dan penggunaan otot yang normal. Meskipun demikian, risiko yang terjadi harus diinvestigasi lebih lanjut dan perubahan mungkin saja dibutuhkan.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 2 adalah menghitung nilai PEI. Nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,326.

#### 4.2.3 Analisis Konfigurasi 3

Konfigurasi 3 adalah konfigurasi pada stasiun kerja penyetrakaan dengan skenario variabel: pekerja wanita, persentil 95, dan posisi kerja berdiri. Pertama, analisis SSP dilakukan untuk menghitung persentase populasi yang dapat melakukan kegiatan kerja. Hasilnya, seluruh bagian tubuh model menunjukkan nilai persentase kapabilitas lebih dari 90% (**tabel 4.3.**). Hal ini menandakan bahwa konfigurasi 3 layak untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

**Tabel 4.3.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 3

		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	-2	FLEXN	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	36	9	100	-5	ABDUCT	39	10	100
	Rotation Bk/Fd	1	BACKWARD	36	11	100	1	BACKWARD	38	12	100
	Humeral Rot	-0	--	16	4	100	-1	LATERAL	17	4	100
Trunk	Flex/Ext	-47	EXTEN	179	62	98					
	Lateral Bending	2	LEFT	96	24	100					
	Rotation	1	--	51	16	100					
	Hip	-15	EXTEN	104	39	99	-20	EXTEN	105	40	98
	Knee	-17	FLEXN	85	27	99	-11	FLEXN	84	27	100
	Ankle	-31	EXTEN	91	25	99	-17	EXTEN	86	24	100

Langkah berikutnya adalah menentukan titik ekstrim postur pada tiap-tiap analisis yang dipakai (**gambar 4.3**). Pada analisis LBA, nilai tekanan kompresi tertinggi adalah 1041 N; nilai yang masih berada di bawah batas *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Besarnya tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh posisi tubuh model yang membungkuk ketika proses penyetricaan berlangsung. Posisi tubuh membungkuk  $30^\circ$  derajat ke arah depan (*flexion*) dibutuhkan untuk mempermudah proses penyetricaan yang tinggi meja kerjanya lebih rendah daripada bagian pinggang model. Pada proses penyetricaan, tangan kanan aktif bergerak dengan memegang setrika. Sedangkan tangan kiri memiliki fungsi ganda; menahan kain agar tetap berada di tempatnya dan menopang tubuh yang sedang berada dalam posisi membungkuk.



**Gambar 4.3.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 3

Kemudian, model dianalisis untuk mencari titik ekstrim berdasarkan analisis OWAS. Analisis ini menghasilkan kode OWAS 4121 yang berarti:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 4 yang mengindikasikan terjadinya kombinasi antara posisi membungkuk ke depan (*flexion*) dengan posisi memutar tubuh (*twist*).
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.

- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 2. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah tidak ditopang dengan alat bantu, tetapi tetap berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan, analisis OWAS memberikan nilai akhir 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur kerja dapat memberikan efek menyakitkan pada bagian muskuloskeletal pekerja. Langkah-langkah korektif sangat dianjurkan untuk dilakukan di dalam konfigurasi ini.

Analisis terakhir yang dilakukan sebelum menghitung nilai PEI adalah analisis titik ekstrim dengan RULA. Untuk tubuh grup A, analisis ini menghasilkan nilai 2,3,3,1 pada tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist*. Total nilai pada tubuh grup A adalah 4. Sedangkan untuk tubuh grup B, analisis RULA menghasilkan nilai 4 dan 1 pada leher dan batang tubuh. Total nilai pada tubuh grup B adalah 5. Secara keseluruhan, analisis RULA menghasilkan *grand score* 5. Nilai tersebut menandakan postur kerja berada dalam zona merah analisis RULA. Kondisi ini terjadi akibat perpaduan kondisi yang kurang ergonomis pada bagian tubuh selama proses penyetricaan, terutama pada tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan leher. Oleh karena itu, risiko yang terjadi pada kondisi di atas harus diinvestigasi lebih lanjut dan diberi perbaikan dengan cepat.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 3 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,82.

#### 4.2.4 Analisis Konfigurasi 4

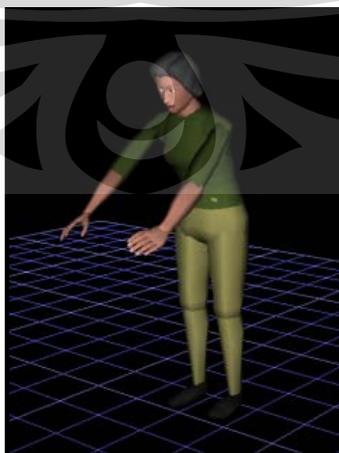
Konfigurasi 4 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian dengan skenario variabel: pekerja wanita, persentil 95, dan posisi kerja berdiri. Pada tahap awal, analisis SSP dijalankan untuk mendapatkan gambaran persentase pekerja yang dapat melaksanakan kerja. Hasilnya, seluruh bagian tubuh pada analisis SSP memberikan nilai persentase

kapabilitas lebih dari 90% (**tabel 4.4**). Ini menandakan bahwa konfigurasi 4 layak untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

**Tabel 4.4.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 4

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	FLEXN	35	9	100	-1	--	31	8	100
	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	37	10	100	-5	ABDUCT	41	11	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-0	--	43	15	100	-0	--	46	16	100
	Humeral Rot	-0	--	25	6	100	-0	--	24	6	100
	Flex/Ext	-43	EXTEN	174	60	99					
Trunk	Lateral Bending	-0	--	173	39	100					
	Rotation	-0	--	57	17	100					
	Hip	-12	EXTEN	104	39	99	-13	EXTEN	104	39	99
	Knee	-12	FLEXN	84	27	100	-12	FLEXN	84	27	100
	Ankle	-27	EXTEN	91	25	99	-27	EXTEN	90	25	99

Selanjutnya, animasi dijalankan secara *real time* untuk memeriksa titik-titik ekstrim postur pada tiap analisis (**gambar 4.4**). Pertama, analisis LBA menghasilkan nilai tekanan kompresi tertinggi sebesar 1000 N. Kondisi ini dapat dikatakan cukup ergonomis berdasarkan analisis LBA dikarenakan tekanan kompresi yang dihasilkan masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Besarnya tekanan sangat dipengaruhi oleh posisi dari model dimana model harus membungkuk 25° derajat ke depan. Posisi ini dibutuhkan untuk mempermudah proses pelipatan yang dilakukan di atas meja kerja dengan tinggi yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian pinggang dari model.



**Gambar 4.4.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 4

Langkah selanjutnya adalah mencari postur dengan nilai OWAS tertinggi. Analisis ini menghasilkan nilai OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 2. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah tidak ditopang dengan alat bantu, tetapi tetap berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Nilai akhir yang diberikan OWAS adalah 2. Nilai ini mengindikasikan kondisi yang cukup ergonomis. Meskipun demikian, postur kerja yang dianalisis dapat memberikan efek yang menyakitkan pada pekerja dan sangat dianjurkan untuk dilakukan langkah-langkah korektif di dalamnya.

Langkah terakhir sebelum perhitungan PEI adalah mencari titik ekstrim postur pada analisis RULA. Analisis RULA memberikan nilai 4,3,3,1 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 5. Untuk tubuh grup B, analisis ini memberikan nilai 1 dan 3 untuk bagian leher dan batang tubuh dengan total nilai tubuh grup B sebesar 3. Secara keseluruhan, RULA memberikan *grand score* sebesar 4 untuk titik ekstrim postur yang ditemukan. Kondisi ini berada dalam zona kuning RULA dan terjadi akibat kondisi yang kurang ergonomis pada tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan batang tubuh. Investigasi lebih lanjut terhadap risiko yang ada diperlukan. Perubahan mungkin dibutuhkan demi kepastian bagi keselamatan kerja di masa yang akan datang.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 4 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,606.

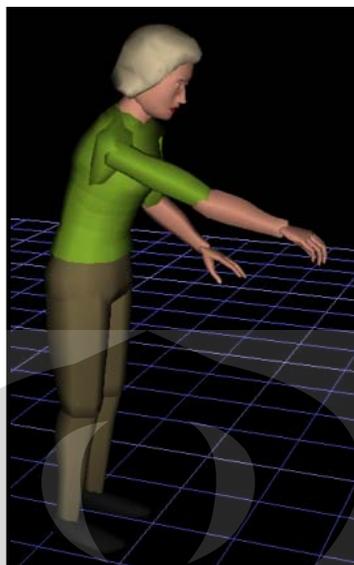
#### 4.2.5 Analisis Konfigurasi 5

Konfigurasi 5 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pencabutan benang dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 5, dan posisi kerja berdiri. Langkah pertama adalah melakukan analisis SSP untuk mengukur persentase pekerja yang mampu melaksanakan tugas. Hasilnya, nilai persentase kapabilitas untuk tubuh bagian siku, bahu, punggung, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki berada di atas 90% (tabel 4,5).

**Tabel 4.5.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 5

		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	-2	ABDUCT	35	9	100	-2	ABDUCT	39	10	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	44	15	100	-1	--	47	16	100
	Humeral Rot	-0	--	18	5	100	-0	--	22	6	100
Trunk	Flex/Ext	-6	EXTEN	145	50	100					
	Lateral Bending	-3	RIGHT	83	19	100					
	Rotation	0	--	62	19	100					
	Hip	-2	EXTEN	104	39	100	-2	EXTEN	104	39	100
	Knee	-2	FLEXN	84	27	100	-1	FLEXN	84	27	100
	Ankle	-11	EXTEN	91	25	100	-10	EXTEN	90	25	100

Langkah selanjutnya adalah menjalankan animasi secara *real time* untuk menemukan titik-titik ekstrim postur pada analisis LBA, OWAS, dan RULA (gambar 4.5). Analisis LBA menghasilkan nilai tekanan kompresi tertinggi sebesar 551 N; nilai yang masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Tekanan itu terjadi akibat bagian tubuh model membungkukkan badannya (*flexion*) 23° derajat ke depan. Posisi ini relatif ergonomis karena tubuh model tidak perlu terlalu membungkuk. Hal ini terjadi karena meja kerja memiliki tinggi yang hampir sama dengan bagian pinggang model.



**Gambar 4.5.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 5

Setelah dilakukan analisis SSP dan LBA, langkah berikutnya adalah menghitung nilai tertinggi pada analisis OWAS. Analisis ini menghasilkan kode OWAS 2121 yang mengindikasikan:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 2. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah tidak ditopang dengan alat bantu, tetapi tetap berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Nilai akhir yang diberikan OWAS adalah 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa beban yang terjadi tidaklah ekstrim, tetapi tetap dapat memberikan efek menyakitkan pada sistem muskuloskeletal. Langkah-langkah perbaikan sangat dianjurkan untuk dilakukan pada kegiatan kerja ini.

Kemudian, titik ekstrim postur pada analisis RULA dicari. Analisis ini memberikan nilai 3,2,2,2 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 5.

Sedangkan pada bagian leher dan batang tubuh, analisis RULA menghasilkan nilai 1 dan 3 dengan total nilai grup B sebesar 4. *Grand score* yang dihasilkan RULA adalah 5 yang menandakan bahwa kondisi kerja berada dalam zona merah. Kondisi yang kurang ergonomis ini terjadi akibat akumulasi kondisi serupa pada hampir seluruh bagian tubuh model. Selain itu, penggunaan otot secara statis selama lebih dari 1 menit juga memberikan sumbangan bagi kondisi tersebut. Dari hasil ini, diperlukan investigasi lebih lanjut terhadap proses pencabutan benang pada persentil 5 dengan posisi kerja berdiri. Selain itu, perbaikan yang cepat juga harus dilakukan.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 5 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,676.

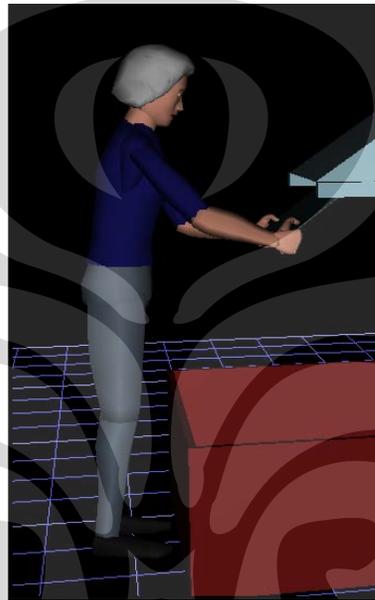
#### 4.2.6 Analisis Konfigurasi 6

Konfigurasi 6 adalah konfigurasi pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 5, dan posisi kerja berdiri. Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung persentase pekerja yang melakukan tugas dengan menggunakan analisis SSP. Analisis ini menghasilkan nilai persentase kapabilitas di atas 90% untuk tiap bagian tubuh yang dianalisis (**tabel 4.6.**). Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi 6 layak untuk dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

**Tabel 4.6.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 6

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	33	9	100	-0	--	33	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	39	10	100	-3	ABDUCT	41	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	43	15	100	-0	--	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-0	--	24	6	100
Trunk	Flex/Ext	-17	EXTEN	158	55	100					
	Lateral Bending	2	LEFT	129	32	100					
	Rotation	0	--	53	16	100					
	Hip	-5	EXTEN	104	39	99	-5	EXTEN	104	39	99
	Knee	-4	FLEXN	84	27	100	-5	FLEXN	84	27	100
	Ankle	-13	EXTEN	91	25	100	-13	EXTEN	90	25	100

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah mencari titik ekstrim postur pada tiap analisis (**gambar 4.6**). Analisis LBA menghasilkan tekanan kompresi sebesar 467 N. Nilai ini masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Tekanan yang terjadi merupakan pengaruh dari posisi tubuh model yang membungkuk  $11^\circ$  ke arah depan (*flexion*). Posisi tubuh ini cukup ergonomis karena model tidak perlu mengangkat tangan terlalu tinggi selama pelaksanaan kerja.



**Gambar 4.6.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 6

Kemudian, analisis OWAS dilakukan terhadap konfigurasi ini. Berdasarkan hasil OWAS, titik ekstrim postur yang ditemukan menghasilkan kode OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 2. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah tidak ditopang dengan alat bantu, tetapi tetap berada dalam kondisi normal.

- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan, analisis ini menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur kerja dapat memberikan efek menyakitkan pada bagian muskuloskeletal pekerja. Langkah-langkah korektif sangat dianjurkan untuk dilakukan di dalam konfigurasi ini.

Langkah terakhir yang dilakukan sebelum menghitung nilai PEI adalah mencari titik ekstrim postur pada analisis RULA. Penilaian untuk grup bagian tubuh A menghasilkan nilai 4,3,3,1 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist*. Nilai akhir untuk tubuh grup A adalah 5. Sedangkan untuk tubuh grup bagian B, analisis menghasilkan nilai 1 dan 2 untuk leher dan batang tubuh. Nilai akhir untuk tubuh grup B adalah 6. Nilai akhir keseluruhan untuk analisis RULA adalah 4. Kondisi ini yang relatif cukup ergonomis ini berada dalam zona kuning RULA. Investigasi lebih lanjut terhadap risiko diperlukan. Perubahan mungkin dibutuhkan demi kepastian bagi keselamatan kerja di masa yang akan datang.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 6 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,449.

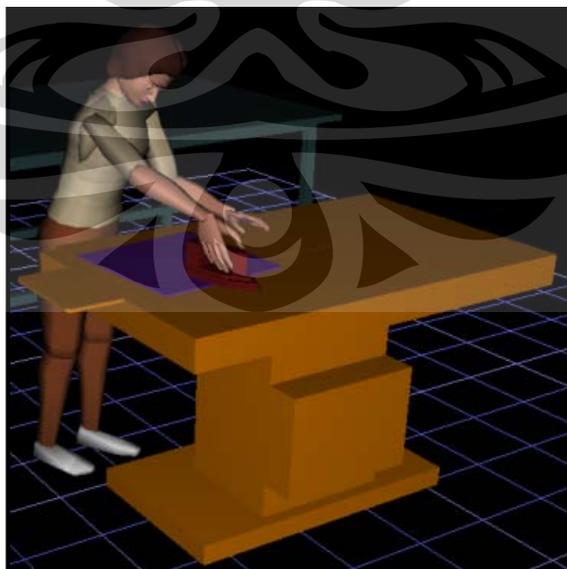
#### 4.2.7 Analisis Konfigurasi 7

Konfigurasi 7 adalah konfigurasi pada stasiun kerja penyetricaan dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 5, dan posisi kerja berdiri. Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis SSP untuk menghitung persentase kapabilitas dari populasi ketika menjalankan kegiatan kerja. Hasilnya, nilai persentase kapabilitas berada di atas titik layak 90% (**tabel 4.7.**). Artinya, konfigurasi ini dapat dilanjutkan ke analisis berikutnya. Langkah berikutnya adalah mencari titik-titik ekstrim postur pada LBA, OWAS, dan RULA.

**Tabel 4.7.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 7

		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	--	33	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	39	10	100	-7	ABDUCT	38	10	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	38	12	100	-0	--	44	15	100
	Humeral Rot	-0	--	25	7	100	-1	LATERAL	19	5	100
Trunk	Flex/Ext	-29	EXTEN	164	57	99					
	Lateral Bending	3	LEFT	125	31	100					
	Rotation	1	--	55	17	100					
	Hip	-10	EXTEN	104	39	99	-8	EXTEN	104	39	99
	Knee	-8	FLEXN	84	27	100	-11	FLEXN	84	27	100
	Ankle	-15	EXTEN	89	25	100	-22	EXTEN	94	26	100

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah mencari titik ekstrim postur pada tiap analisis (**gambar 4.7.**). Analisis LBA menghasilkan tekanan kompresi tertinggi sebesar 690 N. Nilai ini masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N yang merepresentasikan batas risiko normal terjadinya cedera punggung untuk pekerja mayoritas yang berada dalam kondisi sehat. Tekanan sebesar 690 N terjadi akibat posisi tubuh model membungkuk  $11^\circ$  ke depan (*flexion*). Dalam dunia nyata, posisi ini dilakukan pekerja untuk mempermudah proses penyetricaan yang dilakukan di atas meja kerja dengan tinggi yang lebih rendah daripada bagian punggung model.

**Gambar 4.7.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 7

Kemudian, model dianalisis untuk mencari titik ekstrim berdasarkan analisis OWAS. Analisis ini menghasilkan kode OWAS 4121 yang berarti:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 4 yang mengindikasikan terjadinya kombinasi antara posisi membungkuk ke depan (*flexion*) dengan posisi memutar tubuh (*twist*).
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 2. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah tidak ditopang dengan alat bantu, tetapi tetap berada dalam kondisi normal.
- Bagian kepala dan leher berada dalam kategori 1. Hal ini mengindikasikan bahwa kepala dan leher model berada dalam kondisi yang normal.

Nilai akhir dari analisis OWAS adalah 2. Nilai ini mengindikasikan bahwa, secara keseluruhan, postur kerja mungkin dapat memberikan efek yang menyakitkan pada sistem muskuloskeletal pekerja. Walaupun beban yang diterima tidaklah ekstrim, langkah-langkah korektif sangatlah dianjurkan untuk dilakukan.

Kemudian, model konfigurasi dianalisis dengan metode RULA. Titik ekstrim yang ditemukan menghasilkan nilai 4,3,2,2 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* (tubuh grup A). Nilai total untuk tubuh grup A adalah 5. Nilai 3 dan 2 diberikan untuk posisi leher dan batang tubuh (tubuh grup B). Nilai total untuk tubuh grup B adalah 3. Secara keseluruhan, analisis RULA menghasilkan nilai akhir 4. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi kerja berada di zona kuning RULA. Kondisi ini relatif cukup ergonomis, tetapi investigasi lebih lanjut tetap diperlukan. Selain itu mungkin dibutuhkan perbaikan terhadap kondisi kerja pada konfigurasi ini.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 7 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,514.

#### 4.2.8 Analisis Konfigurasi 8

Konfigurasi 8 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian dengan skenario variabel: pekerja wanita, persentil 5, dan posisi kerja berdiri. Sebagai langkah awal, analisis SSP dilakukan untuk menghitung persentase pekerja yang mampu mengerjakan tugas. Analisis ini memberikan nilai persentase kapabilitas di atas 90% untuk setiap bagian tubuh (**tabel 4.8**). Nilai ini menunjukkan bahwa konfigurasi 8 layak dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

Langkah berikutnya adalah menentukan titik ekstrim postur pada tiap-tiap analisis yang dipakai (**gambar 4.8**). Pada analisis LBA, tekanan kompresi tertinggi berada pada titik 472 N; nilai yang masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Kondisi ini relatif ergonomis karena model pekerja hanya membungkuk  $11^\circ$  ke depan (*flexion*) untuk memudahkan dalam melakukan proses pelipatan. Besarnya derajat kemiringan dipengaruhi oleh jarak antara tubuh bagian atas dengan tinggi meja kerja. Pada model persentil 5, jarak tersebut relatif dekat.

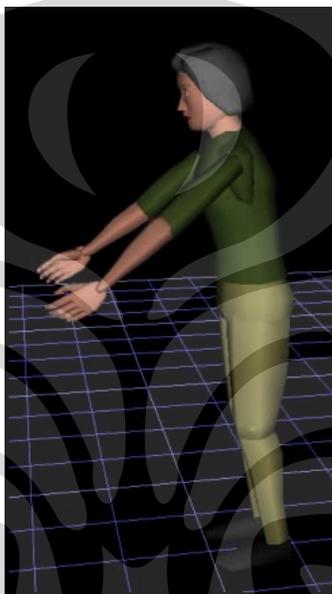
**Tabel 4.8.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 8

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	14	5	100	-0	--	33	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	32	8	100	-3	ABDUCT	37	10	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	40	14	100	-0	--	44	15	100
	Humeral Rot	-0	--	12	3	100	-0	--	18	5	100
Trunk	Flex/Ext	-17	EXTEN	157	54	99					
	Lateral Bending	-0	--	122	28	100					
	Rotation	-0	--	53	16	100					
	Hip	-5	EXTEN	104	39	99	-5	EXTEN	104	39	99
	Knee	-3	FLEXN	81	26	100	-6	FLEXN	84	27	100
	Ankle	-15	EXTEN	94	26	100	-15	EXTEN	91	25	100

Kemudian model dianalisis dengan menggunakan analisis OWAS. Analisis ini menghasilkan kode OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.

- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 2. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah tidak ditopang dengan alat bantu, tetapi tetap berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.



**Gambar 4.8.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 8

Secara keseluruhan, analisis OWAS memberikan nilai 2 terhadap konfigurasi. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur kerja dapat memberikan efek menyakitkan pada bagian muskuloskeletal pekerja. Meskipun beban yang terjadi tidaklah ekstrim, langkah-langkah korektif sangat dianjurkan untuk dilakukan di dalam konfigurasi ini.

Kemudian, titik ekstrim postur pada analisis RULA dicari. Analisis ini memberikan nilai 4,3,2,2 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 5. Sedangkan pada bagian leher dan batang tubuh, analisis RULA menghasilkan nilai 1 dan 2 dengan total nilai grup B sebesar 2. *Grand score* yang dihasilkan adalah 4 yang mengindikasikan kondisi kerja berada dalam zona kuning RULA.

Risiko yang terjadi harus diinvestigasi lebih lanjut dan mungkin dibutuhkan langkah perbaikan di dalamnya.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 8 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,45.

#### 4.2.9 Analisis Konfigurasi 9

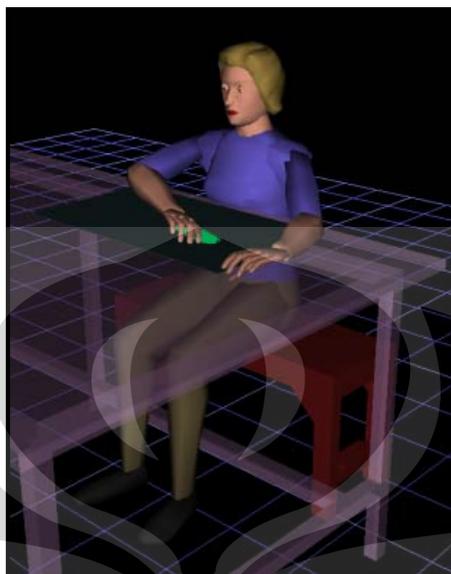
Konfigurasi 9 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pencabutan benang dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 95, dan posisi kerja duduk. Setelah animasi selesai dibuat, maka dilihat nilai persentase kapabilitas pada analisis SSP. Hasilnya, seluruh bagian tubuh yang dianalisis memberikan nilai persentase kapabilitas di atas 90% (**tabel 4.9.**). Nilai ini mengindikasikan konfigurasi 9 layak untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

**Tabel 4.9.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 9

		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	28	7	100	-5	ABDUCT	34	9	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	39	13	100	-1	--	42	14	100
	Humeral Rot	-1	--	10	3	100	-1	LATERAL	11	3	100
Trunk	Flex/Ext	-8	EXTEN	255	88	100					
	Lateral Bending	2	LEFT	150	37	100					
	Rotation	-0	--	55	17	100					
	Hip	-0	--	115	44	100	-0	--	115	44	100
	Knee	0	--	112	39	100	0	--	112	39	100
	Ankle	0	--	83	23	100	0	--	83	23	100

Selanjutnya, animasi dijalankan secara *real time* untuk menentukan titik-titik ekstrim postur yang memberikan nilai yang paling tidak ergonomis pada tiap analisis (**gambar 4.9**). Pada analisis LBA, terungkap bahwa tekanan kompresi tertinggi berada pada nilai 639 N; nilai yang masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Nilai ini mengindikasikan bahwa risiko berada dalam tingkat yang normal sehingga peluang terjadinya cedera bagian punggung menjadi tidak tinggi. Hal ini terjadi akibat posisi tubuh yang hanya membungkuk 17° derajat ke arah depan (*flexion*). Posisi ini menjadi relatif

ergonomis karena posisi benda kerja tepat berada di depan model yang diberikan alat bantu bangku.



**Gambar 4.9.** Titik Ekstrem pada Konfigurasi 9

Analisis berikutnya adalah analisis dengan menggunakan metode OWAS. Setelah dilakukan analisis, konfigurasi 9 menghasilkan kode OWAS 1111. Hal ini menandakan bahwa:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 1 yang mengindikasikan bahwa posisi batang tubuh berada dalam kondisi normal.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah berada dalam kondisi normal dan ditopang oleh alat bantu seperti bangku.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan, nilai OWAS yang dihasilkan adalah 1. Kondisi ini menunjukkan postur kerja yang paling ergonomis jika dilihat dari analisis OWAS. Postur kerja yang ada berada dalam kondisi normal dan alami. Beban yang terjadi pada sistem muskuloskeletal dapat diterima sehingga tidak diperlukan langkah-langkah perbaikan.

Analisis terakhir yang dilakukan sebelum menghitung nilai PEI adalah analisis titik ekstrim dengan RULA. Untuk tubuh grup A, analisis ini menghasilkan nilai 4,2,2,1 pada tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist*. Total nilai pada tubuh grup A adalah 5. Sedangkan untuk tubuh grup B, analisis RULA menghasilkan nilai 1 dan 1 pada leher dan batang tubuh. Total nilai pada tubuh grup B adalah 1. Secara keseluruhan, analisis RULA menghasilkan *grand score* 4. Kondisi ini relatif cukup ergonomis. Meskipun demikian, investigasi lebih lanjut tetap perlu dilakukan dan langkah-langkah korektif mungkin dibutuhkan.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 9 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,249.

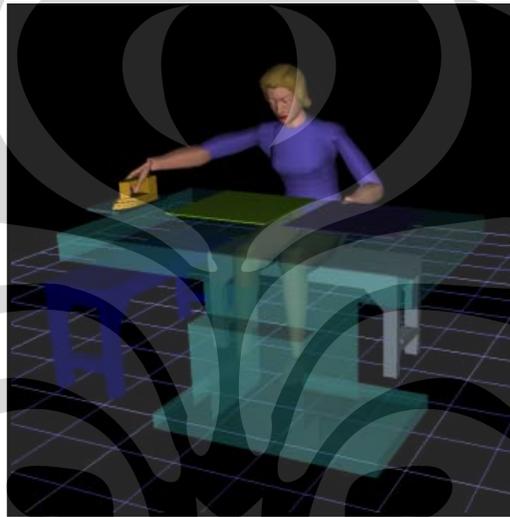
#### 4.2.10 Analisis Konfigurasi 10

Konfigurasi 10 adalah konfigurasi pada stasiun kerja penyetricaan dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 95, dan posisi kerja duduk. Pada tahap pertama, analisis SSP dilakukan untuk menghitung persentase populasi yang mampu melakukan kegiatan kerja. Hasilnya, analisis SSP menghasilkan nilai persentase kapabilitas di atas 90% untuk tiap bagian tubuh yang dianalisis (**tabel 4.10.**). Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi 10 layak untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

**Tabel 4.10.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 10

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-2	FLEXN	36	10	100	-3	FLEXN	39	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	37	10	100	-6	ABDUCT	36	9	100
	Rotation Bk/Fd	0	--	38	12	100	-2	FORWARD	46	15	100
	Humeral Rot	-0	--	28	7	100	-2	LATERAL	18	5	100
Trunk	Flex/Ext	-26	EXTEN	270	93	100					
	Lateral Bending	7	LEFT	191	47	100					
	Rotation	-1	--	56	17	100					
	Hip	-0	--	119	45	100	-0	--	119	45	100
	Knee	0	--	108	37	100	0	--	112	39	100
	Ankle	0	--	87	24	100	0	--	81	22	100

Selanjutnya, animasi model dijalankan secara *real time* untuk menemukan titik-titik ekstrim postur pada analisis LBA, OWAS, dan RULA (**gambar 4.10.**). Pada analisis LBA, nilai tekanan kompresi tertinggi yang ditemukan berjumlah 1086 N. Nilai ini masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Meskipun dalam posisi duduk, posisi tubuh model tetap harus membungkuk  $37,7^\circ$  derajat ke arah depan (*flexion*) untuk menjangkau setrika yang berada di tempat peletakannya. Secara umum, titik ekstrim postur tidak membahayakan punggung pekerja karena risiko cedera berada pada titik normal.



**Gambar 4.10.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 10

Kemudian, analisis OWAS dilakukan terhadap konfigurasi ini. Berdasarkan hasil OWAS, titik ekstrim postur yang ditemukan menghasilkan kode OWAS 2111 yang berarti:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah ditopang dengan alat bantu dan berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan, OWAS memberikan nilai akhir 2 yang mengindikasikan bahwa postur kerja dapat memberikan efek yang menyakitkan pada sistem muskuloskeletal. Meskipun beban yang diterima tidak ekstrim, langkah-langkah korektif sangat dianjurkan untuk dilakukan.

Kemudian, titik ekstrim postur pada analisis RULA dicari. Analisis ini memberikan nilai 4,3,2,2 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 5. Sedangkan pada bagian leher dan batang tubuh, analisis RULA menghasilkan nilai 1 dan 3 dengan total nilai grup B sebesar 4. *Grand score* yang dihasilkan analisis ini adalah 4. Kondisi ini relatif cukup ergonomis karena tubuh model telah ditopang oleh tempat. Meskipun demikian, investigasi lebih lanjut tetap diperlukan dan perubahan-perubahan mungkin saja diperlukan.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 10 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai yang dihasilkan adalah 1,631.

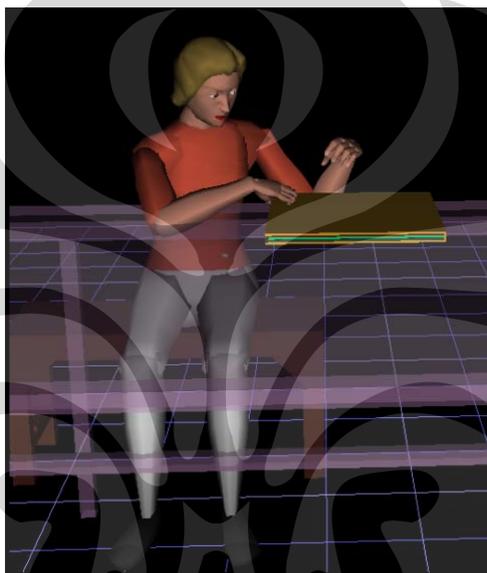
#### 4.2.11 Analisis Konfigurasi 11

Konfigurasi 11 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 95, dan posisi kerja duduk. Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai persentase populasi yang dapat melakukan kerja dengan analisis SSP. SSP menghasilkan nilai di atas 90% (**tabel 4.11.**) untuk tiap bagian tubuh yang dianalisis, sehingga konfigurasi ini layak dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

**Tabel 4.11.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 11

		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	-0	--	37	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	33	9	100	-5	ABDUCT	33	9	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	41	14	100	-1	--	42	14	100
	Humeral Rot	-0	--	19	5	100	-1	LATERAL	20	5	100
Trunk	Flex/Ext	-16	EXTEN	261	90	100					
	Lateral Bending	-11	RIGHT	165	38	100					
	Rotation	1	--	71	22	100					
	Hip	-0	--	117	44	100	-0	--	117	44	100
	Knee	0	--	112	39	100	0	--	112	39	100
	Ankle	0	--	83	23	100	0	--	83	23	100

Selanjutnya, animasi dijalankan secara *real time* untuk menentukan titik-titik ekstrim postur pada tiap analisis (**gambar 4.11.**). Pada analisis LBA, titik ekstrim postur yang didapat menghasilkan nilai tekanan kompresi 748 N. Nilai ini masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Nilai ini merepresentasikan kondisi kerja yang berada di bawah batas risiko normal terjadinya cedera punggung. Tekanan yang terima terjadi akibat posisi badan yang membungkuk  $23^\circ$  ke arah depan (*flexion*) dan membengkok  $36,8^\circ$  ke arah samping (*axial*) agar memudahkan dalam melakukan kegiatan kerja.



**Gambar 4.11.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 11

Kemudian, model dianalisis untuk mencari titik ekstrim berdasarkan analisis OWAS. Analisis ini menghasilkan kode OWAS 3111 yang berarti:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 3 yang mengindikasikan terjadinya kombinasi antara posisi membungkuk ke depan (*flexion*) dengan posisi tubuh berputar (*twist*) pada model manekin.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah ditopang dengan alat bantu dan berada dalam kondisi normal.

- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan, nilai OWAS yang dihasilkan adalah 1. Kondisi ini menunjukkan postur kerja yang paling ergonomis jika dilihat dari analisis OWAS. Postur kerja yang ada berada dalam kondisi normal dan alami. Beban yang terjadi pada sistem muskuloskeletal dapat diterima sehingga tidak diperlukan langkah-langkah perbaikan.

Langkah terakhir sebelum perhitungan PEI adalah mencari titik ekstrim postur pada analisis RULA. Analisis RULA memberikan nilai 4,3,2,2 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 5. Untuk tubuh grup B, analisis ini memberikan nilai 2 dan 1 untuk bagian leher dan batang tubuh dengan total nilai tubuh grup B sebesar 2. Secara keseluruhan, RULA memberikan *grand score* sebesar 4 untuk titik ekstrim postur yang ditemukan. Hasil ini mengindikasikan bahwa postur kerja berada dalam zona kuning RULA. Investigasi lebih lanjut diperlukan terhadap risiko yang ada dan langkah-langkah perbaikan mungkin dibutuhkan.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 11 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,281.

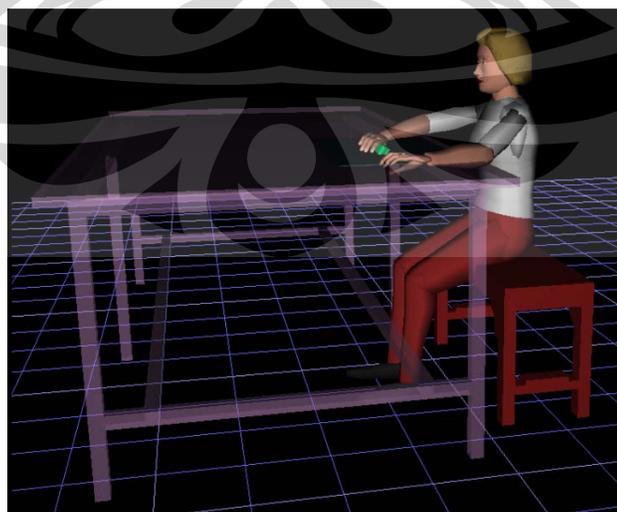
#### 4.2.12 Analisis Konfigurasi 12

Konfigurasi 12 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pencabutan benang dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 5, dan posisi kerja duduk. Tahap pertama, persentase pekerja dalam populasi yang melaksanakan kerja dihitung dengan menggunakan analisis SSP. Hasilnya, semua bagian tubuh yang dianalisis memberikan nilai persentase kapabilitas di atas 90% (**tabel 4.12.**). Hal ini mengindikasikan bahwa konfigurasi 12 layak dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

**Tabel 4.12.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 12

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	35	9	100	-0	--	34	9	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	31	8	100	-4	ABDUCT	38	10	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	40	13	100	-0	--	44	15	100
	Humeral Rot	-1	--	14	4	100	-0	--	16	4	100
Trunk	Flex/Ext	-7	EXTEN	235	81	100					
	Lateral Bending	1	LEFT	150	37	100					
	Rotation	-0	--	55	17	100					
	Hip	-0	--	111	42	100	-0	--	111	42	100
	Knee	0	--	114	40	100	0	--	114	40	100
	Ankle	0	--	81	22	100	0	--	80	22	100

Selanjutnya, animasi dijalankan secara *real time* untuk mencari titik-titik ekstrim postur pada tiap tahap analisis (**gambar 4.12.**). Analisis LBA mencatat bahwa tekanan kompresi tertinggi terjadi pada titik 382 N. Nilai ini masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Dari sini, kondisi postur kerja dapat dikatakan cukup ergonomis karena risiko cedera punggung belum melebihi batas yang ada. Tekanan kompresi sebesar 382 N dipengaruhi oleh posisi badan model yang harus membungkukkan badan  $17^\circ$  ke depan (*flexion*). Angka ini relatif kecil karena model manekin tidak perlu terlalu menunduk selama melakukan kegiatan kerja karena tinggi meja kerja tidak terlalu berbeda dengan tinggi badan model.

**Gambar 4.12.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 12

Kemudian, titik ekstrim postur pada analisis OWAS dicari. Hasilnya, titik ekstrim tersebut menghasilkan kode OWAS 1311 dan nilai akhir OWAS sebesar 1. Kode OWAS 1311 menunjukkan bahwa:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 1 yang mengindikasikan bahwa posisi batang tubuh berada dalam kondisi normal.
- Bagian tangan berada dalam kategori 3 yang menandakan bahwa tangan sedang berada dalam posisi terangkat ke arah atas. Posisi tangan ini adalah posisi yang paling tidak ergonomis dalam penilaian OWAS.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah ditopang dengan alat bantu dan berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Evaluasi akhir yang diberikan OWAS adalah bernilai 1. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur kerja terlihat normal dan alami. Selain itu, beban yang terjadi terhadap sistem muskuloskeletal masih diterima. Langkah-langkah korektif masih belum diperlukan.

Analisis keempat adalah analisis titik ekstrim postur berdasarkan metode RULA. RULA memberikan nilai 5,2,2,1 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 7. Untuk tubuh grup B, analisis ini memberikan nilai 1 dan 1 untuk bagian leher dan batang tubuh dengan total nilai tubuh grup B sebesar 1. Secara keseluruhan RULA memberikan *grand score* bernilai 5 pada titik ekstrim yang terjadi. Nilai yang berada dalam zona merah RULA ini terjadi akibat posisi yang kurang ergonomis pada tubuh grup A, terutama bagian lengan atas yang terangkat lebih dari 90°. Secara keseluruhan, investigasi dan langkah-langkah perbaikan terhadap kegiatan kerja dibutuhkan dengan cepat untuk mengurangi risiko yang ada.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 12 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,377.

#### 4.2.13 Analisis Konfigurasi 13

Konfigurasi 13 adalah konfigurasi pada stasiun kerja penyetricaan dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 5, dan posisi kerja duduk. Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis SSP. Hasilnya, seluruh bagian tubuh memiliki nilai persentase kapabilitas lebih dari 90% (**tabel 4.13.**). Oleh karena itu, konfigurasi 13 layak dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

**Tabel 4.13.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 13

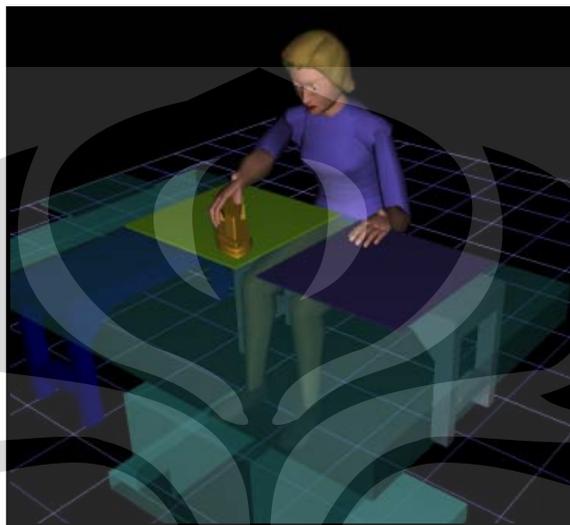
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	36	10	100	-2	FLEXN	38	10	100
	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	36	10	100	-5	ABDUCT	36	9	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-0	--	44	15	100	-2	FORWARD	45	15	100
	Humeral Rot	-0	--	27	7	100	-2	LATERAL	18	5	100
Trunk	Flex/Ext	-15	EXTEN	255	88	100					
	Lateral Bending	4	LEFT	174	43	100					
	Rotation	-0	--	56	17	100					
	Hip	-0	--	115	44	100	0	--	125	42	100
	Knee	0	--	112	39	100	0	--	113	39	100
	Ankle	0	--	86	23	100	0	--	76	21	100

Langkah berikutnya adalah menentukan titik ekstrim postur pada tiap-tiap analisis yang dipakai (**gambar 4.13**). Pada analisis LBA, nilai tekanan kompresi tertinggi adalah 737 N; nilai yang masih berada di bawah batas *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Nilai tekanan ini dipengaruhi posisi model yang membungkukkan badan  $37,2^\circ$  ke depan (*flexion*). Dapat disimpulkan bahwa risiko yang ditimbulkan tekanan ini masih dapat diterima karena berada di bawah ambang batas yang ada.

Analisis berikutnya adalah analisis dengan menggunakan metode OWAS. Setelah dilakukan analisis, konfigurasi 13 menghasilkan kode OWAS 2111. Hal ini menandakan bahwa:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal.

- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah ditopang dengan alat bantu dan berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.



**Gambar 4.13.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 13

Secara keseluruhan, OWAS memberikan nilai akhir 2 yang mengindikasikan bahwa postur kerja dapat memberikan efek yang menyakitkan pada sistem muskuloskeletal. Meskipun beban yang diterima tidak ekstrim, langkah-langkah korektif sangat dianjurkan untuk dilakukan.

Kemudian, titik ekstrim postur pada analisis RULA dicari. Analisis ini memberikan nilai 5,3,3,2 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 7. Sedangkan pada bagian leher dan batang tubuh, analisis RULA menghasilkan nilai 1 dan 3 dengan total nilai grup B sebesar 3. *Grand score* yang dihasilkan RULA adalah 6 yang menandakan bahwa kondisi kerja berada dalam zona merah. Kondisi ini terjadi akibat perpaduan kondisi yang kurang ergonomis pada hampir seluruh tubuh yang dianalisis, kecuali leher. Secara keseluruhan, investigasi dan langkah-langkah perbaikan terhadap kegiatan kerja dibutuhkan dengan cepat untuk mengurangi risiko yang ada.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 13 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,934.

#### 4.2.14 Analisis Konfigurasi 14

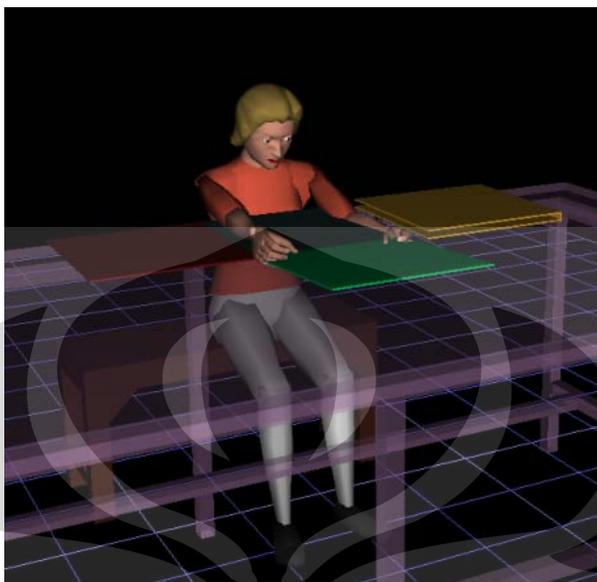
Konfigurasi 14 adalah konfigurasi pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan kain dengan karakteristik: pekerja wanita, persentil 5, dan posisi kerja duduk. Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis SSP untuk menghitung persentase kapabilitas dari populasi ketika menjalankan kegiatan kerja. Hasilnya, nilai persentase kapabilitas berada di atas titik layak 90% (**tabel 4.14**). Artinya, konfigurasi ini dapat dilanjutkan ke analisis berikutnya. Langkah berikutnya adalah mencari titik-titik ekstrim postur pada LBA, OWAS, dan RULA.

**Tabel 4.14.** Persentase Kapabilitas Konfigurasi 14

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		0	--	16	5	100	0	--	20	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	31	8	100	-3	ABDUCT	30	8	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	39	13	100	-0	--	40	14	100
	Humeral Rot	-1	--	15	4	100	-1	--	17	4	100
Trunk	Flex/Ext	-6	EXTEN	235	81	100					
	Lateral Bending	-7	RIGHT	136	31	100					
	Rotation	1	CCW	68	21	100					
Hip		-0	--	111	42	100	0	--	140	47	100
Knee		0	--	114	40	100	0	--	114	40	100
Ankle		0	--	82	22	100	0	--	80	22	100

Langkah selanjutnya adalah menjalankan animasi secara *real time* untuk menemukan titik-titik ekstrim postur pada analisis LBA, OWAS, dan RULA (**gambar 4.14**). Analisis LBA menghasilkan nilai tekanan kompresi tertinggi sebesar 464 N; nilai yang masih berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N. Tekanan itu terjadi akibat bagian tubuh model membungkukkan badannya (*flexion*) 11° ke depan untuk mempermudah mengerjakan proses pelipatan. Kondisi ini dapat dikatakan cukup ergonomis

karena tekanan yang diterima punggung masih dapat diterima dan berisiko kecil menimbulkan cedera.



**Gambar 4.14.** Titik Ekstrim pada Konfigurasi 14

Analisis berikutnya adalah analisis dengan menggunakan metode OWAS. Setelah dilakukan analisis, konfigurasi 14 menghasilkan kode OWAS 2311. Hal ini menandakan bahwa:

- Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2 yang mengindikasikan terjadinya posisi membungkuk ke depan (*flexion*) pada model.
- Bagian tangan berada dalam kategori 3 yang menandakan bahwa tangan sedang berada dalam posisi terangkat ke arah atas. Posisi tangan ini adalah posisi yang paling tidak ergonomis dalam penilaian OWAS.
- Bagian tubuh bawah berada dalam kategori 1. Kategori ini menandakan bahwa tubuh bagian bawah ditopang dengan alat bantu dan berada dalam kondisi normal.
- Beban yang diterima model berada pada kategori 1. Kategori ini menunjukkan bahwa beban yang diterima kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan, analisis OWAS memberikan nilai akhir sebesar 3. Nilai ini mengindikasikan bahwa postur kerja yang dianalisis memberikan rasa sakit pada sistem muskuloskeletal. Langkah-langkah korektif harus dilakukan secepat mungkin.

Langkah terakhir sebelum perhitungan PEI adalah mencari titik ekstrim postur pada analisis RULA. Analisis RULA memberikan nilai 5,3,2,1 untuk tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist* dengan total nilai tubuh grup A sebesar 6. Untuk tubuh grup B, analisis ini memberikan nilai 2 dan 2 untuk bagian leher dan batang tubuh dengan total nilai tubuh grup B sebesar 2. Secara keseluruhan, RULA memberikan *grand score* sebesar 4 untuk titik ekstrim postur yang ditemukan. Nilai ini mengindikasikan kondisi yang masih cukup ergonomis. Meskipun demikian, investigasi lebih lanjut dibutuhkan dan langkah-langkah korektif mungkin saja diperlukan.

Langkah terakhir dalam analisis konfigurasi 14 adalah menghitung nilai PEI. Setelah dihitung dengan persamaan 2.4, nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,698.

### 4.3 Analisis Stasiun Kerja

Pada tiap stasiun kerja, konfigurasi-konfigurasi yang ada dianalisis menggunakan metode LBA, OWAS, dan RULA. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi postur dan stasiun kerja antara konfigurasi dengan nilai LBA tertinggi dengan konfigurasi dengan nilai LBA terendah, konfigurasi dengan nilai OWAS tertinggi dengan konfigurasi dengan nilai OWAS terendah, dan konfigurasi dengan nilai RULA tertinggi dengan konfigurasi dengan nilai RULA terendah. Untuk menganalisis kondisi ergonomi secara keseluruhan, kondisi dan postur kerja pada konfigurasi dengan nilai PEI tertinggi akan dibandingkan dengan konfigurasi dengan nilai PEI terendah.

#### 4.3.1 Analisis Stasiun Kerja Pencabutan Benang

**Tabel 4.15.** menunjukkan rekapitulasi perhitungan nilai PEI terhadap empat buah konfigurasi pada stasiun kerja pencabutan benang.

**Tabel 4.15.** Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Kerja Pencabutan Benang

NO	NAMA	VARIABEL			NILAI SSP > 90%	NILAI LBA (Newton)	NILAI OWAS	NILAI RULA	NILAI PEI
		JENIS KELAMIN PEKERJA	PERSENTIL DATA ANTROPOMETRI	POSISI KERJA					
1	Konfigurasi 1	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	998	2	7	2,213529
2	Konfigurasi 5	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	551	2	5	1,676345
3	Konfigurasi 9	Wanita	Persentil 95	Duduk	Ya	639	1	4	1,24937
4	Konfigurasi 12	Wanita	Persentil 5	Duduk	Ya	382	1	5	1,376639

Pada analisis LBA, nilai tekanan kompresi tertinggi yang diterima model pada stasiun kerja pencabutan benang dihasilkan oleh konfigurasi 1, yaitu berjumlah 998 N. Sedangkan nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 12 yang berjumlah 382 N.

Perbedaan pada besar tekanan kompresi terjadi akibat faktor posisi kemiringan tubuh ketika melakukan kegiatan kerja. Pada konfigurasi 1, model manekin harus diatur untuk menunduk  $35^\circ$  ke arah depan (*flexion*) untuk mempermudah model dalam menjangkau seluruh bagian pakaian. Di dunia nyata, hampir seluruh bagian dari pakaian memiliki sisa benang sehingga pekerja harus menggerakkan tangan ke seluruh sisi pakaian, membalikkannya ke sisi yang berbeda untuk mencari sisa benang yang lain, dan melakukan pengecekan akhir untuk memastikan tidak ada sisa benang yang tersisa.

Derajat kemiringan pada model konfigurasi dipengaruhi oleh interaksi antara faktor tinggi tubuh dengan posisi kerja. Pada konfigurasi 1, perpaduan antara tinggi tubuh pada persentil 95 (tinggi 159,275 cm) dan posisi kerja berdiri membuat bagian tubuh atas dari model berada cukup jauh dengan meja kerja yang memiliki tinggi 81 cm. Sehingga membungkukkan badan menjadi sebuah kebutuhan untuk mempermudah kegiatan kerja meskipun posisi tersebut rentan menimbulkan cedera pada bagian punggung pekerja. Sedangkan pada konfigurasi 12, model manekin hanya perlu menunduk dengan derajat kemiringan yang relatif kecil, yaitu  $17^\circ$ . Hal ini terjadi akibat perpaduan antara tinggi tubuh pada persentil 5 (144,175 cm) dengan posisi kerja duduk. Kedua faktor tersebut membuat posisi bagian tubuh atas model manekin konfigurasi 12 berada lebih dekat dengan meja kerja jika dibandingkan dengan apa yang terdapat pada konfigurasi 1.

Berdasarkan analisis LBA, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 12 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja pencabutan benang.

Pada analisis OWAS, nilai tertinggi dihasilkan oleh konfigurasi 1 dan 5 yang menghasilkan nilai akhir sebesar 2. Nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 9 dan 12 dengan nilai akhir 1. Dari sini kita bisa melihat bahwa variabel yang memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai OWAS adalah posisi kerja. Nilai OWAS tertinggi terdapat pada model dengan posisi kerja berdiri. Sebaliknya, nilai OWAS terendah terdapat pada posisi kerja duduk. Hal ini terutama dipengaruhi oleh angka ketiga pada kode digit OWAS yang dihasilkan dari analisis. Angka ketiga menunjukkan kategori posisi batang tubuh yang ditampilkan pada model. Kategori 1 pada posisi batang tubuh menunjukkan postur yang normal dalam keadaan duduk, sedangkan kategori 2 menunjukkan postur yang normal dalam keadaan. Jika dilihat dari sisi variabel persentil, penurunan tingkat persentil tidak memberikan pengaruh terhadap nilai OWAS.

Dapat disimpulkan bahwa, berdasarkan analisis OWAS, konfigurasi 9 dan 12 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja pencabutan benang karena keduanya menggunakan posisi kerja duduk.

Pada analisis RULA, nilai tertinggi dihasilkan oleh konfigurasi 1 dengan nilai akhir sebesar 7. Nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 9 dengan nilai sebesar 4. Nilai akhir RULA pada tiap konfigurasi dipengaruhi oleh nilai RULA pada tiap bagian tubuh. Dari sini dapat dikatakan bahwa kombinasi interaksi faktor tinggi tubuh dengan posisi kerja memberikan pengaruh terhadap kondisi tiap bagian tubuh. Pada konfigurasi 1, interaksi tinggi tubuh persentil 95 (159,275 cm) dengan posisi berdiri memberikan pengaruh yang sangat tidak ergonomis pada hampir seluruh bagian tubuh model, terutama pada bagian batang tubuh. Batang tubuh mendapatkan nilai tertinggi (paling tidak ergonomis) yaitu 4, karena badan harus membungkuk lebih 60° ke arah depan. Kondisi yang tidak ergonomis pada konfigurasi 1 juga dipengaruhi oleh faktor penggunaan otot yang cenderung statis, baik pada tubuh grup A maupun tubuh grup B.

Pada konfigurasi 9, interaksi tinggi tubuh persentil 95 (159,275 cm) dengan posisi duduk menghasilkan kondisi yang paling ergonomis. Interaksi keduanya membuat meja kerja tepat berada di hadapan bagian atas tubuh model,

sehingga model tidak perlu terlalu menunduk ke depan. Hal ini dibuktikan dengan hasil nilai RULA yang diberikan terhadap bagian batang tubuh. Nilai bagian batang tubuh adalah 1; kondisi yang paling ergonomis untuk bagian ini. Nilai tertinggi pada konfigurasi 9 adalah nilai yang diberikan pada bagian lengan atas, yaitu 4. Ini terjadi akibat tangan harus dinaikkan antara  $45^{\circ}$  hingga  $90^{\circ}$  ke arah depan untuk menyesuaikan dengan tinggi meja kerja yang dipakai.

Berdasarkan analisis RULA, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 9 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja pencabutan benang.

Secara keseluruhan, konfigurasi 1 memiliki nilai PEI yang paling tinggi, yaitu 2,214. Hal ini menjelaskan bahwa konfigurasi 1 memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja pencabutan benang. Sebaliknya, konfigurasi 9 memiliki nilai PEI yang paling rendah, yaitu 1,249. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 9 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja pencabutan benang.

#### 4.3.2 Analisis Stasiun Kerja Penyedotan Debu dan Benang

**Tabel 4.16.** menunjukkan rekapitulasi perhitungan nilai PEI terhadap dua buah konfigurasi pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang.

**Tabel 4.16.** Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Kerja Penyedotan Debu dan Benang

NO	NAMA	VARIABEL			NILAI SSP > 90%	NILAI LBA (Newton)	NILAI OWAS	NILAI RULA	NILAI PEI
		JENIS KELAMIN PEKERJA	PERSENTIL DATA ANTROPOMETRI	POSISI KERJA					
1	Konfigurasi 2	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	740	2	3	1,326218
2	Konfigurasi 6	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	467	2	4	1,448782

Pada analisis LBA, nilai tekanan kompresi tertinggi yang diterima model pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang dihasilkan oleh konfigurasi 2, yaitu berjumlah 740 N. Sedangkan nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 6 yang berjumlah 467 N.

Perbedaan pada besar tekanan kompresi terjadi akibat faktor tinggi tubuh pada tiap persentil. Pada konfigurasi 2 dan 6, model manekin harus diatur untuk menunduk  $11^{\circ}$  ke arah depan (*flexion*) untuk mempermudah model dalam menjangkau seluruh bagian pakaian. Tetapi model manekin pada konfigurasi 2

memiliki tinggi badan yang lebih tinggi daripada model pada konfigurasi 6. Semakin tinggi badan model manekin, semakin jauh jarak antara tubuh atas dengan meja kerja. Dapat disimpulkan, berdasarkan analisis LBA, konfigurasi 6 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang.

Pada analisis OWAS, kedua konfigurasi mendapatkan nilai yang sama, yaitu 2. Hasil ini dipengaruhi oleh posisi kerja yang digunakan keduanya, yaitu posisi berdiri. Angka ketiga pada kode digit OWAS berada dalam kategori yang sama, yaitu kategori 2. Kategori 2 mengindikasikan posisi bagian bawah tubuh yang tidak ditopang oleh alat bantu, tetapi masih tetap berada dalam kondisi normal. Secara keseluruhan, kedua konfigurasi dinilai cukup ergonomis berdasarkan analisis OWAS.

Pada analisis RULA, nilai tertinggi dihasilkan oleh konfigurasi 6 dengan nilai akhir sebesar 4. Nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 2 dengan nilai sebesar 3. Perbedaan ini terjadi akibat perbedaan nilai RULA yang diberikan pada bagian pergelangan tangan. Nilai pergelangan tangan pada konfigurasi 6 berjumlah 3 dan nilai pergelangan tangan pada konfigurasi 2 berjumlah 2. Nilai tersebut ini mengindikasikan bahwa posisi pergelangan tangan pada persentil 5 lebih menekuk jika dibandingkan dengan posisi pergelangan tangan pada persentil 95. Hal ini terjadi akibat posisi pergelangan tangan pada persentil 5 harus lebih disesuaikan dengan posisi mulut penghisap yang berjarak 105,5 cm dari tanah. Penyesuaian itu diperlukan karena posisi tangan normal persentil 5 berada lebih jauh dengan posisi mulut penghisap jika dibandingkan dengan posisi tangan normal persentil 95.

Berdasarkan analisis RULA, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 2 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang.

Secara keseluruhan, konfigurasi 6 memiliki nilai PEI yang paling tinggi, yaitu 1,449. Hal ini menjelaskan bahwa konfigurasi 6 memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang. Sebaliknya, konfigurasi 2 memiliki nilai PEI yang paling rendah, yaitu 1,326. Hal

ini menunjukkan bahwa konfigurasi 2 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang.

#### 4.3.3 Analisis Stasiun Kerja Penyetrikaan

**Tabel 4.17.** menunjukkan rekapitulasi perhitungan nilai PEI terhadap empat buah konfigurasi pada stasiun kerja penyetrikaan.

**Tabel 4.17.** Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Kerja Penyetrikaan

NO	NAMA	VARIABEL			NILAI SSP > 90%	NILAI LBA (Newton)	NILAI OWAS	NILAI RULA	NILAI PEI
		JENIS KELAMIN PEKERJA	PERSENTIL DATA ANTROPOMETRI	POSISI KERJA					
1	Konfigurasi 3	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	1041	2	5	1,820462
2	Konfigurasi 7	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	690	2	4	1,51437
3	Konfigurasi 10	Wanita	Persentil 95	Duduk	Ya	1086	2	4	1,63084
4	Konfigurasi 13	Wanita	Persentil 5	Duduk	Ya	737	2	6	1,933908

Pada analisis LBA, nilai tekanan kompresi tertinggi yang diterima model pada stasiun kerja penyetrikaan dihasilkan oleh konfigurasi 10, yaitu berjumlah 1086 N. Sedangkan nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 7 yang berjumlah 690 N. Perbedaan pada besar tekanan kompresi terjadi akibat faktor posisi kemiringan tubuh ketika melakukan kegiatan kerja. Interaksi tinggi tubuh pada persentil 95 dengan posisi duduk membuat tubuh bagian atas model berada pada posisi yang paling jauh dengan posisi meja setrika yang memiliki tinggi 79 cm. Sehingga model pada konfigurasi 10 harus menunduk hingga  $37,7^\circ$  ke arah depan. Sedangkan pada konfigurasi 7, interaksi tinggi tubuh pada persentil 5 dengan posisi berdiri membuat tubuh bagian atas model berada pada posisi yang paling dekat dengan posisi meja kerja. Sehingga model pada konfigurasi 7 hanya perlu menunduk  $11^\circ$  ke arah depan untuk mempermudah dalam melakukan kegiatan kerja. Dari analisis di atas, dapat disimpulkan, berdasarkan analisis LBA, konfigurasi 7 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja penyetrikaan.

Pada analisis OWAS, keempat konfigurasi mendapatkan nilai yang sama, yaitu 2. Untuk konfigurasi dengan posisi berdiri, kode OWAS yang dihasilkan adalah 4121. Sedangkan untuk konfigurasi dengan posisi duduk, kode OWAS

yang dihasilkan adalah 2111. Dari sini dapat disimpulkan bahwa posisi kerja memberikan pengaruh terhadap kategori OWAS pada dua bagian tubuh, yaitu bagian batang tubuh dan bawah tubuh. Pada bagian batang tubuh, posisi kerja berdiri membuat bagian tersebut harus mengalami kombinasi antara posisi membungkuk (*flexion*) dengan posisi tubuh memutar (*twist*). Sedangkan pada posisi kerja duduk, bagian batang tubuh hanya mengalami posisi membungkuk. Pada bagian bawah tubuh, perubahan kondisi terjadi akibat ada tidaknya alat bantu seperti bangku. Secara keseluruhan kondisi keempat konfigurasi dapat dinilai cukup ergonomis berdasarkan analisis OWAS.

Pada analisis RULA, nilai tertinggi dihasilkan oleh konfigurasi 13 dengan nilai akhir sebesar 6. Nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 7 dan konfigurasi 10 dengan nilai sebesar 4. Nilai akhir RULA pada tiap konfigurasi dipengaruhi oleh nilai RULA pada tiap bagian tubuh. Dari sini dapat dikatakan bahwa kombinasi interaksi faktor tinggi tubuh dengan posisi kerja memberikan pengaruh terhadap kondisi tiap bagian tubuh. Pada konfigurasi 13, interaksi tinggi tubuh persentil 5 (144,175 cm) dengan posisi duduk memberikan pengaruh yang kurang ergonomis pada hampir seluruh bagian tubuh model, terutama pada bagian lengan atas. Lengan atas mendapatkan nilai tertinggi (paling tidak ergonomis) yaitu 5, karena bagian ini harus terangkat lebih dari 90 derajat ke depan untuk menyesuaikan dengan tinggi meja kerja yang dipakai. Kondisi yang tidak ergonomis ini terjadi akibat posisi meja yang terlalu tinggi untuk model manekin persentil 5 yang sedang berada dalam posisi duduk.

Pada konfigurasi 7 dan 10, interaksi antara tinggi tubuh persentil 5 dengan posisi berdiri dan interaksi antara tinggi tubuh persentil 95 dengan posisi kerja duduk memberikan hasil yang paling ergonomis pada analisis RULA. Kedua interaksi tersebut membuat model manekin berada pada jarak yang paling dekat dengan meja kerja. Jarak yang dekat itu diimbangi dengan kondisi lengan atas yang tidak perlu diangkat terlalu tinggi sehingga nilai akhir RULA tetap berada dalam kondisi yang cukup ergonomis. Dari analisis di atas, dapat disimpulkan, berdasarkan analisis RULA, konfigurasi 7 dan 10 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja penyetricaan.

Secara keseluruhan, konfigurasi 13 memiliki nilai PEI yang paling tinggi, yaitu 1,934. Hal ini menjelaskan bahwa konfigurasi 13 memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja penyetrikaan. Sebaliknya, konfigurasi 7 memiliki nilai PEI yang paling rendah, yaitu 1,514. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 7 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja penyetrikaan.

#### 4.3.4 Analisis Stasiun Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian

**Tabel 4.18.** menunjukkan rekapitulasi perhitungan nilai PEI terhadap empat buah konfigurasi pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian.

**Tabel 4.18.** Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI pada Stasiun Kerja Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian

NO	NAMA	VARIABEL			NILAI SSP > 90%	NILAI LBA (Newton)	NILAI OWAS	NILAI RULA	NILAI PEI
		JENIS KELAMIN PEKERJA	PERSENTIL DATA ANTROPOMETRI	POSISI KERJA					
1	Konfigurasi 4	Wanita	Persentil 95	Berdiri	Ya	1000	2	4	1,605546
2	Konfigurasi 8	Wanita	Persentil 5	Berdiri	Ya	472	2	4	1,450252
3	Konfigurasi 11	Wanita	Persentil 95	Duduk	Ya	748	1	4	1,281429
4	Konfigurasi 14	Wanita	Persentil 5	Duduk	Ya	464	3	4	1,697899

Pada analisis LBA, nilai tekanan kompresi tertinggi yang diterima model pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian dihasilkan oleh konfigurasi 4, yaitu berjumlah 1000 N. Nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 14 yang berjumlah 464 N. Perbedaan pada besar tekanan kompresi terjadi akibat faktor posisi kemiringan tubuh ketika melakukan kegiatan kerja. Interaksi tinggi tubuh pada persentil 95 dengan posisi berdiri membuat tubuh bagian atas model berada pada posisi yang paling jauh dengan posisi meja kerja yang memiliki tinggi 81 cm. Sehingga model pada konfigurasi 4 harus menunduk hingga  $25^{\circ}$  ke arah depan. Sedangkan pada konfigurasi 14, interaksi tinggi tubuh pada persentil 5 dengan posisi duduk membuat tubuh bagian atas model berada pada posisi yang paling dekat dengan posisi meja kerja. Sehingga model pada konfigurasi 14 hanya perlu menunduk  $11^{\circ}$  ke arah depan untuk mempermudah dalam melakukan kegiatan kerja.

**Tabel 4.18.** juga menunjukkan bahwa faktor posisi kerja dan tinggi tubuh persentil memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil analisis LBA. Penurunan persentil, dari 95 ke 5, membuat nilai LBA semakin rendah. Demikian pula pada posisi kerja, perubahan posisi kerja dari berdiri ke duduk membuat nilai LBA semakin rendah pula. Dari analisis di atas, dapat disimpulkan, berdasarkan analisis LBA, konfigurasi 14 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian.

Pada analisis OWAS, nilai tertinggi dihasilkan oleh konfigurasi 14 dengan nilai 3. Nilai terendah dihasilkan oleh konfigurasi 11 dengan nilai 1. Kedua nilai ini mengindikasikan bahwa penurunan persentil pada posisi duduk akan meningkatkan nilai OWAS. Hal ini terjadi terutama akibat posisi tangan yang berubah ketika menggunakan persentil yang berbeda. Persentil 95 pada posisi duduk membuat tangan model berada dalam kondisi yang normal (kategori 1). Sedangkan pada persentil 5, tangan berada dalam kategori 3 yang menandakan bahwa bagian tersebut terangkat ke atas. Dari analisis di atas, dapat disimpulkan, berdasarkan analisis OWAS, konfigurasi 11 adalah konfigurasi yang paling ergonomis pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian.

Pada analisis RULA, keempat konfigurasi mendapatkan nilai yang sama, yaitu 4. Nilai akhir RULA yang sama untuk keempat konfigurasi tersebut dipengaruhi oleh kombinasi nilai RULA yang berbeda untuk tiap bagian tubuh. Hasil ini menandakan tidak ada pengaruh perubahan tinggi tubuh dan posisi kerja terhadap nilai akhir RULA pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian. Secara umum, dapat disimpulkan keempatnya berada dalam kondisi yang cukup ergonomis berdasarkan analisis RULA.

Secara keseluruhan, konfigurasi 14 memiliki nilai PEI yang paling tinggi, yaitu 1,698. Hal ini menjelaskan bahwa konfigurasi 14 memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian. Sebaliknya, konfigurasi 11 memiliki nilai PEI yang paling rendah, yaitu 1,281. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 11 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian.

#### 4.4 Analisis Pengaruh Persentil Data Antropometri terhadap Nilai PEI

Pada bagian ini, pengaruh perubahan variabel persentil data antropometri terhadap naik turunnya nilai PEI dianalisis. Variabel posisi kerja pada setiap stasiun kerja dipertahankan dalam kondisi yang sama untuk tiap perubahan persentil. Rekapitulasi nilai PEI berdasarkan perubahan persentil terlihat pada **tabel 4.19.** di bawah.

**Tabel 4.19.** Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI berdasarkan Perubahan Persentil

NO	VARIABEL			NILAI PEI PADA	
	STASIUN KERJA	JENIS KELAMIN PEKERJA	POSISI KERJA	PERSENTIL 95	PERSENTIL 5
1	Pencabutan Benang	Wanita	Berdiri	2,21352941	1,67634454
2	Pencabutan Benang	Wanita	Duduk	1,24936975	1,37663866
3	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	Berdiri	1,32621849	1,44878151
4	Penyetrikaan	Wanita	Berdiri	1,82046218	1,51436975
5	Penyetrikaan	Wanita	Duduk	1,63084034	1,93390756
6	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Berdiri	1,60554622	1,4502521
7	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Duduk	1,28142857	1,69789916

Pada stasiun kerja pencabutan benang, penyetrikaan, dan pelipatan dan pembungkusan pakaian, perubahan persentil data antropometri memberikan pengaruh yang berbeda pada kedua posisi kerja. Pada posisi kerja berdiri, penurunan tingkat persentil, dari 95 ke 5, mengakibatkan turunnya nilai PEI. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah tinggi model pada posisi berdiri, maka semakin dekat pula posisi bagian depan tubuh dengan posisi meja kerja. Sehingga model dengan tinggi tubuh yang lebih rendah tidak perlu terlalu membungkuk untuk mempermudah proses kerja.

Pengaruh yang berbeda terlihat pada posisi kerja duduk. Penurunan tingkat persentil mengakibatkan naiknya nilai PEI. Hal ini menunjukkan bahwa model dengan persentil rendah berada dalam kondisi yang kurang ergonomis. Faktor yang paling mempengaruhi kondisi tersebut adalah kondisi dimana model dengan persentil rendah harus menyesuaikan posisi kerjanya dengan tinggi meja kerja. Bagian tangan model persentil rendah harus terangkat lebih tinggi dari tinggi meja kerja (81 cm) yang berada tepat di depan bagian dada model.

Pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang, penurunan nilai persentil mengakibatkan naiknya nilai PEI. Hal ini terjadi akibat model dengan persentil rendah harus lebih menyesuaikan posisi tangannya dengan posisi mulut penghisap yang memiliki tinggi 79 cm. Diketahui bahwa posisi tangan normal pada persentil rendah berada pada jarak yang lebih jauh dengan posisi mulut penghisap.

#### **4.5 Analisis Pengaruh Posisi Kerja terhadap Nilai PEI**

Pada bagian ini, pengaruh perubahan variabel posisi kerja terhadap naik turunnya nilai PEI dianalisis. Variabel persentil data antropometri pada setiap stasiun kerja dipertahankan dalam kondisi yang sama untuk tiap perubahan posisi kerja. Rekapitulasi nilai PEI berdasarkan perubahan posisi kerja terlihat pada **tabel 4.20..**

Pada stasiun kerja pencabutan benang, perubahan posisi kerja mengakibatkan turunnya nilai PEI pada tiap persentil. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian alat bantu bangku akan menghasilkan kondisi kerja yang lebih ergonomis. Penggunaan posisi duduk mengurangi pergerakan otot yang statis, terutama pada bagian kepala dan leher. Selain itu, penggunaan posisi duduk juga membuat jarak antara bagian atas tubuh dengan posisi meja kerja menjadi lebih dekat. Sehingga model tidak perlu terlalu menunduk untuk mempermudah kegiatan kerja.

Pada stasiun kerja penyetricaan perubahan posisi kerja memberikan pengaruh yang berbeda pada kedua persentil. Pada persentil 95, perubahan posisi kerja dari berdiri menjadi duduk dapat menurunkan nilai PEI. Hal ini terutama dipengaruhi oleh tingkat kenyamanan tiap bagian tubuh yang dianalisis oleh metode RULA, terutama pada bagian leher. Posisi kerja duduk membuat beban yang diterima leher menjadi berkurang. Pada stasiun kerja ini juga terungkap bahwa perubahan posisi kerja tidak terlalu merubah nilai LBA. Hal ini terjadi karena posisi kerja duduk juga memiliki tingkat kemiringan yang ekstrim, terutama ketika model harus menjangkau setrika yang berada di tepi meja kerja.

**Tabel 4.19** Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI berdasarkan Perubahan Posisi Kerja

NO	VARIABEL			NILAI PEI PADA	
	STASIUN KERJA	JENIS KELAMIN PEKERJA	PERSENTIL	POSISI KERJA BERDIRI	POSISI KERJA DUDUK
1	Pencabutan Benang	Wanita	95	2,21352941	1,24936975
2	Pencabutan Benang	Wanita	5	1,67634454	1,37663866
3	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	95	1,32621849	-
4	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	5	1,44878151	-
5	Penyetrikaan	Wanita	95	1,82046218	1,63084034
6	Penyetrikaan	Wanita	5	1,51436975	1,93390756
7	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	95	1,60554622	1,28142857
8	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	5	1,4502521	1,69789916

Pengaruh yang berbeda terlihat pada persentil 5. Perubahan posisi kerja dari berdiri menjadi duduk justru menaikkan nilai PEI. Hal ini terjadi karena derajat kemiringan pada titik ekstrim posisi duduk lebih besar dari apa yang ada pada posisi berdiri. Hal ini terjadi ketika model sedang mengambil setrika yang berada di tepi meja. Selain itu, nilai PEI yang lebih rendah pada posisi duduk juga dipengaruhi oleh kondisi tiap bagian tubuh yang dihasilkan analisis RULA, terutama pada bagian lengan atas. Lengan atas dari model pada posisi duduk harus diangkat lebih tinggi agar sesuai dengan tinggi meja kerja yang dipakai.

Pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian, perubahan posisi kerja memberikan pengaruh yang berbeda pada kedua persentil. Pada persentil 95, perubahan posisi kerja dari berdiri menjadi duduk dapat menurunkan nilai PEI. Hal ini terutama dipengaruhi oleh perubahan nilai LBA yang mengindikasikan perubahan derajat kemiringan tubuh ketika melakukan kegiatan kerja. Model yang berada dalam posisi duduk memiliki jarak yang lebih dekat dengan meja kerja. Sehingga model tidak perlu terlalu menunduk untuk mempermudah kegiatan kerja.

Pada persentil 5, perubahan posisi kerja dari berdiri menjadi duduk justru menaikkan nilai PEI. Hal terutama terjadi akibat posisi tangan model yang dinilai dengan metode OWAS. Pada posisi duduk, titik ekstrim postur memiliki kondisi tangan yang lebih tidak ergonomis yaitu berada di kategori 3. Sedangkan pada posisi berdiri, titik ekstrim postur memiliki kondisi tangan yang normal yaitu

berada dalam pada kategori 1. Hal ini terjadi karena posisi kerja berdiri memberikan ruang gerak yang lebih luas bagi pergerakan tangan.

#### **4.6 Penentuan Konfigurasi Optimal**

Pada stasiun kerja pencabutan benang, konfigurasi 9 memiliki nilai PEI yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 9 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja ini. Sebaliknya, konfigurasi 1 memiliki nilai PEI yang paling tinggi yang menandakan bahwa konfigurasi ini memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis.

Pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang, konfigurasi 2 memiliki nilai PEI yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 2 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja ini. Sebaliknya, konfigurasi 6 memiliki nilai PEI yang paling tinggi yang menandakan bahwa konfigurasi ini memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis.

Pada stasiun kerja penyetrikaan, konfigurasi 7 memiliki nilai PEI yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 7 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja ini. Sebaliknya, konfigurasi 13 memiliki nilai PEI yang paling tinggi yang menandakan bahwa konfigurasi ini memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis.

Pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian, konfigurasi 11 memiliki nilai PEI yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 11 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada stasiun kerja ini. Sebaliknya, konfigurasi 14 memiliki nilai PEI yang paling tinggi yang menandakan bahwa konfigurasi ini memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis.

Secara keseluruhan, konfigurasi 9 memiliki nilai PEI yang paling rendah di antara konfigurasi-konfigurasi yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 9 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis pada divisi *finishing*. Konfigurasi 9 adalah konfigurasi optimal yang ada pada divisi ini. Sebaliknya, konfigurasi 1 memiliki nilai PEI yang paling tinggi di antara konfigurasi yang ada. Hal ini menandakan bahwa konfigurasi 1 memiliki kondisi kerja yang paling tidak ergonomis pada divisi tersebut.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Nilai PEI yang dimiliki oleh tiap konfigurasi bergantung pada kondisi kerja yang ada. Kondisi kerja dipengaruhi oleh interaksi antara variabel persentil data antropometri yang dipilih dengan posisi kerja yang dipakai. Interaksi kedua variabel ini memiliki pengaruh yang berbeda pada tiap stasiun kerja, karena tiap stasiun kerja memiliki metode dan beban kerja serta bentuk tata letak yang berbeda-beda.
- Nilai PEI yang dihasilkan untuk tiap konfigurasi bervariasi antara 1,249 hingga 2,214. Semakin rendah nilai PEI, semakin ergonomis kondisi kerja yang ada pada model konfigurasi. Sebaliknya, semakin tinggi nilai PEI, semakin tidak ergonomis kondisi kerja yang ada.
- Perubahan variabel persentil data antropometri memiliki pengaruh yang berbeda terhadap naik turunnya nilai PEI pada tiap konfigurasi. Pengaruh tersebut bergantung pada kondisi kerja yang terjadi selama melakukan kegiatan, baik dalam posisi berdiri maupun dalam posisi duduk.
- Perubahan variabel posisi kerja juga memiliki pengaruh yang berbeda terhadap naik turunnya nilai PEI pada tiap konfigurasi. Pengaruh tersebut bergantung pada kondisi kerja yang terjadi selama melakukan kegiatan, baik untuk model manekin dengan persentil 95 maupun persentil 5.
- Pada stasiun kerja pencabutan benang, konfigurasi 9 (persentil 95 dan posisi duduk) memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis di antara konfigurasi yang ada. Sebaliknya, konfigurasi 1 (persentil 95 dan posisi berdiri) merupakan konfigurasi yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja ini. Hal ini mengindikasikan bahwa ketidaksesuaian antara dimensi benda kerja dengan data antropometri, terjadi pada pekerja yang memiliki tubuh relatif tinggi pada ketika bekerja dalam posisi berdiri.

- Pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang, konfigurasi 2 (persentil 95 dan posisi berdiri) memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis di antara konfigurasi yang ada. Sebaliknya, konfigurasi 6 (persentil 5 dan posisi berdiri) merupakan konfigurasi yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja ini. Hal ini mengindikasikan bahwa ketidaksesuaian antara dimensi benda kerja dengan data antropometri, terjadi pada pekerja yang memiliki tubuh relatif pendek.
- Pada stasiun kerja penyetrikaan, konfigurasi 7 (persentil 5 dan posisi kerja berdiri) memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis di antara konfigurasi yang ada. Sebaliknya, konfigurasi 13 (persentil 5 dan posisi duduk) merupakan konfigurasi yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja ini. Hal ini mengindikasikan bahwa ketidaksesuaian antara dimensi benda kerja dengan data antropometri, terjadi pada pekerja yang memiliki tubuh relatif pendek ketika bekerja dalam posisi duduk.
- Pada stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian, konfigurasi 11 (persentil 95 dan duduk) memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis di antara konfigurasi yang ada. Sebaliknya, konfigurasi 14 (persentil 5 dan posisi duduk) merupakan konfigurasi yang paling tidak ergonomis pada stasiun kerja ini. Hal ini mengindikasikan bahwa ketidaksesuaian antara dimensi benda kerja dengan data antropometri, terjadi pada pekerja yang memiliki tubuh relatif pendek ketika bekerja dalam posisi duduk.
- Secara keseluruhan, konfigurasi 9 memiliki kondisi kerja yang paling ergonomis di antara konfigurasi yang mungkin tercipta pada divisi *finishing* UKM industri garmen. Sebaliknya, konfigurasi 1 merupakan konfigurasi yang paling tidak ergonomis.
- Secara umum posisi duduk memberikan kondisi yang lebih ergonomis dibandingkan posisi berdiri. Hal ini terlihat pada nilai PEI yang lebih rendah (dalam posisi duduk) pada sebagian besar konfigurasi, kecuali pada 2 buah konfigurasi, yaitu konfigurasi 13 dan 14. Keduanya memiliki karakteristik yang sama: persentil 5 dan posisi duduk.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang dibuat, saran-saran yang dapat diberikan pada UKM industri garmen adalah sebagai berikut:

- Memberikan perhatian yang lebih pada konfigurasi yang paling tidak ergonomis pada tiap stasiun kerja, terutama pengaruh nilai ekstrim data antropometri (persentil 5 dan 95) terhadap kondisi kerja. Jika terjadi kondisi yang tidak ergonomis pada persentil 5, maka diperlukan langkah-langkah perbaikan terhadap kondisi kerja sehingga seluruh benda kerja yang diperlukan dapat dijangkau oleh pekerja dengan ukuran tubuh paling kecil. Sebaliknya, jika terjadi kondisi kerja yang tidak ergonomis pada persentil 95, maka dibutuhkan langkah-langkah korektif terhadap kondisi kerja sehingga pekerja dengan ukuran tubuh paling besar dapat tetap bergerak leluasa di dalam stasiun kerja.
- Menggunakan posisi kerja duduk sebagai standar posisi kerja dalam divisi *finishing* UKM industri garmen karena posisi ini memiliki tingkat risiko cedera punggung yang relatif lebih kecil. Kurangnya fleksibilitas yang biasa dijadikan alasan oleh para pekerja untuk menolak bekerja dalam posisi duduk dapat dihilangkan. Caranya yaitu dengan mengatur posisi benda kerja yang berada di atas meja sehingga memudahkan dalam melakukan kegiatan kerja, terutama untuk menjangkau benda-benda yang dibutuhkan. Selain itu, perlu disediakan meja kerja dengan tinggi yang sesuai dengan tinggi pekerja pada persentil 5, sehingga orang-orang yang ada bekerja pada posisi duduk tidak perlu mengangkat tangannya terlalu tinggi ketika menempatkan tangannya pada meja kerja.

## DAFTAR REFERENSI

- 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.
- Ashby, P. (1979). *Ergonomics Handbook 1: Body Size and Strength*. SA Design Institute, Private Bag X191, Pretoria 0001.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2<sup>nd</sup> 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.
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. In: *Proceed of The 7<sup>th</sup> International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process" – ATA 2001, Florence*.
- Di Gironimo, G., Monacelia, G., Patalano, S. (2004). A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference - Design 2004*
- Dinsi, Valentino. (2005). *Jangan Mau Seumur Hidup jadi Orang Gajian*. Jakarta: Let's Go Indonesia.
- Hedge, Alan. (2000). Cornell University.
- Firman, Tommy. (1999). Indonesian Cities under The Krismon: A Great Urban Crisis in Southeast Asia. <http://www.sciencedirect.com>
- Joy et al. (2009, 7 Maret). Gerak Cepat Atasi Gelombang PHK. *Kompas*, hal. 1.

- Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*.  
 Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Kalawsky, R. (1993b). *Critical Aspects of Visually Coupled Systems*. In:  
 Earnshaw, R., Gigante, M. and Jones, H. (eds.), *Virtual Reality Systems*.  
 London: Academic Press.
- Kartika Sari, I.G.A. (2007). *Penilaian dan Usulan Pengurangan Risiko Ergonomi  
 dengan Menggunakan Metode OCRA dan REBA di Bagian Pump Casing  
 Inlow Side Cutting Pompa Air PT Panasonic Manufacturing Indonesia*.  
*Skripsi, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas  
 Indonesia*.
- Karwowski, W., Marras, W.S. (2003). *Occupational Ergonomic Principles of  
 Work Design*. Boca Raton: CRC Press. Pg 25-1 – 26-12.
- Keyserling, W. M. (2004). *OWAS: An Observational Approach to Posture  
 Analysis*. The University of Michigan.
- Konig, H.L., Kreuger, A.P., Lang, S., Sonning, W. (1980). *Biologic Effects of  
 Enviromental Electromagnetism*. Springer Verlag.
- Määttä, T. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia:  
 VTT Technical Research Centre of Finland.
- Marzano, A. (Mei 2009). Wawancara personal.
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH  
 Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110*.
- Rahayu, Heni. (2009, 6 Maret). *Ekonomi Dunia Semakin Kelam*. *Media  
 Indonesia* hal. 15.
- 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/en\\_us/about\\_us/newsroom/press/  
 /press\\_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822)
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2008 Tentang Usaha  
 Mikro, Kecil, dan Menengah. 2008

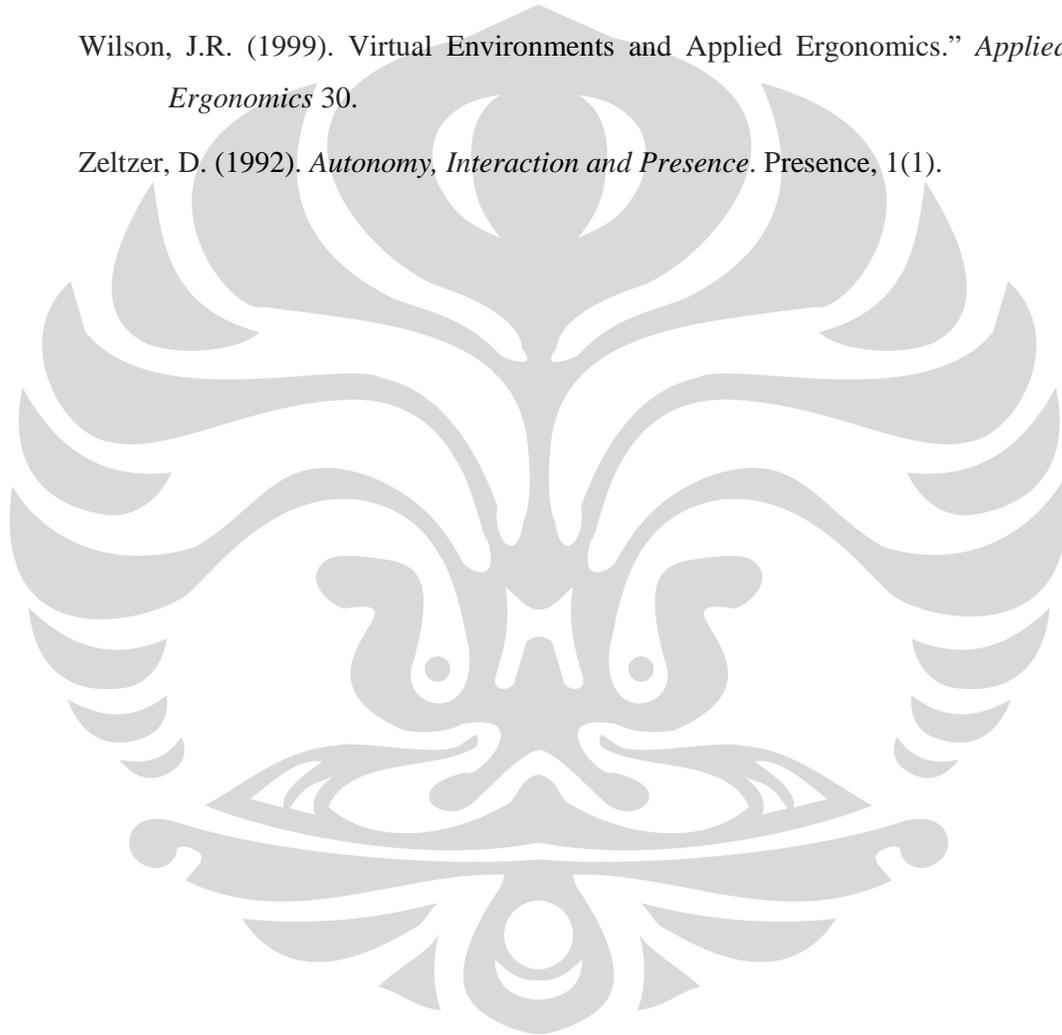
US Department of Labor, Bureau of Labor Statistic (2008, 23 Oktober).  
*Workplace Injuries and Illnesses in 2007*. 7 Maret, 2009.

<http://www.bls.gov/news.release/pdf/osh.pdf>

Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D’Cruz, M.D. & Eastgate, R.M. (1995).  
*Manufacturing Operations in Virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4.

Wilson, J.R. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics.” *Applied Ergonomics* 30.

Zeltzer, D. (1992). *Autonomy, Interaction and Presence*. Presence, 1(1).



# ERGONOMIC OPTIMIZATION IN WORK STATIONS OF FINISHING DIVISION GARMENT INDUSTRY SMALL MEDIUM ENTERPRISE (SME) WITH POSTURE EVALUATION INDEX WITHIN VIRTUAL ENVIRONMENT

Erlinda Muslim<sup>1</sup>, Romadhani Ardi<sup>2</sup>

Industrial Engineering Department, Engineering Faculty, University of Indonesia  
Kampus Baru UI Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [1erlinda@eng.ui.ac.id](mailto:1erlinda@eng.ui.ac.id), [2romadhani\\_ardi@yahoo.com](mailto:2romadhani_ardi@yahoo.com)

## ABSTRACT

This thesis tried to study, in a virtual environment, the ergonomics of 4 work stations in Finishing Division, Garment Industry SME. Posture Evaluation Index (PEI) used as an approach that integrated the results of these three methods: Low Back Analysis (LBA), Ovako Working Posture Analysis (OWAS), and Rapid Upper Limb Assessment (RULA). The objective is to determine the optimal configuration model that influence working conditions in Finishing Division. Variables that determined the configurations are anthropometry percentiles and work positions. There are 14 configurations that will be analyzed. The results suggest that optimum configurations should become basis in creating better work methods.

### Key Words:

Ergonomics, Virtual Environment, Work Stations, Finishing Division of Garment Industry SME, PEI, Optimum Configuration

## 1. INTRODUCTION

Supreme mortgage crisis in United States had given bad effects to many countries in the world, including Indonesia. Data from Indonesian Department of Labor and Transmigration showed that until February 27<sup>th</sup> 2009, there were 37.905 labors fired because some industries suffer big financial loss. The data excluded 16.329 labors that were being temporary jobless because factories can't work optimally<sup>1</sup>.

Small Medium Enterprise (SME) is one of work sectors that had proven able to survive when facing crisis in Indonesia. When monetary crisis happen in Indonesia in 1997, more than 30 big enterprises became bankrupt so that 17000 workes was being fired<sup>2</sup>. But in that time, SME showed its ability to survive in crisis. In peak of crisis in 1998-2000, SME contributed 60% of Gross Domestic Product (GDP). Based on those realities, it was necessary for all parties to give more attention for SME's development<sup>3</sup>.

One of the ways that can be done to develop SME is by creating good business climate for SME. Based UU No.20/2008

about UMKM, one of the ways to creating good business climate is by doing production and process development<sup>4</sup>. In this side, an Industrial Engineer can take a role by creating work system that appropriate with ergonomics standards.

The creation of work system that appropriate with ergonomics standards had proven gave benefits for the workers and company. The work system can decrease musculoskeletal disorders complaints, fatigues, work loads, and risk injuries that received by workers. Beside that, productivity and worker income can be increased so that the company can get more financial benefits<sup>5</sup>.

One of methods to analyze whether a work condition has proper with ergonomics standards is virtual environment modeling using Jack software. Jack<sup>TM</sup> is human Simulation and Ergonomic Software that can be used to increase the ergonomic value of products and work methods. This software can biomechanically accurate in creating human model, from various anthropometry data, in virtual environment<sup>6</sup>.

## 2. METHODOLOGY

In this research, the activities in finishing division garment industry SME will simulated with Jack and analyzed by Posture Evaluation Index (PEI)<sup>7</sup>. PEI is an approach that integrated 3 methods: Low Back Analysis (LBA), Ovako Working Posture Analysis (OWAS), and Rapid Upper Limb Assessment (RULA). Figure 1 show flow chart of PEI.

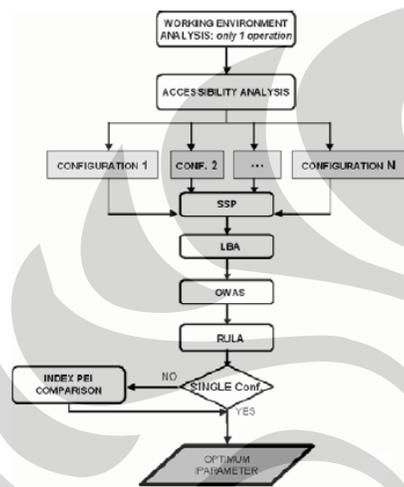


Figure 1: Flow Chart of PEI

In particular, PEI is sum of non-dimensional variables  $I_1$ ,  $I_2$ , and  $I_3$ .  $I_1$  is evaluated normalizing the LBA value with NIOSH limit for compression strength (3400 N).  $I_2$  and  $I_3$  are respectively equal to the OWAS index normalized with its critical value ("4") and the RULA index normalized with its critical value ("7")<sup>8</sup>.

$$PEI = I_1 + I_2 + mr \cdot I_3 \dots \dots \dots (1)$$

where:

$I_1 = LBA/3400$  N,  $I_2 = OWAS/4$ ,  $I_3 = RULA/7$ , and mr is amplification factor that gave value 1,42.

PEI with lower value indicated better work condition (more suitable with ergonomics standards). With PEI, optimal configuration of work stations design can be determined.

The research began with direct observation to finishing division. The purpose is to get general view about existing work conditions and determine work stations and variables that will become analysis objects. Based on observation, there are 4 work stations that will be studied. They are yarn withdrawing work station, dust sucking work station, ironing work station, and packaging work station.

Then, variables that influence the ergonomics quality determined. Based on observation, the variables are sex, workers anthropometry data, and work positions. The sex that will be observed is female because female is the majority in finishing division. Percentile of data that will be analyzed is 5<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> percentiles. Both of them are extreme value that will be considerate when people designing products or work processes. The work positions that will be learned are standing and sitting. Both of them are two positions that possible to implement in real work conditions.

After all variables that affect PEI value determined, then the list of work station design configuration models can be determined. Table 1 shows all configurations that will be simulated in Jack. For additional, sitting position can't be done in dust sucking work station because that position didn't past reachability analysis.

Data that needed as input for Jack are video recording of working activities in finishing division, workers anthropometry data, and dimensions of machines and tools. Video recording of work activities was taken from 4 work stations that have been observed. The purpose is to get the sequence of work activities and layout of each work station. Anthropometry data will be used as an input for Jack when creating mannequin model. Data of height and weight from garment industry SME population are showed in table 2.

Table 1: List of Model Configurations

NO	NAME	VARIABLE			
		WORK STATIONS	SEX	PERCENTILE	WORK POSITION
1	Configuration 1	Yarn Withdrawing	Female	95 <sup>th</sup> Percentile	Standing
2	Configuration 2	Dusk Sucking	Female	95 <sup>th</sup> Percentile	Standing
3	Configuration 3	Ironing	Female	95 <sup>th</sup> Percentile	Standing
4	Configuration 4	Packaging	Female	95 <sup>th</sup> Percentile	Standing
5	Configuration 5	Yarn Withdrawing	Female	5 <sup>th</sup> Percentile	Standing
6	Configuration 6	Dusk Sucking	Female	5 <sup>th</sup> Percentile	Standing
7	Configuration 7	Ironing	Female	5 <sup>th</sup> Percentile	Standing
8	Configuration 8	Packaging	Female	5 <sup>th</sup> Percentile	Standing
9	Configuration 9	Yarn Withdrawing	Female	95 <sup>th</sup> Percentile	Sitting
10	Configuration 10	Ironing	Female	95 <sup>th</sup> Percentile	Sitting
11	Configuration 11	Packaging	Female	95 <sup>th</sup> Percentile	Sitting
12	Configuration 12	Yarn Withdrawing	Female	5 <sup>th</sup> Percentile	Sitting
13	Configuration 13	Ironing	Female	5 <sup>th</sup> Percentile	Sitting
14	Configuration 14	Packaging	Female	5 <sup>th</sup> Percentile	Sitting

Table 2: Data of Height and weight from garment industry SME population

Percentile	Height (cm)	Weight (kg)
5	144,175	41
95	159,275	63,4

The models of machines and tools was created in Auto CAD that later will be imported as Jack model. The machines and tools that had been created in CAD model was working table, vacuum machine, ironing table, iron, and chair. After all of data has been received, the configuration design model of work station can be created. Figure 2 show the flow chart of model creation.

The first step in model creation is creating layout of work station in Jack's virtual environment. Model of machines and tools are being imported to Jack. Then, in the next step, all of the models were located in virtual environment so the layout will be same as the real condition.

The next step is creating virtual human. Data of height and weight from finishing division was used as an input for Jack to create mannequin model. Then, the model is set in the right position in work station layout. After that, the model was assigned a human task. A human task is a set of

movements that perform by real human in real life. The performance and ergonomics quality of human task then analyzed by Jack Task Analysis Toolkit (TAT), an application included in Jack that consist of 9 analysis method, such as: *Static Strength Prediction* (SSP), LBA, OWAS, and RULA.

For the first time, the human task analyzed with SSP. SSP results show population percentage that can perform the human task. If the SSP value is more than 90%, a configuration can be accepted and continue to the next analysis: LBA, OWAS, and RULA. After that, the PEI value can be calculated.

### 3. DISCUSSION

All of 14 configurations simulated following the processes figure 2. The PEI value calculation results will be showed in table 3. The higher value from each analysis indicates worse working condition.

It can be told that the compression strength that received by mannequin model was influenced by the quality posture of back. If the back crooked in the higher flexion degree, LBA will give higher value for compression strength. It also can be said that the OWAS results was influenced by

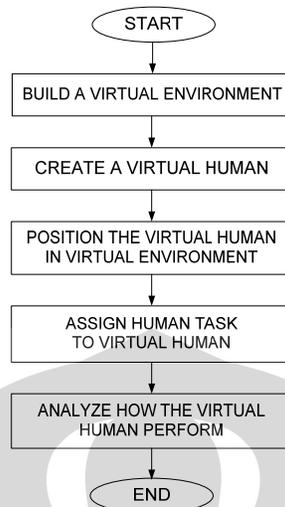


Figure 2: Flow Chart in Creating Model

Table 3: The Recapitulation of PEI Value Calculation

NO	NAME	SSP SCORE > 90%	LBA SCORE (Newton)	OWAS SCORE	RULA GRAND SCORE	PEI VALUE
1	Configuration 1	Yes	998	2	7	2,2135294
2	Configuration 2	Yes	740	2	3	1,3262185
3	Configuration 3	Yes	1041	2	5	1,8204622
4	Configuration 4	Yes	1000	2	4	1,6055462
5	Configuration 5	Yes	551	2	5	1,6763445
6	Configuration 6	Yes	467	2	4	1,4487815
7	Configuration 7	Yes	690	2	4	1,5143697
8	Configuration 8	Yes	472	2	4	1,4502521
9	Configuration 9	Yes	639	1	4	1,2493697
10	Configuration 10	Yes	1086	2	4	1,6308403
11	Configuration 11	Yes	748	1	4	1,2814286
12	Configuration 12	Yes	382	1	5	1,3766387
13	Configuration 13	Yes	737	2	6	1,9339076
14	Configuration 14	Yes	464	3	4	1,6978992

the 4 digit OWAS code. The 4 digit OWAS code represented the position of 4 parts of body. They are the position of trunk, the position of hands, the position of lower body and the rate of load that received by body. If the score for each OWAS code is become higher, the final OWAS score will tend to be higher too. In RULA analysis, it can be known that the grand score of RULA was influenced by body group A posture rating (upper arm, lower arm, wrist,

and twist wrist) and body group B posture rating (neck and trunk). If the RULA score for each part of body is become higher, the grand score of RULA will become higher too.

In general, this research showed that PEI value results for each configuration was depended by the working condition that created. The working condition was influenced by the interaction between 2 variables: percentile of anthropometry data and the working positions. The interaction of the variables was different in

each work station because each work station has different working activity sequences, work loads, and layout. But, the researched indicated that sitting working position can decrease PEI value. For exception was that what happen in configuration 13 and 14. Instead, the sitting working position gave higher PEI value.

#### 4. CONCLUSION

From "Ergonomic Optimization in Work Stations of Finishing Division, Garment Industry Small Medium Enterprise (SME) with Posture Evaluation Index within Virtual Environment" research, it can be concluded that the optimal configuration model can be determined. This model is the configuration model that has the best working condition indicated by the lowest PEI value for each work station. In general, the sitting working position can increase the quality of working condition. But especially for 5<sup>th</sup> percentile data (people with low height), it was necessary to make a special table with lowest height available, so that the workers in 5<sup>th</sup> percentile may not raise his arm too high when reaching the tools.

For the improvement for similar research, it was necessary to try to implement the optimal configuration model to real life. So that, the good effects that has been proven happened in virtual environment can be transfer in real working condition. It was necessary to find whether the implementation can really decrease risk injuries rate and working accidents in finishing division garment industry SME.

#### ACKNOWLEDGMENT

- [1] Rahayu, Heni. (2009, 6 Maret). Ekonomi Dunia Semakin Kelam. *Media Indonesia* hal. 15.
- [2] Firman, Tommy. (1999). Indonesian Cities under The Krismon: A Great Urban Crisis in Southeast Asia. <http://www.sciencedirect.com>
- [3] Dinsi, Valentino. (2005). *Jangan Mau Seumur Hidup jadi Orang Gajian*. Jakarta: Let's Go Indonesia.
- [4] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2008 Tentang Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah. 2008.
- [5] Adiputra, N., Manuaba, A., dan 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

- [6] 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/en-us/about\\_us/newsroom/press/press\\_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822](http://www.plm.automation.siemens.com/en-us/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822)
- [7] 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*.
- [8] Di Gironimo, G., Monacelia, G., Patalano, S. (2004). A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference - Design 2004*

# OPTIMASI ERGONOMI PADA STASIUN KERJA DIVISI *FINISHING* UKM INDUSTRI GARMEN DENGAN PENDEKATAN *POSTURE EVALUATION INDEX* DALAM *VIRTUAL ENVIRONMENT*

Erlinda Muslim<sup>1</sup>, Romadhani Ardi<sup>2</sup>

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [erlinda@eng.ui.ac.id](mailto:erlinda@eng.ui.ac.id), [romadhani\\_ardi@yahoo.com](mailto:romadhani_ardi@yahoo.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji, kondisi ergonomi dari 4 buah stasiun kerja pada divisi *Finishing* UKM Industri Garmen. dalam *virtual environment*. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian adalah *Posture Evaluation Index* (PEI) yang mengintegrasikan hasil analisis dari tiga buah metode: *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Tujuannya adalah untuk menentukan konfigurasi optimal yang mempengaruhi kondisi kerja pada divisi *Finishing*. Variabel yang menentukan pemilihan konfigurasi adalah persentil data antropometri dan posisi kerja. Dihasilkan 14 buah konfigurasi yang akan dianalisis. Hasil penelitian menyarankan agar konfigurasi optimal dijadikan landasan dalam pembuatan standar metode kerja yang ergonomis.

### Kata Kunci :

Ergonomi, *Virtual Environment*, Stasiun Kerja, Divisi *Finishing* UKM Industri Garmen, PEI, Konfigurasi Optimal

## ABSTRACT

This thesis tried to study, in a virtual environment, the ergonomics of 4 work stations in *Finishing* Division, Garment Industry SME. *Posture Evaluation Index* (PEI) used as an approach that integrated the results of these three methods: *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), and *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). The objective is to determine the optimal configuration model that influence working conditions in *Finishing* Division. Variables that determined the configurations are anthropometry percentiles and work positions. There are 14 configurations that will be analyzed. The results suggest that optimum configurations should become basis in creating better work methods.

### Key Words:

Ergonomics, *Virtual Environment*, Work Stations, *Finishing* Division of Garment Industry SME, PEI, Optimum Configuration

## 1. PENDAHULUAN

Krisis kredit perumahan di Amerika Serikat (AS) telah memberikan dampak negatif yang begitu besar ke seluruh dunia, termasuk Indonesia. Data dari Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi menunjukkan, sampai tanggal 27 Februari 2009, sebanyak 37.905 buruh terkena PHK akibat kolapsnya sejumlah industri. Ini belum termasuk 16.329 buruh yang dirumahkan karena pabrik tidak lagi optimal dalam produksi<sup>1</sup>.

Usaha Kecil dan Menengah (UKM) adalah salah satu elemen usaha yang telah

terbukti mampu bertahan menghadapi krisis di Indonesia. Ketika krisis moneter melanda Indonesia pada tahun 1997, lebih dari 30 perusahaan besar mengalami kebangkrutan sehingga terjadi PHK pada 17.000 karyawannya<sup>2</sup>. Tetapi justru pada saat itu, UKM menunjukkan kemampuannya untuk bertahan di dalam krisis dengan segala keterbatasannya. Di puncak krisis pada 1998-2000, sumbangan UKM terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) mencapai lebih dari 60%. Melihat kenyataan-kenyataan di atas, sudah seharusnya seluruh

pihak memberikan perhatian yang lebih terhadap pengembangan UKM<sup>3</sup>.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperkuat sektor UKM adalah dengan menciptakan iklim usaha yang kondusif bagi UKM. Menurut UU No.20/2008 tentang UMKM, salah satu cara untuk menciptakan iklim usaha yang kondusif adalah dengan melakukan pengembangan dalam bidang produksi dan pengolahan<sup>4</sup>. Di sinilah, seorang Teknik Industri dapat mengambil perannya. Salah satunya yaitu dengan berpartisipasi aktif dalam upaya penciptaan sistem kerja yang ergonomis pada UKM.

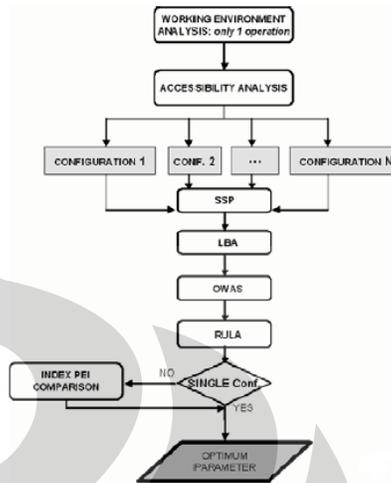
Penciptaan sistem kerja yang ergonomis sudah terbukti mampu memberikan manfaat, baik bagi pekerjaannya secara langsung maupun bagi perusahaan. Sistem kerja tersebut dapat menurunkan keluhan akibat gangguan muskuloskeletal, kelelahan, beban kerja, dan risiko cedera yang dialami oleh pekerja. Selain itu, produktivitas dan pendapatan pekerja dapat ditingkatkan, yang pada akhirnya akan meningkatkan keuntungan perusahaan<sup>5</sup>.

Salah satu metode untuk menganalisis apakah sebuah kondisi kerja telah ergonomis adalah dengan pendekatan *virtual environment modeling* menggunakan *software* Jack. Jack<sup>TM</sup> adalah *Human Simulation and Ergonomic Software* yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai ergonomis dari produk maupun metode kerja. *Software* ini memungkinkan penggunaannya untuk memposisikan model biomekanikal manusia secara akurat, dalam berbagai ukuran antropometri tubuh manusia, di dalam sebuah *virtual environment*<sup>6</sup>.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, kegiatan yang ada di stasiun kerja divisi *finishing* UKM industri garmen dimodelkan dengan *software* Jack, dianalisis dengan pendekatan *Posture Evaluation Index* (PEI)<sup>7</sup>. PEI adalah sebuah pendekatan yang mengintegrasikan 3 buah metode analisis ergonomi: *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment*

(RULA). Gambar 1 menunjukkan diagram alir pendekatan PEI.



Gambar 1: Diagram Alir Pendekatan PEI

Secara khusus, PEI adalah jumlah dari tiga buah variabel tanpa dimensi  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I_3$ .  $I_1$  adalah hasil normalisasi dari nilai analisis LBA dengan batas tekanan kompresi NIOSH (3400 N).  $I_2$  dan  $I_3$  adalah hasil normalisasi dari nilai analisis OWAS dengan nilai kritisnya ("4") dan nilai analisis RULA dengan nilai kritisnya ("7")<sup>8</sup>.

$$PEI = I_1 + I_2 + mr \cdot I_3 \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

$I_1 = LBA/3400$  N,  $I_2 = OWAS/4$ ,  $I_3 = RULA/7$ , dan  $mr$  adalah *amplification factor* dengan nilai 1,42.

Nilai PEI yang semakin rendah mengindikasikan kondisi yang semakin ergonomis. Dengan pendekatan PEI, konfigurasi desain stasiun kerja yang optimal (paling ergonomis) dapat ditentukan.

Penelitian dimulai dengan melakukan observasi langsung ke divisi *finishing* UKM industri garmen. Tujuannya untuk mendapatkan gambaran umum mengenai kondisi kerja yang ada dan menentukan stasiun kerja beserta variabel-variabel yang akan dijadikan objek penelitian. Berdasarkan hasil observasi, terdapat 4 buah stasiun kerja yang dapat diteliti, yaitu stasiun kerja pencabutan benang, stasiun

kerja penyedotan debu dan benang, stasiun kerja penyetricaan, dan stasiun kerja pelipatan dan pembungkusan pakaian.

Kemudian, variabel-variabel yang memberikan pengaruh terhadap kualitas ergonomi ditentukan. Berdasarkan hasil observasi, variabel-variabel tersebut adalah jenis kelamin, persentil data antropometri pekerja, dan posisi kerja. Jenis kelamin yang diteliti hanyalah jenis kelamin wanita karena jenis kelamin tersebut merupakan mayoritas pada pekerja di divisi *finishing* UKM industri garmen. Persentil yang akan diperhitungkan pengaruhnya terhadap nilai PEI adalah persentil 5 dan 95. Kedua titik ini dipilih karena keduanya adalah nilai ekstrim pada persentil data antropometri yang biasa diperhitungkan dalam pembuatan desain produk atau metode kerja. Sedangkan posisi kerja yang akan dianalisis pengaruhnya terhadap nilai PEI adalah posisi kerja berdiri dan duduk. Kedua posisi tersebut adalah posisi-posisi kerja yang memungkinkan untuk diterapkan di lapangan.

Setelah seluruh variabel yang dianggap memberikan pengaruh terhadap nilai PEI ditentukan, maka daftar konfigurasi desain stasiun kerja dapat dibuat. Tabel 1

menunjukkan keempat belas buah konfigurasi yang akan dibuatkan modelnya pada *software* Jack. Sebagai catatan, pada stasiun kerja penyedotan debu dan benang tidak terdapat posisi kerja duduk dikarenakan posisi tersebut tidak memenuhi syarat dalam analisis keterjangkauan.

Data-data yang dibutuhkan sebagai *input* bagi *software* Jack adalah video kegiatan kerja pada divisi *finishing* UKM industri garmen, data antropometri pekerja pada divisi tersebut, dan dimensi mesin dan alat yang digunakan. Video rangkaian kegiatan kerja diambil dari 4 buah stasiun kerja yang diteliti. Tujuannya adalah untuk mendapatkan bentuk kegiatan kerja dan tata letak dari stasiun kerja. Data antropometri digunakan sebagai *input* dalam pembuatan model manekin. Data tinggi dan berat badan yang digunakan tertuang pada tabel 2.

Model mesin dan alat dibuat dalam *software* Auto CAD yang kemudian diimpor ke Jack. Mesin dan alat yang dibuatkan modelnya adalah meja kerja, mesin sedot debu dan benang, meja gosokan, gosokan, dan bangku. Setelah seluruh data didapatkan, maka model konfigurasi desain stasiun kerja dapat

Tabel 1: Daftar Konfigurasi Desain Stasiun Kerja

NO	NAMA	VARIABEL			
		STASIUN KERJA	JENIS KELAMIN	PERSENTIL DATA	POSISI KERJA
1	Konfigurasi 1	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 95	Berdiri
2	Konfigurasi 2	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	Persentil 95	Berdiri
3	Konfigurasi 3	Penyetricaan	Wanita	Persentil 95	Berdiri
4	Konfigurasi 4	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 95	Berdiri
5	Konfigurasi 5	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 5	Berdiri
6	Konfigurasi 6	Penyedotan Debu&Benang	Wanita	Persentil 5	Berdiri
7	Konfigurasi 7	Penyetricaan	Wanita	Persentil 5	Berdiri
8	Konfigurasi 8	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 5	Berdiri
9	Konfigurasi 9	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 95	Duduk
10	Konfigurasi 10	Penyetricaan	Wanita	Persentil 95	Duduk
11	Konfigurasi 11	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 95	Duduk
12	Konfigurasi 12	Pencabutan Benang	Wanita	Persentil 5	Duduk
13	Konfigurasi 13	Penyetricaan	Wanita	Persentil 5	Duduk
14	Konfigurasi 14	Pelipatan dan Pembungkusan Pakaian	Wanita	Persentil 5	Duduk

dibuat. Gambar 2 menunjukkan diagram alir pembuatan model.

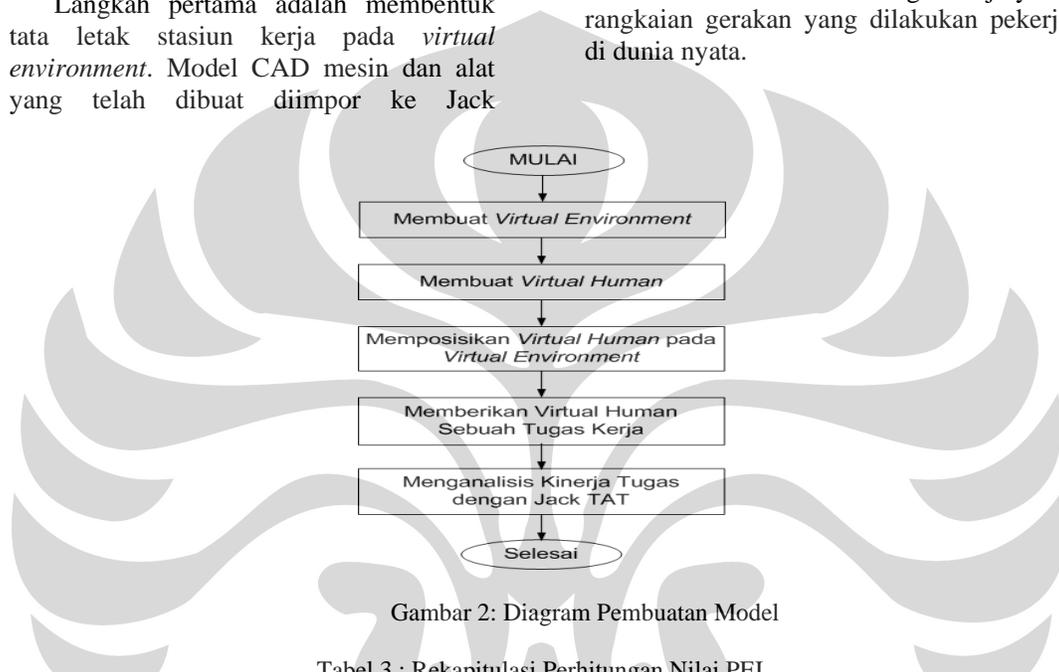
Tabel 2: Data Tinggi dan Berat Badan Divisi Finishing UKM Industri Garmen

Persentil	Tinggi (cm)	Berat (kg)
5	144,175	41
95	159,275	63,4

Langkah pertama adalah membentuk tata letak stasiun kerja pada *virtual environment*. Model CAD mesin dan alat yang telah dibuat diimpor ke Jack

kemudian disusun semirip mungkin dengan tata letak stasiun kerja pada dunia nyata. Langkah selanjutnya adalah membuat *virtual human*. Data tinggi dan berat badan pekerja dimasukkan ke dalam Jack untuk menghasilkan model manekin pekerja.

Kemudian model manekin diatur posisinya untuk menempati stasiun kerja yang telah dibuat. Setelah itu, model manekin diberikan sebuah tugas kerja yaitu rangkaian gerakan yang dilakukan pekerja di dunia nyata.



Gambar 2: Diagram Pembuatan Model

Tabel 3 : Rekapitulasi Perhitungan Nilai PEI

NO	NAMA	NILAI SSP > 90%	NILAI LBA (Newton)	NILAI OWAS	NILAI RULA	NILAI PEI
1	Konfigurasi 1	Ya	998	2	7	2,2135294
2	Konfigurasi 2	Ya	740	2	3	1,3262185
3	Konfigurasi 3	Ya	1041	2	5	1,8204622
4	Konfigurasi 4	Ya	1000	2	4	1,6055462
5	Konfigurasi 5	Ya	551	2	5	1,6763445
6	Konfigurasi 6	Ya	467	2	4	1,4487815
7	Konfigurasi 7	Ya	690	2	4	1,5143697
8	Konfigurasi 8	Ya	472	2	4	1,4502521
9	Konfigurasi 9	Ya	639	1	4	1,2493697
10	Konfigurasi 10	Ya	1086	2	4	1,6308403
11	Konfigurasi 11	Ya	748	1	4	1,2814286
12	Konfigurasi 12	Ya	382	1	5	1,3766387
13	Konfigurasi 13	Ya	737	2	6	1,9339076
14	Konfigurasi 14	Ya	464	3	4	1,6978992

Setelah seluruh rangkaian gerakan dibuat, maka kualitas ergonomi dari kegiatan tersebut dapat dianalisis dengan Jack Task Analysis Toolkit (TAT), sebuah aplikasi dalam Jack yang di dalamnya terdapat analisis *Static Strength Prediction* (SSP), LBA, OWAS, dan RULA. Pertama-tama, kegiatan kerja dianalisis dengan metode SSP. Jika nilai SSP berada di atas 90%, maka konfigurasi tersebut dianggap absah untuk dilanjutkan ke tahap analisis LBA, OWAS, dan RULA. Setelah itu, perhitungan nilai PEI dapat dilakukan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

14 buah konfigurasi model yang ada disimulasikan mengikuti proses yang terdapat pada gambar 2. Hasil perhitungan nilai PEI dari seluruh model konfigurasi stasiun kerja terdapat pada tabel 3. Nilai yang semakin tinggi pada setiap metode tubuh A (tangan bagian atas, tangan bagian bawah, pergelangan tangan, dan *twist wrist*) dan grup tubuh B (kepala dan leher). Semakin tinggi nilai yang diberikan oleh RULA pada setiap bagian tubuh, semakin tinggi pula nilai akhir yang diberikan.

Secara umum dapat diketahui bahwa nilai PEI yang dimiliki oleh tiap model konfigurasi bergantung pada kondisi kerja yang tercipta. Kondisi kerja tersebut dipengaruhi oleh interaksi antara variabel persentil data antropometri yang dipilih dengan posisi kerja yang dipakai. Interaksi kedua variabel ini memiliki pengaruh yang berbeda pula pada tiap stasiun kerja, karena tiap stasiun kerja memiliki metode dan beban kerja serta bentuk tata letak yang berbeda-beda. Tetapi dapat dikatakan bahwa posisi duduk dapat menurunkan nilai PEI. Sebagai pengecualian adalah apa yang terdapat pada konfigurasi 13 dan 14 dimana posisi duduk justru memberikan nilai PEI yang lebih besar dibandingkan posisi berdiri.

### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan judul "Optimasi Ergonomi pada Stasiun Kerja Divisi *Finishing* UKM Industri Garmen dengan Pendekatan *Posture Evaluation Index* dalam *Virtual Environemnt*" dapat diambil kesimpulan

analisis mengindikasikan kondisi yang semakin tidak ergonomis.

Dapat diketahui bahwa nilai tekanan kompresi yang diterima oleh bagian punggung model manekin dipengaruhi oleh posisi model yang membungkuk ke arah depan (*flexion*). Semakin membungkuk posisi model, semakin tinggi nilai tekanan kompresi pada analisis LBA. Kemudian, dapat diketahui pula bahwa nilai OWAS yang dihasilkan dipengaruhi kode 4 digit OWAS yang dihasilkan. Kode 4 digit tersebut menggambarkan posisi batang tubuh, posisi tangan, posisi tubuh bagian bawah, dan beban yang diterima model. Semakin tinggi angka pada tiap digit, maka akan memberikan pengaruh yang lebih tinggi pada nilai akhir OWAS. Sedangkan pada RULA, dapat diketahui bahwa nilai akhir yang diberikan analisis ini dipengaruhi oleh kualitas postur pada grup bahwa model konfigurasi yang optimal, yaitu model konfigurasi desain stasiun kerja yang paling ergonomis pada tiap stasiun kerja dapat ditentukan dengan membandingkan nilai PEI dimana nilai PEI yang semakin rendah mengindikasikan kondisi kerja yang semakin ergonomis. Secara umum posisi kerja duduk dapat menghasilkan nilai PEI yang semakin kecil. Tetapi khusus untuk persentil 5, perlu disediakan meja kerja dengan tinggi yang lebih rendah, sehingga pekerja tidak perlu mengangkat tangannya terlalu tinggi untuk menjangkau seluruh benda kerja yang diperlukan.

Dalam rangka perbaikan untuk penelitian serupa, perlu dilakukan implementasi model konfigurasi stasiun kerja ke dunia nyata untuk mengetahui dampak positif yang dihasilkan secara riil, termasuk pengaruh penerapan model konfigurasi optimal terhadap penurunan tingkat risiko cedera dan kecelakaan kerja pada UKM industri garmen.

### DAFTAR ACUAN

- [1] Rahayu, Heni. (2009, 6 Maret). Ekonomi Dunia Semakin Kelam. *Media Indonesia* hal. 15.
- [2] Firman, Tommy. (1999). Indonesian Cities under The Krismon: A Great

- Urban Crisis in Southeast Asia.  
<http://www.sciencedirect.com>
- [3] Dinsi, Valentino. (2005). *Jangan Mau Seumur Hidup jadi Orang Gajian*. Jakarta: Let's Go Indonesia.
- [4] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2008 Tentang Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah. 2008.
- [5] Adiputra, N., Manuaba, A., dan 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
- [6] 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/en\\_us/about\\_us/newsroom/press/press\\_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=25686&ComponentTemplate=822)
- [7] 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*.
- [8] Di Gironimo, G., Monacelia, G., Patalano, S. (2004). A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment. *International Design Conference - Design 2004*