

**ANALISIS KETINGGIAN MEJA KERJA YANG IDEAL
TERHADAP POSTUR PEKERJA DIVISI *CUTTING* INDUSTRI
GARMEN DENGAN *POSTURE EVALUATION INDEX* (PEI)
PADA *VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

**NANDYKA YOGAMAYA
04 05 07 04 29**



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

**ANALISIS KETINGGIAN MEJA KERJA YANG IDEAL
TERHADAP POSTUR PEKERJA DIVISI *CUTTING* INDUSTRI
GARMEN DENGAN *POSTURE EVALUATION INDEX* (PEI)
PADA *VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

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

**NANDYKA YOGAMAYA
04 05 07 04 29**



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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Nandyka Yogamaya

NPM : 0405070429

Tanda tangan :

Tanggal : Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Nandyka Yogamaya
NPM : 0405070429
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Ketinggian Meja Kerja Yang Ideal Terhadap Postur Pekerja Divisi *Cutting* Industri Garmen Dengan *Posture Evaluation Index* (PEI) Pada *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. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE ()

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

Penguji : Armand Omar Moeis, ST, MSc ()

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2009

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Nandyka Yogamaya

NPM : 0405070429

Program Studi : Teknik Industri

Departemen : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

Analisis Ketinggian Meja Kerja Yang Ideal Terhadap Postur Pekerja Divisi Cutting Industri Garmen Dengan *Posture Evaluation Index (PEI)* Pada *Virtual Environment*

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2009

Yang Menyatakan

(Nandyka Yogamaya)

KATA PENGANTAR

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

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

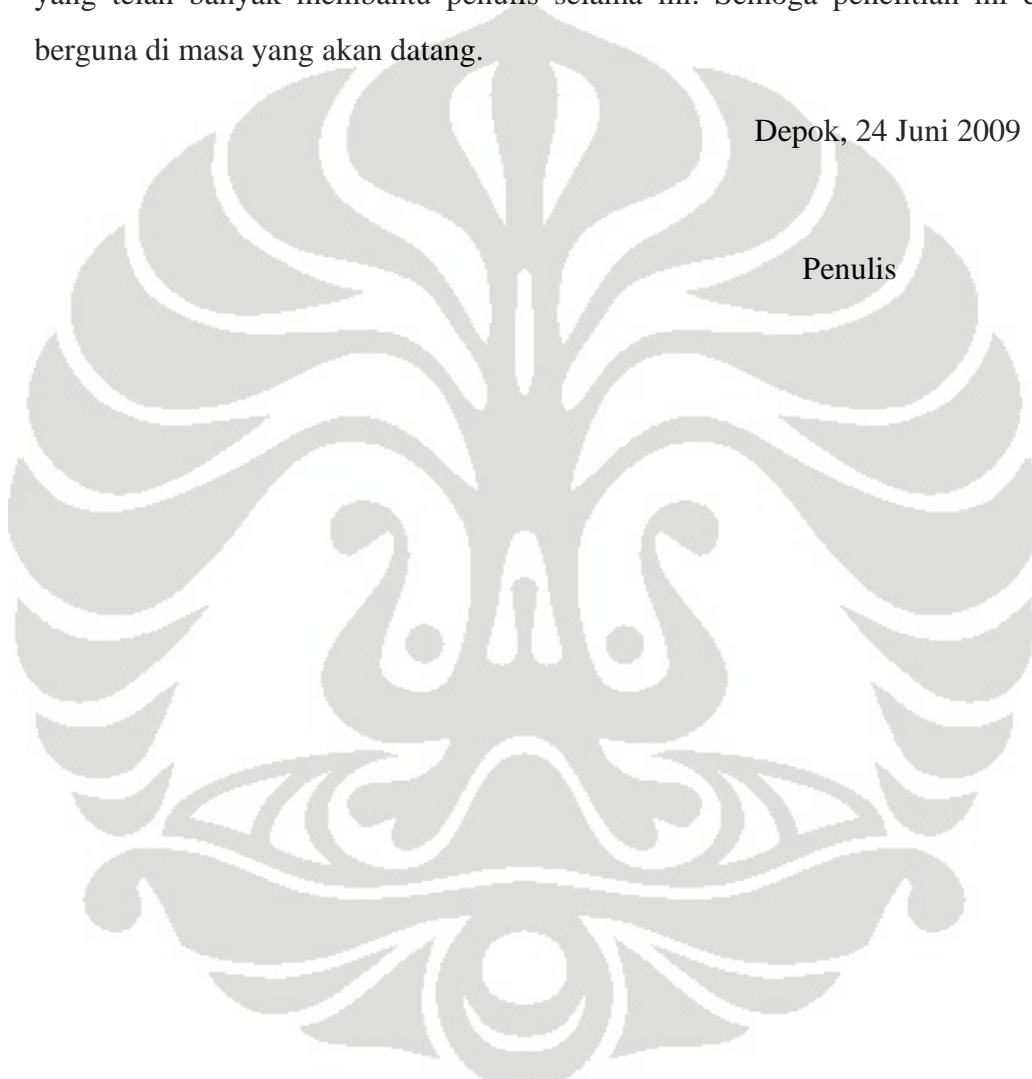
(8) I Nyoman Adi Pradana, Liza Afrinotha, Romadhani Ardi, Cindy Anggraini, Zulkarnain, Muthia Amelia dan Ricky Prabowo atas 6 bulan yang hebat dan penuh perjuangan dalam tim skripsi ergonomi (UKM dan sepeda).

(9) Lia, Deka, Keshia, Pipop dan rekan-rekan TI 2005 lainnya yang telah menjadi sahabat setia penulis baik dalam suka maupun duka selama kuliah.

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

Depok, 24 Juni 2009

Penulis



ABSTRAK

Nama : Nandyka Yogamaya
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Analisis Ketinggian Meja Yang Ideal Terhadap Postur Pekerja
Divisi *Cutting* Industri Garmen Dengan *Posture Evaluation Index*
(PEI) Pada *Virtual Environment*

Penelitian ini mencoba untuk mengimplementasikan suatu metodologi untuk mempelajari, dalam lingkungan virtual, aspek ergonomi dari suatu tempat kerja di industri garmen. Variabel tempat kerja yang diteliti dalam penelitian ini adalah ketinggian meja kerja. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan konfigurasi ketinggian meja yang ideal bagi pekerja divisi *cutting* industri garmen. *Tool* yang digunakan dalam menyelesaikan skripsi ini adalah *Posture Evaluation Index* yang mengintegrasikan skor *Low Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture (OWAS)*, dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*. Penentuan konfigurasi yang ideal dilakukan dengan mempertimbangkan jenis pekerjaan dan posisi kerja ketika melakukan pekerjaan tersebut, apakah dalam posisi duduk atau berdiri. Analisis dilakukan dengan menggunakan model manusia digital yang disediakan *software Jack* pada *virtual environment*. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam merancang tempat kerja yang lebih baik secara ergonomis.

Keywords:

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

ABSTRACT

Name : Nandyka Yogamaya
Study Program: Industrial Engineering
Title : The Analysis of An Ideal Table Height for The Body Postures of The Workers in Cutting Division of A Garment Industry Using Posture Evaluation Index (PEI) in A Virtual Environment.

The research deals with the implementation of a methodology in order to study, in a virtual environment, the ergonomics of a work cell in garment industry. The work cell's variable studied in this research is table height. The goal of this research is to determine an ideal table height for the workers of cutting division in garment industry. The tool to conduct this research is called Posture Evaluation Index (PEI) which integrates the score of Low Back Analysis (LBA), Ovako Working Posture (OWAS), dan Rapid Upper Limb Assessment (RULA). The Determination of table height configuration is based on type of work and work position (standing or sitting). The research uses digital human model form Jack *software* in a virtual environment. The result from this research can be used as a reference for future work cell design.

Key words:
Ergonomics, Virtual Environment, Cutting Division of Garment Industry, Posture Evaluation Index

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| HALAMAN JUDUL | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| ABSTRAK..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR TABEL..... | xviii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xxi |
| DAFTAR SINGKATAN | xxii |
| BAB 1 | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang Masalah..... | 1 |
| 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah..... | 5 |
| 1.3 Perumusan Masalah..... | 6 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 7 |
| 1.5 Ruang Lingkup Penelitian..... | 7 |
| 1.6 Metodologi Penelitian | 7 |
| 1.7 Sistematika Penulisan..... | 10 |
| BAB 2 | 12 |
| DASAR TEORI | 12 |
| 2.1 Ergonomi | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.2 <i>Workplace Ergonomic</i> | 14 |
| 2.3 Antropometri | 18 |
| 2.4 Kelelahan (<i>Fatigue</i>)..... | 22 |
| 2.5 WMSD | 24 |
| 2.6 <i>Human Error</i> , Kecelakaan Kerja, dan <i>Safety</i> | 27 |
| 2.6.1 <i>Human Error</i> | 27 |
| 2.6.2 Kecelakaan Kerja..... | 29 |
| 2.7 <i>Virtual Environment (VE)</i> | 31 |
| 2.8 <i>Software Jack</i> | 34 |
| 2.9 Metode <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i> | 38 |
| 2.9.1 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i> | 42 |
| 2.9.2 <i>Low Back Analysis (LBA)</i> | 45 |
| 2.9.3 <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i> | 51 |
| 2.9.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)</i> | 54 |
| BAB 3 | 58 |
| PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL | 58 |
| 3.1 Tinjauan Umum PT. X | 58 |
| 3.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan | 58 |
| 3.1.2 Departemen Produksi | 62 |
| 3.1.3 Proses Produksi..... | 65 |
| 3.1.4 Standar Kualitas..... | 69 |
| 3.1.5 Mesin dan Peralatan..... | 72 |
| 3.1.6 Sumber Daya Manusia..... | 74 |
| 3.2 Pengumpulan Data | 76 |
| 3.2.1 Data Permasalahan Pekerja | 76 |
| 3.2.2 Data Bentuk dan Dimensi Mesin..... | 77 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.3 Data Antropometri | 81 |
| 3.2.4 Data Postur dan Gerakan Pekerja | 85 |
| 3.3 Pembuatan Model Aktual | 86 |
| 3.3.1 Pembuatan Virtual Environment (VE) | 86 |
| 3.3.2 Input Model Manusia Digital | 88 |
| 3.3.3 Memposisikan Model Manusia Digital | 90 |
| 3.3.4 Pemberian Tugas pada Model Manusia Digital | 93 |
| 3.3.5 Analisis dengan <i>Jack Task Analysis Toolkit</i> (TAT) | 95 |
| 3.3.6 Verifikasi dan Validasi Model | 98 |
| 3.4 Penentuan Konfigurasi dan Perhitungan PEI | 110 |
| 3.4.1 Penentuan Konfigurasi | 110 |
| 3.4.2 Perhitungan PEI | 115 |
| BAB 4 | 117 |
| ANALISIS | 117 |
| 4.1 Analisis Kondisi Aktual | 117 |
| 4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Model Operasi Mesin Potong Otomatis | 118 |
| 4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Model Operasi Mesin Potong Tangan | 122 |
| 4.1.3 Analisis Kondisi Aktual Model Operasi Mesin Press | 126 |
| 4.2 Analisis Konfigurasi | 131 |
| 4.2.1 Analisis Konfigurasi Model Operasi Mesin Potong Otomatis | 131 |
| 4.2.2 Analisis Konfigurasi Model Operasi Mesin Potong Tangan | 135 |
| 4.2.3 Analisis Konfigurasi Model Operasi Mesin Press | 137 |
| 4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfigurasi | 141 |
| 4.3.1 Analisis Perbandingan Model Operasi Mesin Potong Otomatis | 141 |
| 4.3.2 Analisis Perbandingan Model Operasi Mesin Potong Tangan | 144 |
| 4.3.3 Analisis Perbandingan Model Operasi Mesin Press | 147 |

| | |
|----------------------|-----|
| BAB 5 | 152 |
| KESIMPULAN..... | 152 |
| DAFTAR PUSTAKA | 154 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Model Dua Dimensi Produktivitas-Ergonomi | 3 |
| Gambar 1. 2 Diagram Keterkaitan Masalah..... | 6 |
| Gambar 1. 3 Diagram Alir Metodologi Penelitian..... | 9 |
| Gambar 2. 1 Berbagai Rentang Gerak Pada Sendi Manusia..... | 15 |
| Gambar 2. 2 Postur Kerja Tidak Ergonomis..... | 16 |
| Gambar 2. 3 Pengaruh Jenis Pekerjaan Terhadap Tinggi Meja..... | 17 |
| Gambar 2. 5 <i>Contributing Factors in Accident Causation (CFAC) Model</i> | 30 |
| Gambar 2. 6 <i>Accident Sequence Model</i> | 31 |
| Gambar 2.7 Lingkungan (<i>Environment</i>) pada <i>Software Jack</i> | 35 |
| Gambar 2. 8 Model Manusia Jack 6.0 pada Persentil 95%, 50% dan 5% | 36 |
| Gambar 2. 9 Alur PEI | 39 |
| Gambar 2. 10 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya Pada Persendian | 43 |
| Gambar 2. 11 Jenis-jenis Pergerakan Tubuh | 44 |
| Gambar 2. 12 Kotak Dialog SSP pada <i>Software Jack</i> | 45 |
| Gambar 2. 13 L4 dan L5 Bagian Lumbal Tulang Belakang..... | 49 |
| Gambar 2. 14 Kotak Dialog LBA pada <i>Software Jack</i> | 50 |
| Gambar 2. 15 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh..... | 52 |
| Gambar 2. 16 Detail Skor Penilaian OWAS..... | 53 |
| Gambar 2.17 Kotak Dialog OWAS pada <i>Software Jack</i> 6.0 | 54 |
| Gambar 2. 18 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh A..... | 54 |
| Gambar 2. 19 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh B..... | 55 |
| Gambar 2. 20 Kotak Dialog pada <i>Software Jack</i> | 57 |
| Gambar 3. 1 Plant Layout PT. X..... | 60 |
| Gambar 3. 2 Departemen Produksi PT. X | 63 |
| Gambar 3. 3 Peletakan Gelondongan Kain pada Besi Penahan..... | 66 |
| Gambar 3. 4 Penarikan Kain Untuk Proses <i>Layer</i> oleh Kedua Operator..... | 67 |
| Gambar 3. 5 Besi Penahan Mesin Potong Tangan..... | 67 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 6 Flow Chart Proses Cutting | 68 |
| Gambar 3. 7 Foto Berbagai Sisi dari Mesin Potong Otomatis..... | 78 |
| Gambar 3. 8 Mesin Potong Otomatis..... | 78 |
| Gambar 3. 9 Mesin Potong Otomatis dalam AutoCAD | 79 |
| Gambar 3. 10 Besi Penahan Kain <i>Layer</i> | 79 |
| Gambar 3. 11 <i>Workstation</i> Mesin Potong Otomatis | 79 |
| Gambar 3. 12 Foto Berbagai Sisi Mesin Potong Tangan..... | 80 |
| Gambar 3. 13 Mesin Potong Tangan dalam CAD | 80 |
| Gambar 3. 14 Foto Berbagai Sisi Mesin Press | 81 |
| Gambar 3. 15 Mesin Press dalam CAD | 81 |
| Gambar 3. 16 Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan PT. X | 82 |
| Gambar 3. 17 Contoh Postur Kerja Operasi Mesin Potong Otomatis | 85 |
| Gambar 3. 18 Contoh Postur Kerja Operasi Mesin Potong Tangan..... | 86 |
| Gambar 3. 19 Contoh Postur Kerja Operator 1 Operasi Mesin Press..... | 86 |
| Gambar 3. 20 <i>Start-up Software</i> Jack | 87 |
| Gambar 3. 21 Stasiun Kerja Mesin Press..... | 87 |
| Gambar 3. 22 Lingkungan Virtual Divisi <i>Cutting</i> | 88 |
| Gambar 3. 23 <i>Human Scaling Icon</i> | 88 |
| Gambar 3. 24 Kotak Dialog <i>Basic Human Scaling</i> | 89 |
| Gambar 3. 25 Kotak Dialog <i>Advanced Human Scaling</i> | 89 |
| Gambar 3. 26 Berbagai Contoh Postur Standard pada <i>Posture Library</i> | 90 |
| Gambar 3. 27 Berbagai Contoh Postur Tangan pada <i>Shape Hand</i> | 91 |
| Gambar 3. 28 Pembuatan Postur dengan <i>Human Control</i> | 92 |
| Gambar 3. 29 Pembuatan Postur dengan <i>Adjust Joint</i> | 92 |
| Gambar 3. 30 <i>Simulation Definition (Authoring)</i> pada TSB | 93 |
| Gambar 3. 31 Kotak Dialog <i>Motion Editing Menu</i> | 94 |
| Gambar 3. 32 Rangkaian Postur Kerja Operator 1 dari Animasi Mesin Press | 95 |
| Gambar 3. 33 Hasil Grafik SSP Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual.. | 96 |
| Gambar 3. 34 Hasil Analisis LBA Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual | 97 |
| Gambar 3. 35 Hasil Analisis OWAS Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 3. 36 Hasil Analisis RULA Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual | 98 |
| Gambar 3. 37 Uji Analisis Unit Variabel Berat dan Tinggi Badan pada Model Manusia Digital..... | 99 |
| Gambar 3. 38 Uji Analisis Unit Variabel Berat pada <i>Load Editor</i> Jack TAT | 99 |
| Gambar 3. 39 Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri Model Manusia Digital | 100 |
| Gambar 3. 40 Uji Analisis Unit Variabel Durasi Waktu pada <i>Animation System</i> | 100 |
| Gambar 3. 41 Analisa LBA Sebelum Ditambahkan Beban 5kg..... | 102 |
| Gambar 3. 42 Analisa LBA Sesudah Ditambahkan Beban 5kg | 103 |
| Gambar 3. 43 Analisa RULA untuk Beban < 2kg | 104 |
| Gambar 3. 44 Analisa RULA untuk Beban 2-10kg | 104 |
| Gambar 3. 45 Analisa SSP Sebelum Ditambahkan Beban 5kg..... | 105 |
| Gambar 3. 46 Analisa SSP Sesudah Ditambahkan Beban 5kg..... | 106 |
| Gambar 3. 47 Persebaran Gaya Sebelum Ditambahkan Beban 5kg | 107 |
| Gambar 3. 48 Persebaran Gaya Setelah Ditambahkan Beban 5kg | 107 |
| Gambar 3. 49 Analisa OWAS Sebelum Ditambahkan <i>Flex(deg)</i> pada <i>Torso</i> | 108 |
| Gambar 3. 50 Analisa OWAS Setelah Ditambahkan <i>Flex(deg)</i> pada <i>Torso</i> | 109 |
| Gambar 3. 51 Ukuran Antropometri Operator Mesin Potong otomatis..... | 111 |
| Gambar 3. 52 Ukuran Antropometri Operator Mesin Press | 113 |
| Gambar 3. 53 Perbandingan Tinggi Meja Aktual Mesin Press dengan Konfigurasi dalam <i>Software Jack</i> | 114 |
| Gambar 4. 1 Postur Tubuh Titik Ekstrim LBA Model Operator Mesin Potong Otomatis..... | 120 |
| Gambar 4. 2 Skor Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Tangan..... | 123 |
| Gambar 4. 3 Postur Titik Ekstrim Model Operator Mesin Potong Tangan | 124 |
| Gambar 4. 4 Postur Titik Ekstrim LBA Model Operator Mesin Press | 128 |
| Gambar 4. 5 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 1 | 131 |
| Gambar 4. 6 Diagram Nilai PEI Model Operator 1 untuk Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Potong Otomatis | 133 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4. 7 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 2..... | 134 |
| Gambar 4. 8 Diagram Nilai PEI Model Operator 2 untuk Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Potong Otomatis | 134 |
| Gambar 4. 9 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Potong Tangan | 135 |
| Gambar 4. 10 Diagram Nilai PEI Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Potong Tangan..... | 137 |
| Gambar 4. 11 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Press untuk Model Operator 1 | 138 |
| Gambar 4. 12 Diagram Nilai PEI Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Press untuk Model Operator 1 | 139 |
| Gambar 4. 13 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Press untuk Model Operator 2 | 139 |
| Gambar 4. 14 Diagram Nilai PEI Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Press untuk Model Operator 2..... | 141 |
| Gambar 4. 15 Perubahan PEI Model Operator 1 Mesin Potong Otomatis | 141 |
| Gambar 4. 16 Perubahan PEI Model Operator 2 Mesin Potong Otomatis | 142 |
| Gambar 4. 17 Diagram Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Konfigurasi Mesin Potong Otomatis..... | 144 |
| Gambar 4. 18 Perubahan PEI Model Operator Mesin Potong Tangan..... | 144 |
| Gambar 4. 19 Perbandingan Postur Kondisi Aktual dan Konfigurasi | 145 |
| Gambar 4. 20 Diagram Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Konfigurasi Mesin Potong Tangan | 147 |
| Gambar 4. 21 Perubahan PEI Model operator 1 Mesin Press..... | 147 |
| Gambar 4. 22 Perubahan PEI Model operator 2 Mesin Press..... | 148 |
| Gambar 4. 23 Diagram Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Konfigurasi Mesin Press | 151 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|-----|
| Tabel 2. 1. Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Berdiri | 17 |
| Tabel 2. 2. Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Duduk | 18 |
| Tabel 2. 3. Penjelasan Pengukuran Persentil | 22 |
| Tabel 2. 4. <i>Horizontal Multiplier</i> | 46 |
| Tabel 2. 5. <i>Assymetric Multiplier</i> | 47 |
| Tabel 2. 6. <i>Vertical Multiplier</i> | 47 |
| Tabel 2. 7. <i>Frecuency Multiplier</i> | 48 |
| Tabel 2. 8. <i>Distance Multiplier</i> | 49 |
| Tabel 2. 9. Bobot Nilai dalam RULA | 55 |
| Tabel 3.1. Daftar Pelanggan Utama PT. X | 61 |
| Tabel 3.2. Daftar Mesin | 72 |
| Tabel 3.3. <i>Database</i> Pegawai PT. X | 75 |
| Tabel 3.4. Data Antropometri Pekerja PT. X | 82 |
| Tabel 3.5. Persentil 5%, 50% dan 95% Data Tinggi Badan Tegak (dalam cm) ... | 83 |
| Tabel 3.6. Data Antropometri Pekerja Indonesia | 84 |
| Tabel 3.7. <i>SSP Capability Summary Chart</i> Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual | 96 |
| Tabel 3.8. Perhitungan <i>Standing Foot-Elbow Height</i> dan Tinggi Meja Mesin Potong Otomatis untuk Posisi Berdiri | 112 |
| Tabel 3.9. Perhitungan <i>Standing Foot-Elbow Height</i> dan Tinggi Meja Mesin Potong Tangan untuk Posisi Berdiri | 112 |
| Tabel 3.10. Perhitungan <i>Sitting Foot-Elbow Height</i> , Tinggi Meja dan Kursi untuk Posisi Duduk | 114 |
| Tabel 3.11. <i>Research Configuration Summary</i> | 115 |
| Tabel 3.12. Contoh Perhitungan PEI untuk Kondisi Aktual Operasi Kerja Mesin Press | 116 |
| Tabel 4. 1. <i>Capability Summary Chart</i> Model Operator 1 Mesin Potong Otomatis | 118 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4. 2. <i>Capability Summary Chart</i> Model Operator 2 Mesin Potong Otomatis | 119 |
| Tabel 4. 3. Rekapitulasi Skor Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Otomatis | 119 |
| Tabel 4. 4. Skor RULA Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Otomatis | 121 |
| Tabel 4. 5. <i>Capability Summary Chart</i> Model Operator Mesin Potong Tangan | 123 |
| Tabel 4. 6. Skor RULA Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Tangan | 125 |
| Tabel 4. 7. <i>Capability Summary Chart</i> Model Operator 1 Mesin Press | 127 |
| Tabel 4. 8. <i>Capability Summary Chart</i> Model Operator 2 Mesin Press | 127 |
| Tabel 4. 9. Rekapitulasi Skor Kondisi Aktual Model Operator Mesin Press | 128 |
| Tabel 4. 10. Skor RULA Kondisi Aktual Model Operator Mesin Press | 129 |
| Tabel 4. 11. Rekapitulasi Skor RULA Model Operator 1 Konfigurasi Mesin Potong Otomatis..... | 132 |
| Tabel 4. 12. Rekapitulasi Skor RULA Konfigurasi Mesin Potong Tangan..... | 136 |
| Tabel 4. 13. Rekapitulasi Skor RULA Model Operator 2 Konfigurasi Mesin Press | 140 |
| Tabel 4. 14. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 1 | 142 |
| Tabel 4. 15. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 1 | 142 |
| Tabel 4. 16. Perbandingan Nilai PEI Model Operator 1 dan 2 Mesin Potong Otomatis | 143 |
| Tabel 4. 17. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Potong Tangan | 144 |
| Tabel 4. 18. Perbandingan Detail Skor RULA Kondisi Aktual dan Konfigurasi untuk Mesin Potong Tangan | 146 |
| Tabel 4. 19. Perbandingan Perubahan PEI Model Operator Mesin Potong Tangan | 146 |
| Tabel 4. 20. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Press untuk Model Operator 1 | 147 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4. 21. Perbandingan Detail Skor RULA Kondisi Aktual dan Konfigurasi untuk Model Operator 1 Mesin Potong Tangan | 148 |
| Tabel 4. 22. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Press untuk Model operator 2..... | 149 |
| Tabel 4. 23. Perbandingan Detail Skor RULA Kondisi Aktual dan Konfigurasi untuk Model Operator 2 Mesin Potong Tangan | 149 |
| Tabel 4. 24. Perbandingan Nilai PEI Model Operator 1 dan 2 Mesin Press..... | 150 |



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. CONTOH *STATIC STRENGTH PREDICTION REPORT*

Lampiran 2. CONTOH *LOW BACK ANALYSIS REPORT*

Lampiran 3. CONTOH *OVAKO WORKING POSTURE ANALYSIS REPORT*

Lampiran 4. CONTOH *RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT REPORT*



DAFTAR SINGKATAN

| | |
|-------|---|
| AFTA | Asean Free Trade Ageement |
| AM | Asymmetric Multiplier |
| ANSUR | Army Natick Survey User Requirements |
| APEC | Asia Pacific Economic Community |
| AQL | Acceptance Quality Level |
| CFAC | Contributing Factors in Accident Causation |
| CM | Coupling Multiplier |
| CTD | Cumulative Trauma Disorders |
| DM | Distance Multiplier |
| DOE | Design of Experiment |
| ERH | Elbow Rest Height |
| FE | Foot-Elbow |
| FM | Frequency Multiplier |
| HCD | Human-Centered Design |
| HE | Head-Elbow |
| HM | Horizontal Multiplier |
| LBA | Low Back Analysis |
| NIOSH | National Institute for Occupational Safety and Health |
| OWAS | Ovako Working Posture Analysis |
| PEI | Posture Evaluation Index |
| QC | Quality Control |
| REBA | Rapid Entire Body Assessment |
| RMI | Repetitive Motion Injury |
| RSI | Repetitive Strain Injuries |
| RULA | Rapid Upper Limb Assessment |
| SA | Sitting Acromial |
| SE | Shoulder-Elbow |
| SH | Sitting Height |
| SKH | Sit Knee Height |
| SSP | Static Strength Prediction |
| TAT | Jack Task Analysis Toolkit |
| TSB | Task Simulation Builder |
| UKM | Usaha Kecil Menengah |
| VE | Virtual Environment |
| VM | Vertical Multiplier |
| VR | Virtual Reality |
| WMSD | Work-Related Musculoskeletal Disorder |
| WTO | World Trade Organization |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Datangnya era globalisasi, pasar bebas *Asean Free Trade Agreement* (AFTA), *World Trade Organization* (WTO) serta *Asia Pacific Economic Community* (APEC) yang akan berlaku pada tahun 2020, telah memaksa perusahaan untuk melaksanakan program peningkatan efisiensi dan produktivitas. Masalah efisiensi dan produktivitas merupakan hal yang sangat penting dan harus ditingkatkan agar produk barang dan jasa industri Indonesia mampu bersaing di pasar global. Selain itu, peningkatan efisiensi dan produktivitas merupakan faktor utama untuk mencapai sasaran pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan selaras dengan globalisasi dan liberalisasi ekonomi dunia yang begitu cepat. Salah satu komponen yang kritical dalam masalah peningkatan efisiensi dan produktivitas suatu perusahaan adalah sumber daya manusia.

Dalam perusahaan manufaktur, sumber daya manusia merupakan salah satu aset perusahaan yang memiliki peranan penting dalam melakukan proses produksi di dalam perusahaan tersebut. Agar setiap proses dalam sistem produksi perusahaan tersebut berjalan secara optimal, maka para pekerja harus didukung dengan sistem kerja yang efisien, aman, nyaman serta sehat. Kontradiksi yang terjadi adalah perusahaan sering kali mengejar produktivitas yang tinggi dengan meningkatkan kapasitas produksi dan waktu kerja tanpa memperhatikan faktor manusia dalam sistem kerja. Kurangnya perhatian pihak perusahaan terhadap faktor manusia ini dapat menyebabkan tingginya tingkat kecelakaan ataupun terjadinya penyakit-penyakit akibat aktivitas di tempat kerja. Sebuah studi di Amerika Serikat melaporkan bahwa kecelakaan yang berkaitan dengan keluhan muskuloskeletal terjadi dengan persentase rata-rata sebesar 40% dari semua penyebab kecelakaan kerja yang pernah terjadi¹.

Keluhan muskuloskeletal atau WMSD (*Work-Related Musculoskeletal Disorder*) sering juga dinamakan sebagai RSI (*Repetitive Strain Injuries*), CTD (*Cumulative Trauma Disorders*) dan RMI (*Repetitive Motion Injury*). WMSD

¹ Hudock, S.D., *Development of Effective Ergonomic Interventions*, Planesberg, Ohio, 2005

merupakan pengelompokan dari suatu penyakit atau kelainan yang disebabkan oleh kegiatan berulang (bergerak, bersikap, dan lain-lain), pekerjaan yang statis, pemuatan yang terus-menerus pada struktur jaringan, kurangnya pemacu waktu penyembuhan, atau proses patologis (yang menimbulkan sakit) yang telah berlangsung lama². Level WMSD dari yang paling ringan hingga yang berat akan mengganggu konsentrasi dalam bekerja, menimbulkan kelelahan dan pada akhirnya akan menurunkan produktivitas. Untuk itu diperlukan suatu upaya pencegahan dan minimalisasi timbulnya WMSD di lingkungan kerja. Pencegahan terhadap WMSD akan memperoleh manfaat berupa penghematan biaya, peningkatan produktivitas dan kualitas kerja serta meningkatkan kesehatan, kesejahteraan dan kepuasan pekerja.

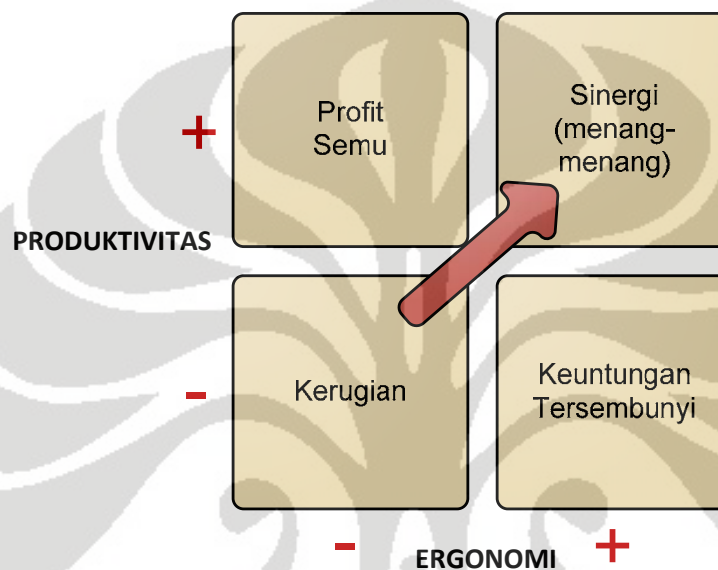
Ergonomi berfokus pada peningkatan produktivitas dan kualitas sistem kerja. Dengan ergonomi, sistem kerja dirancang sedemikian rupa dengan memperhatikan variasi pekerja dalam hal kemampuan dan keterbatasan (fisik, psikis, dan sosio-teknis) dengan pendekatan human-centered design (HCD)³. Analisis ergonomi diperlukan untuk mengidentifikasi permasalahan ergonomi di suatu lingkungan kerja. Analisis ergonomi dilakukan dengan mengevaluasi lingkungan kerja, postur kerja, jenis pekerjaan, pengangkatan dan pengangkutan, faktor-faktor resiko bahaya, derajat tingkat resiko bahaya, prioritas atau fokus program perbaikan sistem kerja, tindakan koreksi dan lainnya. Ergonomi yang digunakan untuk mendesain sistem kerja yang efektif, aman, nyaman, dan sehat tentunya akan dapat mengurangi timbulnya WMSD pada pekerja.

Hubungan antara ergonomi dan produktivitas dapat dijelaskan oleh model dua dimensi sederhana seperti yang ditampilkan pada gambar 1.1. Efek sinergi antara produktivitas dengan ergonomi baru akan dapat dicapai ketika sebuah perusahaan mengoptimalkan keduanya. Ergonomi yang baik dapat meningkatkan keuntungan tersembunyi yang bisa diperoleh perusahaan. Keuntungan tersembunyi yang dimaksud di sini adalah keuntungan yang tidak secara langsung

² Hagberg, Mats et al, *Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs); A Reference Book for Prevention*, Taylor & Francis, London, 1997, p.6

³ Buckle, Peter dan David Stubbs, *The Contribution of Ergonomics to The Rehabilitation of Back Pain Patients*, Butterworth & Co (Publishers) Ltd, 1989, p. 56-60

terlihat pada statistik produktivitas perusahaan ketika perusahaan tersebut menerapkan ergonomi sehingga lebih mengarah pada keuntungan jangka panjang. Jika perusahaan lebih memprioritaskan produktivitas tanpa memperhatikan aspek ergonomi maka sebenarnya perusahaan tidak mendapatkan profit yang telah ditargetkan. Hal ini dapat terjadi karena akan adanya kerugian-kerugian yang tidak secara langsung dirasakan atau dapat dikatakan bahwa perusahaan mendapatkan profit semu.



Gambar 1. 1 Model Dua Dimensi Produktivitas-Ergonomi

Sumber: Neumann, Patrick dan Jørgen Winkel, *Ergonomics and Effective Production Systems*, National Institute of Working Life, 2005

Produk garmen merupakan salah satu komoditi yang sangat potensial untuk dikembangkan di pasar global. Beny Sutrisno (2007) ketua Asosiasi Pertekstilan Indonesia mengungkapkan bahwa kebutuhan produk tekstil dan pakaian jadi (garmen) akan terus meningkat dari tahun ketahun. Dengan tingginya kebutuhan akan produk industri garmen maka persaingan yang terjadi pun akan semakin ketat. Hal ini tentu saja akan menyebabkan tingginya tuntutan terhadap perusahaan yang bergerak di industri garmen untuk dapat memenuhi standar produktivitas, kualitas, dan daya saing yang tinggi.

Pekerjaan di industri garmen menuntut ketelitian yang cukup tinggi dengan karakteristik pekerjaan umumnya adalah proses *material handling* (angkat-angkut), posisi kerja duduk dan berdiri, tingkat pengulangan kerja tinggi pada satu jenis otot, berinteraksi dengan benda tajam (jarum, gunting dan pisau

potong), panas di bagian pengepresan dan penyetricaan, banyaknya debu-debu serat dan aroma kain, kebisingan, getaran dan lainnya. Permasalahan ergonomi kerja di industri garmen terutama sangat terkait dengan posisi postur tubuh dan pergelangan tangan yang tidak baik dan harus melakukan pekerjaan yang berulang-ulang pada hanya satu jenis otot sehingga sangat berpotensi menimbulkan CTD atau RSI⁴. Untuk itu desain sistem kerja di industri garmen akan sangat berpengaruh bagi kinerja pekerja.

Salah satu divisi yang termasuk dalam departemen produksi industri garmen adalah divisi *cutting*. Divisi *cutting* merupakan divisi yang memiliki potensi interaksi dengan benda tajam yang paling besar. Proses pemotongan kain yang terjadi di divisi ini juga menyebabkan banyaknya debu-debu serat kain di area kerja. Karakteristik pekerjaan di divisi *cutting* dibandingkan dengan divisi lain di industri garmen adalah banyaknya jenis pekerjaan yang dilakukan dengan berdiri (*standing work*). Posisi bekerja dengan berdiri ini, jika dilakukan untuk periode waktu yang cukup lama, akan menyebabkan otot belakang dan otot kaki lebih aktif dibandingkan dengan pekerja yang melakukan pekerjaan dengan posisi duduk. Posisi bekerja dengan berdiri ini juga menyebabkan turunnya aliran darah ke kaki dan meningkatkan tingkat kelelahan. Selain itu, masih banyak juga pekerjaan-pekerjaan *material handling* yang memiliki risiko WMSD cukup tinggi.

Tidak terdapat data tertulis yang melaporkan tingkat kecelakaan kerja industri garmen Indonesia, namun berdasarkan wawancara yang telah dilakukan di salah satu dari tiga pabrik garmen terbesar di Indonesia, hampir seluruh pekerja mengeluhkan bahwa mereka sering mengalami gejala-gejala seperti pegal-pegal di beberapa bagian tubuh akibat tidak nyamannya posisi ketika bekerja, kelelahan, tingginya beban kerja, serta panjangnya waktu kerja tanpa disertai dengan istirahat yang cukup. Dampak langsung yang dirasakan para pekerja adalah hilangnya konsentrasi ketika bekerja sehingga sering kali terjadi keaslahan produksi. Dampak lainnya adalah para pekerja mengalami sakit akibat kelelahan yang terakumulasi sehingga mereka tidak masuk kerja keesokan harinya. Pekerja yang absen tentu saja merugikan perusahaan, terutama ketika tuntutan jalannya produksi sedang tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk lebih meninjau

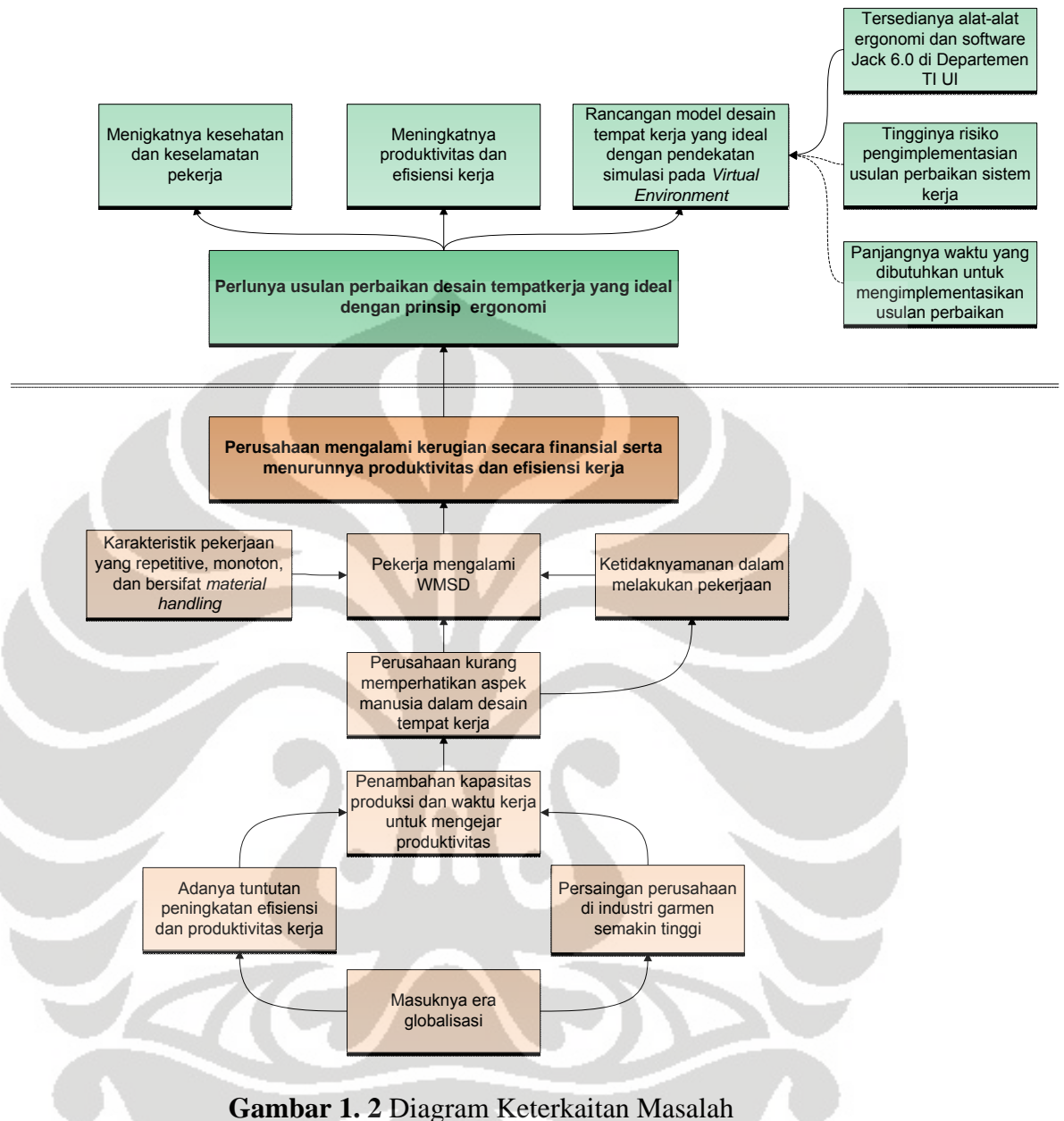
⁴ *Ergonomics In The Garment Manufacturing Industry*, Work Safe Buletin No 188, 1997

permasalahan yang terjadi pada divisi *cutting* industri garmen terutama dari aspek *ergonomic workplace*. Desain tempat kerja akan sangat bergantung pada jenis pekerjaan dan alat atau fasilitas yang digunakan untuk menunjang pelaksanaan operasi kerja. Jika dilihat dari desain tempat kerja, maka salah satu faktor yang menentukan kenyamanan pekerja adalah tinggi meja kerja yang digunakan. Analisa ergonomi akan dilakukan untuk menentukan ketinggian meja kerja yang ideal terhadap postur pekerja.

Hasil rancangan penelitian ini akan disimulasikan dengan *software* Jack pada *virtual environment* dengan menggunakan model manusia digital. Penggunaan *software* Jack ini adalah untuk mensimulasikan realita perilaku fisik pekerja industri garmen secara lebih fleksibel. Keuntungan dari kegiatan simulasi dengan menggunakan *software* Jack ini adalah mampu menekan biaya *mockup testing*, meminimalisasi risiko kerja pada subjek hidup, dan memperpendek jangka waktu simulasi ergonomi pada proses sistem kerja. Dengan usulan perbaikan sistem kerja yang ergonomis melalui model simulasi manusia virtual, diharapkan kesehatan dan keselamatan pekerja meningkat sehingga pekerja dapat bekerja dengan nyaman dan meningkatkan produktivitas kerja pada divisi *cutting* industri garmen. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi rekomendasi penggunaan ketinggian meja kerja yang ideal dalam membuat rancangan sistem kerja yang lebih ergonomis untuk divisi *cutting* pada UKM (Usaha Kecil Menengah) industri garmen yang ada di Indonesia.

1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH

Untuk dapat melihat permasalahan yang ada dalam penelitian ini secara utuh, termasuk bagaimana setiap sub-permasalahan saling berinteraksi dan berhubungan satu sama lain, maka dibuatlah diagram keterkaitan masalah. Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dibuat diagram keterkaitan masalah seperti pada gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan diagram keterkaitan masalah, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah adanya kecelakaan dan penyakit yang timbul akibat desain tempat kerja yang kurang ergonomis. Salah satu faktor yang menentukan desain tempat kerja yang ergonomis adalah ketinggian meja dan kursi kerja. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis ergonomi untuk menentukan ketinggian meja yang ideal terhadap postur pekerja divisi *cutting* industri garmen.

Metode pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan simulasi *software* Jack pada *virtual environment*.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Tujuan yang berupa *output*, rumusan tujuannya adalah membuat model manusia digital pekerja dan model operasi pekerjaan divisi *cutting* industri garmen.
2. Tujuan yang berupa *outcome* yaitu rekomendasi ketinggian meja kerja yang ideal terhadap postur pekerja divisi *cutting* industri garmen.

1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup yang ditetapkan dalam penelitian ini ialah:

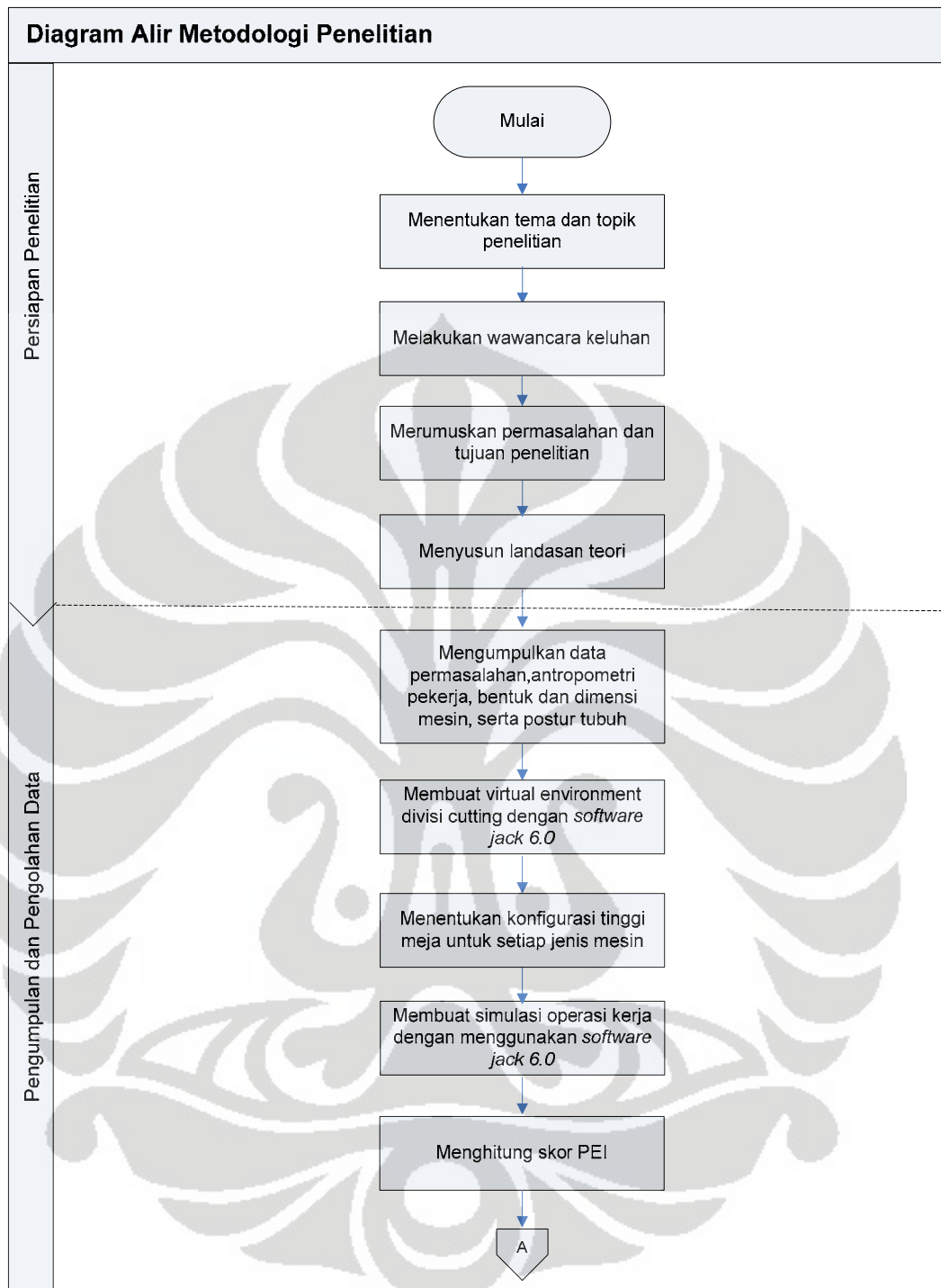
1. Pengamatan pekerjaan dan faktor-faktor risikonya dilaksanakan hanya pada divisi *cutting* yang merupakan bagian dari departemen produksi industri garmen.
2. Untuk proses pengambilan data, PT. X dipilih sebagai representasi industri garmen karena kredibilitasnya sebagai salah satu dari 3 perusahaan garmen terbesar di Indonesia.
3. Pemecahan masalah dilakukan tanpa memperhitungkan faktor psikososial pekerja.
4. Pemecahan masalah dilakukan dengan menggunakan *ergonomic tools* yang terdapat pada *Jack Analysis Toolkit*.
5. Pemecahan masalah dibatasi hanya sampai memberikan usulan perbaikan yang dapat diimplementasikan, tidak sampai tahap pengimplementasian usulan tersebut.
6. Pemecahan masalah dilakukan dengan tidak mempertimbangkan faktor biaya.

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

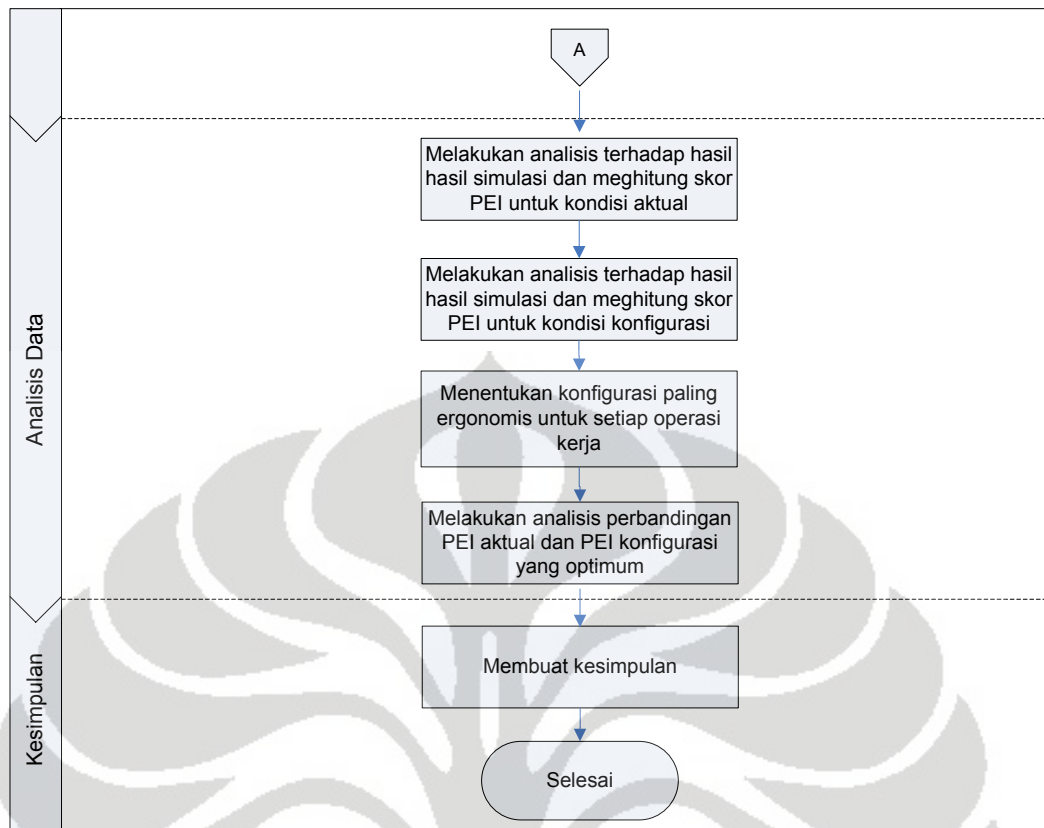
Untuk mencapai tujuan, maka keseluruhan kegiatan penelitian dirancang untuk mengikuti diagram alir seperti tampak pada Gambar 1.3. Secara umum metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap persiapan penelitian

- a. Menentukan tema dan topik penelitian.
 - b. Melakukan wawancara untuk memberikan gambaran pentingnya penelitian ini.
 - c. Merumuskan permasalahan dan tujuan penelitian.
 - d. Menyusun landasan teori.
2. Tahap pengumpulan dan pengolahan data
- a. Mengumpulkan data antropometri pekerja, bentuk dan dimensi mesin, postur tubuh pekerja serta waktu operasi.
 - b. Membuat virtual environment divisi cutting dengan memasukan mesin yang telah dibuat di AutoCAD ke *software* Jack.
 - c. Menentukan konfigurasi tinggi meja yang ideal terhadap postur pekerja
 - d. Membuat simulasi operasi kerja dengan memasukan data antropometri dan postur tubuh pekerja pada *software* Jack.
 - e. Menghitung skor PEI (*Posture Evaluation Index*) untuk kondisi aktual setiap operasi kerja.
3. Tahap analisis data
- a. Menganalisis hasil simulasi yang dikeluarkan *software* Jack dan menghitung skor PEI untuk kondisi aktual setiap operasi.
 - b. Menganalisis hasil simulasi yang dikeluarkan *software* Jack dan menghitung skor PEI untuk kondisi setelah konfigurasi setiap operasi.
 - c. Menentukan konfigurasi paling ergonomis untuk pekerja setiap operasi.
 - d. Melakukan analisa perbandingan untuk melihat seberapa jauh perbaikan ergonomi yang dilakukan sebelum dan sesudah konfigurasi.
4. Tahap penarikan kesimpulan



Gambar 1. 3 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1. 4 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Secara garis besar penulisan penelitian ini terbagi ke dalam lima bab, yaitu: pendahuluan, landasan teori, pengumpulan dan pengolahan data, analisis, dan kesimpulan.

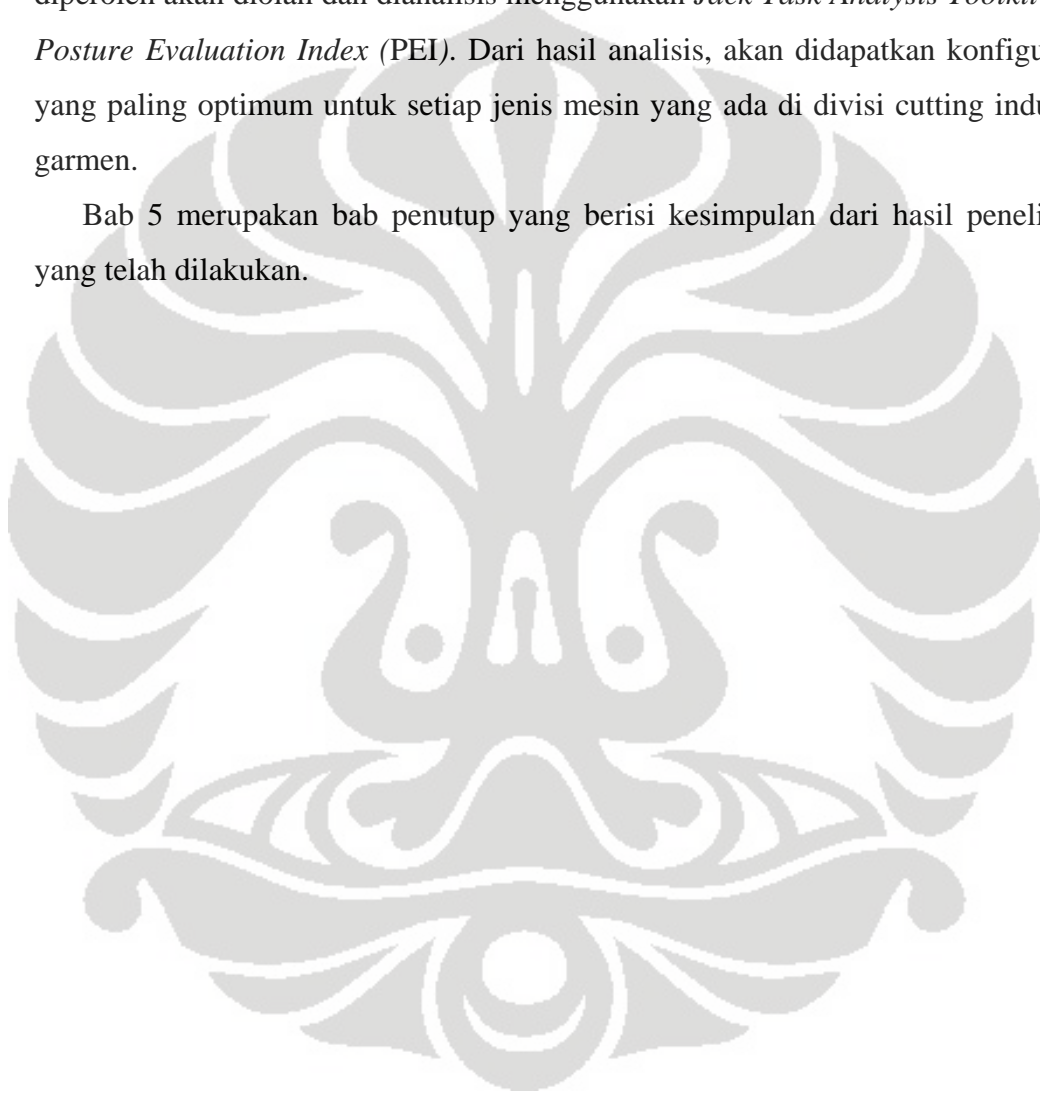
Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang berisikan latar belakang pemilihan topik penelitian ini. Hal ini diperjelas dengan menguraikan tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari pokok permasalahan penelitian serta batasan-batasan ruang lingkup penelitian agar penelitian dapat lebih fokus pada tujuannya. Selain itu juga dijelaskan mengenai metodologi penelitian dan sistematika penulisan dengan tujuan agar dapat diperoleh gambaran awal tentang langkah-langkah dan susunan proses penelitian ini.

Bab 2 merupakan landasan teori yang diantaranya membahas mengenai ergonomi, *workplace ergonomic*, kelelahan, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *virtual environment*, *tools* analisis ergonomi pada *software* Jack, serta PEI (*Posture Evaluation Index*).

Bab 3 adalah bab pengumpulan dan pengolahan data. Pada bab ini terdapat seluruh data yang berhubungan dan menunjang untuk digunakan dalam proses penelitian, seperti data proses produksi, postur tubuh pekerja, antropometri pekerja, indikator ergonomi, dan lain-lain. Jenis konfigurasi dan cara pembuatan model divisi *cutting* pada *virtual environment* juga akan dijelaskan di bagian ini.

Bab 4 merupakan analisis hasil yang diperoleh. Hasil pengumpulan data yang diperoleh akan diolah dan dianalisis menggunakan *Jack Task Analysis Toolkit* dan *Posture Evaluation Index (PEI)*. Dari hasil analisis, akan didapatkan konfigurasi yang paling optimum untuk setiap jenis mesin yang ada di divisi *cutting* industri garmen.

Bab 5 merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB 2 DASAR TEORI

Dalam bab ini akan dibahas teori-teori yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan, di antaranya ergonomi, *workplace ergonomic*, kelelahan (*fatigue*), antropometri, *musculoskeletal disorders*, *virtual environment*, *tools* analisis ergonomi pada *software* Jack, serta PEI (*Posture Evaluation Index*).

2.1 ERGONOMI

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani yaitu *ergon* yang berarti kerja, dan *nomos* yang berarti hukum. Ergonomi yang secara umum diartikan sebagai "*the study of work*" telah mampu membawa perubahan yang signifikan dalam mengimplementasikan konsep peningkatan produktivitas melalui efisiensi penggunaan tenaga kerja dan pembagian kerja berdasarkan spesialisasi-keahlian kerja manusia (Bridger, 1995; Sanders & McCormick, 1992). Ergonomi juga dapat diartikan: "*Ergonomics is a study of man's behavior in relation to his work. The object of this research is man at work in relation to his spatial environment...the most important principle of ergonomics: Fitting the task to the man. Ergonomics is interdisciplinary: it bases its theories on physiology, psychology, anthropometry, and various aspects of engineering.*" (Grandjean, 1980)⁵.

Istilah ergonomi seringkali digantikan atau disandingkan dengan istilah *human factors*. Banyak pakar profesional yang berpendapat bahwa istilah *human factors* merupakan sinonim dari ergonomi. Namun ada pula beberapa pendapat yang mencoba membedakan definisi di antara keduanya. Ergonomi lebih dikaitkan dengan aspek kerja fisik, sementara *human factors* lebih menyangkut aspek kognitif dan persepsi⁶. Pendapat lain membedakan kedua istilah itu berdasarkan lokasi geografis penggunaannya. Istilah *human factors* lebih sering digunakan di Amerika Serikat dan beberapa negara lain, sementara istilah

⁵ Neville Stanton, et al, .ed. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. CRC Press, USA, 2005, hal 2

⁶ Waldemar Karwowski. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Volume 1*. CRC Press, Kentucky, 2006, hal 32-35

ergonomi lebih sering digunakan di negara-negara eropa⁷. Selain *human factors*, beberapa istilah lain yang memiliki definisi dan konteks serupa antara lain *human engineering* dan *engineering psychology*.

Fokus utama pertimbangan ergonomi adalah mempertimbangkan unsur manusia dalam perancangan objek, prosedur kerja dan lingkungan kerja (Sanders & McCormick, 1992). Sedangkan metode pendekatannya adalah dengan mempelajari hubungan manusia, pekerjaan dan fasilitas pendukungnya, dengan harapan dapat sedini mungkin mencegah kelelahan yang terjadi akibat sikap atau posisi kerja yang keliru. Untuk itu, dibutuhkan adanya data pendukung seperti ukuran bagian-bagian tubuh yang memiliki relevansi dengan tuntutan aktivitas, dikaitkan dengan profil tubuh manusia, baik orang dewasa, anak-anak atau orang tua, laki-laki dan perempuan, utuh atau cacat tubuh, gemuk atau kurus. Jadi, karakteristik manusia sangat berpengaruh pada desain dalam meningkatkan produktivitas kerja manusia untuk mencapai tujuan yang efektif, sehat, aman dan nyaman. Tujuan tersebut dapat tercapai dengan adanya pengetahuan tentang kesesuaian, kepresisian, keselamatan, keamanan, dan kenyamanan manusia dalam menggunakan hasil produk desain, yang kemudian dikembangkan dalam penyelidikan di bidang ergonomi.

Pendekatan ergonomi dalam perancangan stasiun dan fasilitas kerja di industri telah menempatkan rancangan sistem kerja manusia-mesin yang awalnya serba rasional-mekanistik menjadi tampak lebih manusiawi. Disini faktor yang terkait dengan fisik maupun perilaku (psikologi) manusia baik secara individu pada saat berinteraksi dengan mesin dalam sebuah rancangan sistim manusia-mesin dan lingkungan kerja fisik akan dijadikan pertimbangan utama. Suatu sistem dapat ditingkatkan atau diperbaiki kinerjanya dengan cara⁸:

- membuat desain suatu *user-interface* sedemikian rupa sehingga terjadi kecocokan antara tugas yang akan dikerjakan dengan orang yang akan mengerjakan tugas tersebut
- mengubah lingkungan kerja sehingga lebih aman dan nyaman untuk mengerjakan tugas tertentu

⁷Mark Sanders. S and Ernest J McCormick, *Human Factor in Engineering and Desain*, McGraw-Hill Inc, Singapore, 1993, hal 4.

⁸ R.S Bridger, *Introduction to Ergonomics*, Taylor & Francis, London, 2003, hal 1.

- mengubah tugas agar lebih cocok dengan karakteristik pengguna
- mengubah cara bagaimana suatu pekerjaan diatur untuk mengakomodir aspek kebutuhan psikologi dan sosial seseorang

Implementasi ergonomi ketika mendesain suatu sistem akan membuat sistem tersebut bekerja lebih baik dengan mengeliminasi aspek-aspek fungsi dari suatu sistem yang tidak diinginkan, tidak dapat dikontrol, atau yang seharusnya tidak diperhitungkan, seperti⁹:

- ketidakefisiensian karena pekerja menghasilkan output yang tidak maksimal
- kelelahan (*fatigue*)
- kecelakaan, luka-luka, dan kesalahan
- kesulitan yang dialami pekerja akibat kombinasi pekerjaan yang tidak sesuai sehingga interaksi yang terjadi akan tampak tidak alami dan tidak praktis
- kurang semangat dan kelesuan pekerja

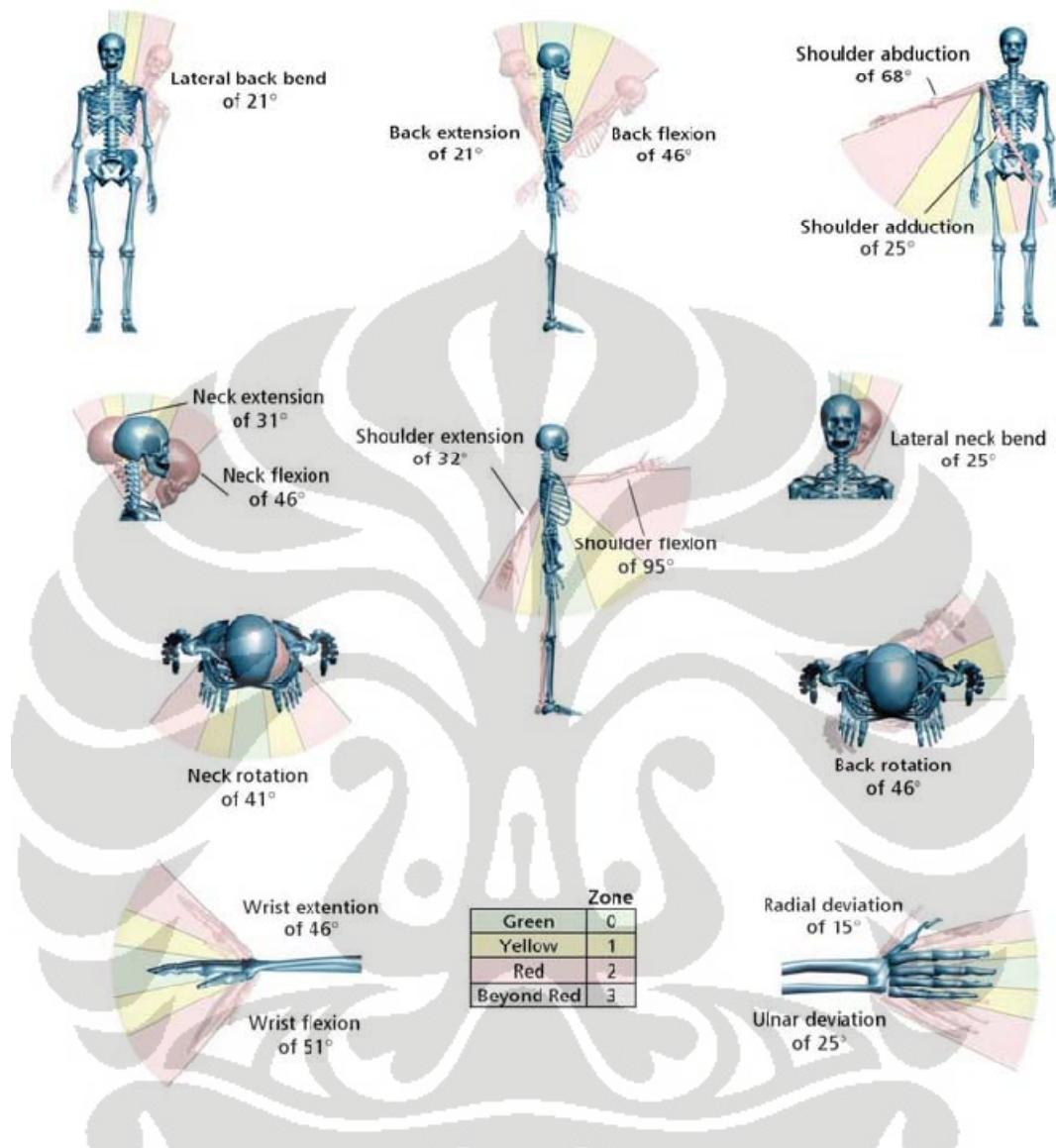
Di dalam ergonomi; pekerja yang absen, mengalami luka, melakukan kesalahan (*human error*) akan dilihat sebagai permasalahan dari sistem itu sendiri. Ergonomi tidak melihat tersebut sebagai permasalahan akibat manusia (*'people' problem*), dan oleh karena itu maka solusi yang harus diberikan adalah melakukan perbaikan sistem kerja bukan memberikan solusi-solusi seperti manajemen sumber daya yang lebih baik, pemberian insentif, memotivasi pekerja dengan slogan-slogan keselamatan ataupun propaganda-propaganda yang berhubungan dengan hal-hal tersebut.

2.2 WORKPLACE ERGONOMIC

Desain dari tempat kerja (*workplace*) dapat berpengaruh terhadap keselamatan dan kesehatan pekerja. Kondisi kerja yang tidak memperhatikan kenyamanan, kepuasan, keselamatan dan kesehatan kerja tentunya akan sangat berpengaruh terhadap produktivitas kerja manusia. Tubuh manusia mempunyai rentang gerak (*range of movement*). Pergerakan yang dilakukan dalam rentang gerak akan memperlancar peredaran darah manusia dan lebih fleksibel sehingga manusia menjadi lebih nyaman ketika bergerak dan produktivitasnya meningkat.

⁹ Ibid, hal 1-2.

Dalam mendesain suatu tempat kerja maka harus diperhatikan rentang gerak manusia untuk membantu mengurangi kelelahan dan gangguan otot¹⁰.



Gambar 2. 1 Berbagai Rentang Gerak Pada Sendi Manusia

Sumber: Scott Openshaw dan Erin Taylor, *Ergonomics and Design: A Reference Guide Handbook*, hal.18

Ketika bekerja maka beberapa jenis pekerjaan harus dilakukan dalam posisi berdiri (*standing workstation*), namun ada beberapa pekerjaan yang lebih nyaman dilakukan dalam posisi duduk (*sitting workstation*). Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan pekerja baik untuk pekerjaan yang dilakukan dalam posisi berdiri ataupun posisi duduk adalah meja kerja.

¹⁰ Scott Openshaw dan Erin Taylor, *Ergonomics and Design: A Reference Guide Handbook*, Allsteel Inc., 2006

Ketinggian permukaan meja kerja haruslah sesuai dengan penggunanya. Apabila ketinggian permukaan meja kerja terlalu tinggi maka mengakibatkan bahu dan lengan atas akan terangkat ke dalam posisi tidak nyaman yang dapat menyebabkan kelelahan dan nyeri otot. Sedangkan apabila ketinggian permukaan meja kerja terlalu rendah, leher dan kepala akan tertunduk sehingga dapat mengakibatkan tulang belakang dan otot menegang.



Gambar 2. 2 Postur Kerja Tidak Ergonomis

Sumber: Back Design Inc., Work Surface Height, 2007

Ketinggian meja yang digunakan untuk bekerja dipengaruhi oleh jenis pekerjaan. Beberapa rekomendasi ketinggian meja kerja yang ideal sesuai jenis pekerjaan untuk *standing workstation* adalah¹¹:

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

¹¹ *Standing Workstation Guidelines*, 2009, < <http://www.scif.com/safety/ergomatters/StandingGuidelines.html>>



Gambar 2. 3 Pengaruh Jenis Pekerjaan Terhadap Tinggi Meja

Sumber: Scott Openshaw dan Erin Taylor, *Ergonomics and Design: A Reference Guide Handbook*, hal.12

Ketika bekerja dalam posisi berdiri maka semua objek yang berkaitan dengan pekerjaan yang sedang dilakukan harus berada pada ketinggian antara pinggul dan bahu. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi *postural stress* yang terjadi akibat posisi tangan yang terlalu tinggi. Prinsip ini harus dipertimbangkan ketika mendesain suatu tempat kerja untuk pekerjaan yang dilakukan dalam posisi berdiri.

Tabel 2. 1. Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Berdiri

| <i>Task requirements</i> | <i>Male</i> | <i>Female</i> |
|--------------------------|-------------|---------------|
| Precision work | 109–119 | 103–113 |
| Light assembly work | 99–109 | 87–98 |
| Heavy work | 85–101 | 78–94 |

Sumber: Bridger, *Introduction to Ergonomics*, hal. 104

Sedangkan untuk pekerjaan yang dilakukan dalam posisi duduk (*sitting workstation*), khususnya untuk industri garmen, maka ketinggian meja yang dianjurkan adalah 5 cm, 10 cm dan 15 cm di atas tinggi siku¹².

Untuk pekerjaan yang dilakukan dalam posisi duduk maka selain tinggi meja perlu diperhatikan juga tinggi kursi kerja. Ketinggian kursi kerja biasanya disesuaikan dengan ketinggian meja kerja. Perhitungan kursi ekkerja yang ideal

¹²Balraj Singh Brar, Chandandeep Singh Grewal and Kuldeep Kumar Sareen, *Ergonomics Considerations in Sewing Machine Work Station Design*, India, 2008

dengan tinggi meja kerja biasanya dilakukan dengan mengurangi tinggi meja kerja yang didapat dengan *sitting elbow height*¹³.

Tabel 2. 2. Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Duduk

| <i>Task requirements</i> | <i>Male</i> | <i>Female</i> |
|--------------------------|-------------|---------------|
| Fine work | 99–105 | 89–95 |
| Precision work | 89–94 | 82–87 |
| Writing | 74–78 | 70–75 |
| Coarse or medium work | 69–72 | 66–70 |

Sumber: Bridger, Introduction to Ergonomics, hal. 107

2.3 ANTROPOMETRI

Istilah *Anthropometri* berasal dari “*anthro*” yang berarti manusia dan “*metri*” yang berarti ukuran. Secara definisi *Antropometri* dapat dinyatakan suatu studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia. Definisi lebih lanjut dari antropometri adalah pengetahuan yang menyangkut pengukuran dimensi tubuh manusia dan karakteristik khusus lain dari tubuh yang relevan dengan perancangan alat-alat/benda-benda yang digunakan manusia. Kenyamanan menggunakan alat bergantung pada kesesuaian ukuran alat dengan ukuran manusia. Jika tidak sesuai, maka dalam jangka waktu tertentu akan mengakibatkan stress tubuh antara lain dapat berupa lelah, nyeri, pusing. Rancangan yang mempunyai kompatibilitas tinggi dengan manusia yang memakainya sangat penting untuk mengurangi timbulnya bahaya akibat terjadinya kesalahan kerja akibat adanya kesalahan desain (Liliana dkk, 2007). Antropometri dibagi atas dua bagian utama, yaitu:

- antropometri statis (struktural)

Pengukuran dilakukan terhadap berbagai posisi standar tubuh dan tidak bergerak (tetap tegak sempurna). Istilah lain dari pengukuran ini adalah *static anthropometry*. Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap antara lain meliputi berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri maupun duduk, ukuran kepala, tinggi/panjang lutut pada saat berdiri maupun duduk, panjang lengan, dan sebagainya.

¹³Stephen Pheasant, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work 2nd Edition*, Taylor & Francise, USA, 2003, hal.94-96.

- antropometri dinamis (fungsional)

Antropometri dinamis adalah pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan-gerakan yang mungkin terjadi saat pekerja tersebut melaksanakan kegiatannya. Hal pokok yang ditekankan dalam pengukuran dimensi fungsional tubuh adalah mendapatkan ukuran tubuh yang nantinya akan berkaitan erat dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan tubuh untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu. Istilah lain dari pengukuran ini adalah *dynamic anthropometry*. Antropometri dalam posisi tubuh melakukan fungsinya yang dinamis banyak diaplikasikan dalam proses perancangan fasilitas maupun ruang kerja. Sebagai contoh, perancangan kursi mobil dimana posisi tubuh pada saat melakukan gerakan mengoperasikan kemudi, tangkai pemindah gigi, pedal serta jarak antara manusia dengan atap mobil dan *dashboard*.

Permasalahan variasi dimensi antropometri seringkali menjadi faktor dalam menghasilkan rancangan sistem kerja yang cocok untuk pengguna. Dimensi tubuh manusia itu sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor yang harus menjadi salah satu pertimbangan dalam menentukan sampel data yang akan diambil. Faktor-faktor tersebut adalah:

- umur

Secara umum dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar – seiring dengan bertambahnya umur – yaitu sejak awal kelahiran sampai dengan umur 20 tahunan. Dari penelitian yang dilakukan oleh A.F. Roche dan G.H. Davila (1972) dalam I Wayan Darma (2004) di USA diperoleh kesimpulan bahwa laki-laki akan tumbuh dan berkembang naik sampai dengan usia 21.2 tahun, sedangkan wanita 17.3 tahun; meskipun ada sekitar 10% yang masih terus bertambah tinggi sampai usia 23.5 tahun (laki-laki) dan wanita 21.1 tahun (wanita). Setelah itu, tidak lagi akan terjadi pertumbuhan justru akan cenderung berubah menjadi penurunan ataupun penyusutan yang dimulai sekitar umur 40 tahunan.

- jenis kelamin

Secara distribusi statistik ada perbedaan yang signifikan antara dimensi tubuh pria dan wanita. Untuk kebanyakan dimensi pria dan wanita ada perbedaan

yang signifikan diantara rata-rata dan nilai perbedaan ini tidak dapat diabaikan begitu saja. Pria dianggap lebih panjang dimensi segmen badannya dari pada wanita kecuali didaerah pinggul dan paha. Lipatan kulit wanita juga lebih besar dari lipatan kulit pria. Oleh karenanya data antropometri untuk kedua jenis kelamin tersebut selalu disajikan secara terpisah.

- rumpun dan suku bangsa
Suku/bangsa (*ethnic*). Setiap suku, bangsa ataupun kelompok etnik akan memiliki karakteristik fisik yang akan berbeda satu dengan yang lainnya.
- sosio ekonomi dan konsumsi gizi yang diperoleh.
- pekerjaan, aktivitas sehari-hari juga berpengaruh
- kondisi waktu pengukuran
Sikap (*posture*) ataupun posisi tubuh akan berpengaruh terhadap ukuran tubuh oleh sebab itu, posisi tubuh standar harus diterapkan untuk survei pengukuran.

Terdapat dua pilihan dalam merancang sistem kerja berdasarkan data antropometri, yaitu:

- sesuai dengan tubuh pekerja yang bersangkutan (perancangan individual), yang terbaik secara ergonomi
- sesuai dengan populasi pemakai/pekerja

Langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam melakukan pengukuran antropometri¹⁴:

1. Menentukan dimensi tubuh yang berpengaruh terhadap desain penelitian
2. Menentukan populasi yang akan menjadi objek penelitian. Penentuan populasi ini akan berpengaruh pada interval data yang akan digunakan.
3. Menentukan konsep pengukuran yang akan diaplikasikan (*design for extreme Individuals, for an adjustable range, or for the average*)
4. Menentukan persentase populasi yang dapat diakomodasi dari hasil pengukuran ini
5. Melokasikan meja antropometri yang cocok untuk populasi kemudian mengambil nilai-nilai yang relevan dengan konsep penelitian
6. Menentukan *allowance* jika objek yang diteliti mengenakan pakaian khusus

¹⁴ *Anthrop*, 2008, <<http://www.ie.emu.edu.tr>>

Seperti yang telah disebutkan dalam langkah-langkah dalam pengukuran antropometri, perancangan populasi pengukuran untuk penelitian itu sendiri memiliki tiga pilihan yaitu:

- *design for extreme individuals*

Terdapat 2 prinsip yang digunakan dalam membuat rancangan produk untuk individu dengan ukuran tubuh yang ekstrim. Prinsip yang pertama adalah bahwa rancangan produk tersebut bisa sesuai untuk ukuran tubuh manusia yang termasuk klasifikasi ekstrim dalam arti terlalu besar atau kecil bila dibandingkan rata-ratanya. Prinsip yang kedua adalah bahwa rancangan produk tersebut tetap bisa digunakan untuk memenuhi ukuran tubuh yang lain (mayoritas dari populasi yang ada)

- *design for adjustable range*

Rancangan produk yang dihasilkan bersifat fleksibel karena bisa diubah-ubah untuk berbagai macam ukuran tubuh. Contoh yang paling banyak dijumpai adalah perancangan kursi mobil yang mana dalam hal ini letaknya bisa digeser maju mundur dan sudut sandarannya pun bisa berubah sesuai dengan yang diinginkan. Untuk mendapatkan rancangan desain yang bisa diubah-ubah ini maka data antropometri yang umumnya digunakan adalah dalam rentang nilai 5th sampai dengan 95th *percentile*.

- *design for average*

Rancangan produk dibuat berdasarkan rata-rata ukuran manusia. Permasalahan yang sering terjadi ketika membuat rancangan produk dengan menggunakan rata-rata ukuran manusia adalah sedikitnya jumlah manusia yang kenyataannya berada dalam rentang rata-rata ukuran tubuh manusia.

Pada perancangan yang sesuai dengan populasi pemakai/pekerja, konsep persentil banyak digunakan untuk memudahkan dalam merancang. Penggunaan konsep persentil ditujukan untuk memberi aspek keamanan dan kenyamanan bagi manusia di dalam alat atau sistem kerja yang dirancang. Persentil pada dasarnya menyatakan persentase manusia dalam suatu populasi yang memiliki dimensi tubuh yang sama atau lebih kecil dari nilai tersebut. Misalnya persentil pertama ukuran tinggi tubuh, menunjukkan bahwa 99 persen dari populasi yang diukur

memiliki tinggi tubuh melebihi angka tersebut. Umumnya persentil yang digunakan dalam perancangan adalah persentil 5, 50, dan 95.

Tabel 2. 3. Penjelasan Pengukuran Persentil

| Percentile Description | |
|------------------------|----------------------------------|
| 5th | 5% of the population is smaller |
| 50th | Average value |
| 95th | 95% of the population is smaller |

Sumber: Helander, 2006, hal. 149

2.4 KELELAHAN (*FATIGUE*)

Kelelahan merupakan kejadian yang umum terjadi jika seseorang bekerja. Rasa lelah pada dasarnya merupakan “pesan” bahwa tubuh membutuhkan istirahat. Jika terjadi kelelahan, seseorang akan mengalami peningkatan kesulitan dalam melakukan kerja baik fisik maupun mental. Secara umum, kelelahan biasanya ditandai oleh perasaan letih atau lesu dan kesulitan untuk berkonsentrasi. Jika tidak dilanjutkan dengan istirahat, kelelahan ini dapat berdampak kepada:

- kemampuan kerja (kerja lambat dan target kerja tidak tercapai),
- kualitas kerja (banyak kesalahan atau cacat produksi)
- kecelakaan kerja karena seseorang menjadi tidak awas dan tidak dapat merespon perubahan di sekitarnya dengan baik

Penyebab kelelahan dapat dibagi atas dua kelompok, yakni faktor yang berkaitan dengan pekerjaan (*work-related factors*) dan faktor yang tidak berhubungan dengan pekerjaan (*non-work related factors*). Faktor terkait pekerjaan diantaranya:

- lamanya waktu kerja,
- lingkungan kerja (panas, bising, dsb)
- desain prosedur , alat dan tempat kerja
- beban kerja yang berlebihan
- desain roster kerja (proporsi dan jadwal waktu kerja dan istirahat)

Sedangkan faktor yang tidak berhubungan dengan pekerjaan adalah gangguan tidur, kerja sambilan, dan permasalahan kesehatan individu.

Untuk mendeteksi gejala kelelahan, dapat dilihat dari dua aspek, yakni aspek fisik dan aspek mental. Beberapa gejala kelelahan dilihat dari aspek fisik, diantaranya:

- sering menguap
- bukaan mata yang mengecil
- pandangan mata kabur dan tidak fokus
- waktu reaksi fisik yang melambat
- *microsleep* (memejamkan mata 2-3 detik) saat kerja terjadi berulang kali

Sedangkan gejala kelelahan dilihat dari aspek mental, diantaranya:

- konsentrasi lemah dan pikiran yang menerawang
- kesulitan mengingat hal-hal yang baru saja dilihat, didengar, atau dilakukan
- tidak atau lambat merespon perubahan situasi di sekitar
- kurang awas dan kurang terjaga
- mengalami kesulitan dalam mengambil keputusan, dan juga membuat keputusan yang salah

Mengatasi kelelahan kerja tidak dapat dilakukan pada tingkat individu saja. Hal ini menuntut adanya kerja sama yang baik antara pekerja, perusahaan, dan keluarga pekerja yang bersangkutan. Keterlibatan dan kerja sama dalam mengatasi kelelahan kerja ini dikenal dengan istilah manajemen kelelahan kerja (*fatigue management*).

Seperti telah disebutkan sebelumnya, terdapat 2 faktor penyebab terjadinya kelelahan kerja. Perusahaan bertanggung jawab memastikan faktor yang berkaitan dengan pekerjaan dapat diminimasi sedemikian rupa yang intinya adalah dengan menerapkan rekayasa ergonomi (*Ergonomics Engineering*) di tempat kerja. Faktor yang tidak berkaitan dengan pekerjaan dapat diminimasi dengan memberikan pelatihan atau *training*. Dalam hal ini, perusahaan juga dapat berkontribusi dalam memberikan kesadaran kepada pekerja.

Beberapa contoh upaya mengatasi kelelahan yang dapat dilakukan oleh pihak perusahaan diantaranya:

- melakukan *ergonomics assessment* pada semua lini pekerjaan dengan fokus pada *fatigue evaluation* untuk memastikan semua desain pekerjaan (prosedur, alat dan lingkungan kerja) masih dalam batas kemampuan pekerja

- mengatur pola jam kerja dan istirahat selama kerja (misalnya setiap 2 jam kerja dilanjutkan istirahat 10 menit). Penelitian menunjukkan bahwa istirahat yang dibagi kecil (*small break*) lebih baik untuk mengurangi kelelahan dari pada istirahat yang digabung menjadi satu.
- memberikan variasi, rotasi atau pengayaan pada pekerjaan agar sehingga tidak hanya membebani otot atau bagian tubuh tertentu terus menerus (dalam istilah manajemen yang disebut *job enrichment* atau *job enlargement*)
- memberi kesempatan kepada pekerja untuk melakukan *microbreak*
- melakukan *training* untuk pekerja tentang *fatigue management*
- melakukan *training* untuk pekerja tentang *sleep management*
- menerapkan *buddy system* dimana seorang pekerja juga bertanggung jawab memperhatikan rekan kerja yang lain jika mengalami kelelahan yang berlebihan

Sedangkan pada tingkat individu, upaya mengatasi kelelahan kerja dapat dilakukan antara lain dengan cara:

- jika memungkinkan, mengatur sendiri distribusi beban kerja selama bekerja
- menghindari bekerja secara berulang-ulang dan monoton dalam waktu yang lama
- melakukan variasi aktivitas selama bekerja
- memastikan istirahat yang cukup selama di rumah
- memastikan kondisi fit untuk bekerja

Perlu dicatat juga bahwa istirahat yang cukup setelah kerja diperlukan oleh tubuh untuk melakukan pemulihan sel-sel dan fungsi tubuh. Akumulasi kelelahan dalam jangka panjang dapat berdampak kepada kesehatan, seperti gangguan jantung, depresi, tekanan darah tinggi, diabetes, pusing, sakit kepala, dan gangguan pencernaan.¹⁵

2.5 WMSD

Suatu kondisi kerja yang tidak ergonomis dapat memicu terjadinya *Work related Musculoskeletal Disorders* (WMSD). WMSD merupakan fenomena atau kejadian yang berhubungan dengan kerja. Beberapa literatur menjelaskan bahwa

¹⁵ *Ergo News* 7, 2009, <<http://www.ergoinstitutie.com>>

pekerjaan tertentu dan khusus merupakan faktor penyebab risiko terkenanya WMSD begitu pula dengan pekerjaan lain yang tidak memperlihatkan adanya faktor risiko yang terjadi (Silverstein, 1985; Ayoub dan Wittels, 1989; Stock, 1991; Hagberg, 1992).

WMSD pertama kali ditemukan sewaktu meneliti pekerjaan yang berulang dengan beban yang terus-menerus. Mekanisme imunologis dan biokimia tidak memberikan banyak informasi, tetapi satu hal yang pasti adalah adanya kerusakan jaringan yang cukup parah menyebabkan tidak berfungsinya beberapa substansi pada tubuh. Secara garis besar, keluhan otot muskuloskeletal dikelompokkan menjadi dua¹⁶:

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

Keluhan otot skeletal pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Sebaliknya, keluhan otot kemungkinan tidak terjadi apabila kontraksi otot hanya berkisar antara 15 – 20 % dari kekuatan otot maksimum. Namun apabila kontraksi otot melebihi 20%, maka peredaran darah ke otot berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang menyebabkan timbulnya rasa nyeri otot¹⁷.

Faktor primer penyebab terjadinya WMSD:

- peregangan otot yang berlebihan
- aktivitas berulang
- sikap kerja tidak alamiah.

Faktor sekunder penyebab terjadinya WMSD adalah:

¹⁶ Tarwaka. Bakri, Solichul, HA. Sudiajeng, Lilik, *Ergonomi Untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*, UNIBA Press, 2004, hal.117.

¹⁷P.K. Suma'mur, *Ergonomi Untuk Produktivitas Kerja*, Yayasan Swabhawa Karya, Jakarta, 1982

- tekanan, terjadinya tekanan langsung pada jaringan otot yang lunak.
- mikrolimat, paparan udara panas dan dingin yang tidak sesuai.
- getaran, dengan frekwensi tinggi menyebabkan kontraksi otot bertambah, yang menyebabkan peredaran darah tidak lancar dan penimbunan asam laktat dan akhirnya timbul rasa nyeri otot¹⁸.

Faktor kombinasi penyebab terjadinya WMSD:

- umur, pada umumnya keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 25 – 60 tahun¹⁹.
- jenis kelamin, secara fisiologis kemampuan otot wanita lebih rendah daripada pria. Kekuatan otot wanita sekitar dua pertiga dari kekuatan otot pria²⁰.
- kebiasaan merokok, semakin lama dan semakin tinggi frekwensi merokok, semakin tinggi pula tingkat keluhan otot yang dirasakan.
- kesegaran jasmani, laporan NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) yang menyatakan bahwa untuk tingkat kesegaran tubuh yang rendah, maka risiko terjadinya keluhan adalah 7.1%, tingkat kesegaran tubuh sedang adalah 3.2% dan tingkat kesegaran tubuh tinggi adalah 0.8%.
- kekuatan fisik
- ukuran tubuh (antropometri)

Mengukur dan mengenali penyebab keluhan muskuloskeletal dapat dilakukan dengan *checklist*, model biomekanik, fisik, psikofisik, pengamatan, analitik, dan NBM. Dan anggota tubuh bagian atas yang kerap mengalami WMSD dapat terlihat pada gambar 2.1.²¹

¹⁸ ibid

¹⁹ D.B., Choffin, *Localized Muscle Fatigue, Definition and Measurement. Journal of Occupational Medicine*, 1979, hal.346

²⁰ P.O. Astrand, *Textbook of Working Physiology, 2th ed.*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1977

²¹ Richard Wells, *Ergonomics for Occupational Hygienists (International RSI Day)*, University of Waterloo, 2006.

2.6 HUMAN ERROR, KECELAKAAN KERJA, DAN SAFETY

2.6.1 Human Error

Untuk beberapa orang, pengertian *human error* berkonotasi negatif. Pendekatan yang lebih baik terhadap pengertian *human error* ini adalah dengan memepertimbangkannya sebagai suatu kejadian (*event*) yang dapat diselidiki sebab terjadinya. *Human Error* dapat diartikan sebagai hasil keputusan atau tingkah laku manusia yang tidak tepat atau tidak diinginkan, memiliki potensi untuk dikurangi, ditingkatkan efektivitasnya, keamanan dan juga kinerja sistemnya.²² Walaupun terdapat kecenderungan untuk mengaitkan *human error* dengan operator, namun pihak-pihak lain yang terlibat dalam desain dan operasi suatu sistem juga dapat berkontribusi terhadap terjadinya *human error*. Pihak-pihak lain tersebut adalah desainer peralatan yang digunakan dalam sistem tersebut, manajer, *supervisor*, dan bagian pemeliharaan (*maintenance personnel*). Untuk itu, ketika membicarakan *human error*, maka operator tidak harus selalu menjadi fokus perhatian, tetapi juga dengan mempertimbangkan keseluruhan sistem.

Berbagai usaha untuk mengkalsifikasikan *human error* telah dilakukan selama bertahun-tahun. Klasifikasi *human error* yang efektif dapat bermanfaat dalam pengumpulan data tentang *human error* serta memberikan panduan yang berguna untuk menyelidiki sebab terjadinya *human error* dan cara untuk mengatasinya. Salah satu klasifikasi yang paling sederhana adalah yang dilakukan oleh Swain dan Guttman (1983)²³:

- *errors of omission*, yaitu kesalahan karena lupa melakukan sesuatu. Contohnya, seorang montir listrik terserum karena lupa memutuskan arus listrik yang seharusnya diputus sebelum dia melakukan pekerjaan tersebut.
- *errors of commission*, yaitu ketika mengerjakan sesuatu tetapi tidak dengan cara yang benar. Contohnya, seorang mekanik seharusnya menyalakan *conveyor* dengan kecepatan biasa saja namun karena kehilangan keseimbangan, sang mekanik melakukan kesalahan dengan menyalakan *conveyor* pada kecepatan penuh.

²² Mark Sanders. S and Ernest J McCormick, Op.Cit, hal.656.

²³ Ibid, hal.657.

- *a sequence error*, yaitu kesalahan karena melakukan pekerjaan tidak sesuai dengan urutan. Contohnya, seorang operator seharusnya melakukan pekerjaan dengan urutan mengangkat baru kemudian memutar benda yang akan diangkat. Namun yang terjadi, sang operator memutar benda terlebih dahulu tanpa mengangkatnya, akibatnya benda tersebut terbalik dan menimpa sang operator.
- *a timing error*, yaitu kesalahan yang terjadi ketika seseorang gagal melakukan pekerjaan dalam waktu yang telah ditentukan, baik karena respon yang terlalu lama ataupun respon yang terlalu cepat. Contohnya, seorang operator seharusnya sudah menjauhkan tangannya dari suatu mesin, namun karena respon operator terlalu lama, sang operator gagal menjauhkan tangannya di waktu yang telah ditentukan dan menyebabkan kecelakaan serius.

Menghindari *human error* adalah hal yang tidak mungkin, namun terjadinya *human error* dapat dikurangi dengan beberapa cara:

- *selection*, pemilihan orang-orang dengan kemampuan dan keahlian yang dibutuhkan dalam melakukan suatu pekerjaan akan mengurangi jumlah error yang terjadi. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan ketika memilih orang-orang yang tepat untuk suatu pekerjaan adalah daya tangkap, intelektualitas, dan kemampuan motorik.
- *training*, pelaksanaan training dapat mengurangi terjadinya *human error* namun terkadang orang-orang tidak bekerja sebagaimana mereka telah dilatih. Oleh karena itu, perlu diadakan refresher training untuk menjadikan materi training menjadi suatu kebiasaan kerja.
- *design*, mendesain peralatan, prosedur, dan lingkungan dengan baik dapat meningkatkan performa kerja. Terdapat tiga jenis desain dalam ruang lingkup *human error*:
 - Exclusion design*, desain yang tidak memungkinkan terjadinya *human error*.
 - Prevention design*, desain yang membuat sulitnya terjadi *human error*, namun masih terdapat kemungkinan terjadi.
 - Fail-safe design*, desain yang mengurangi dampak berkelanjutan dari suatu *error*, namun tidak mengurangi kemungkinan terjadinya *error*.

2.6.2 Kecelakaan Kerja

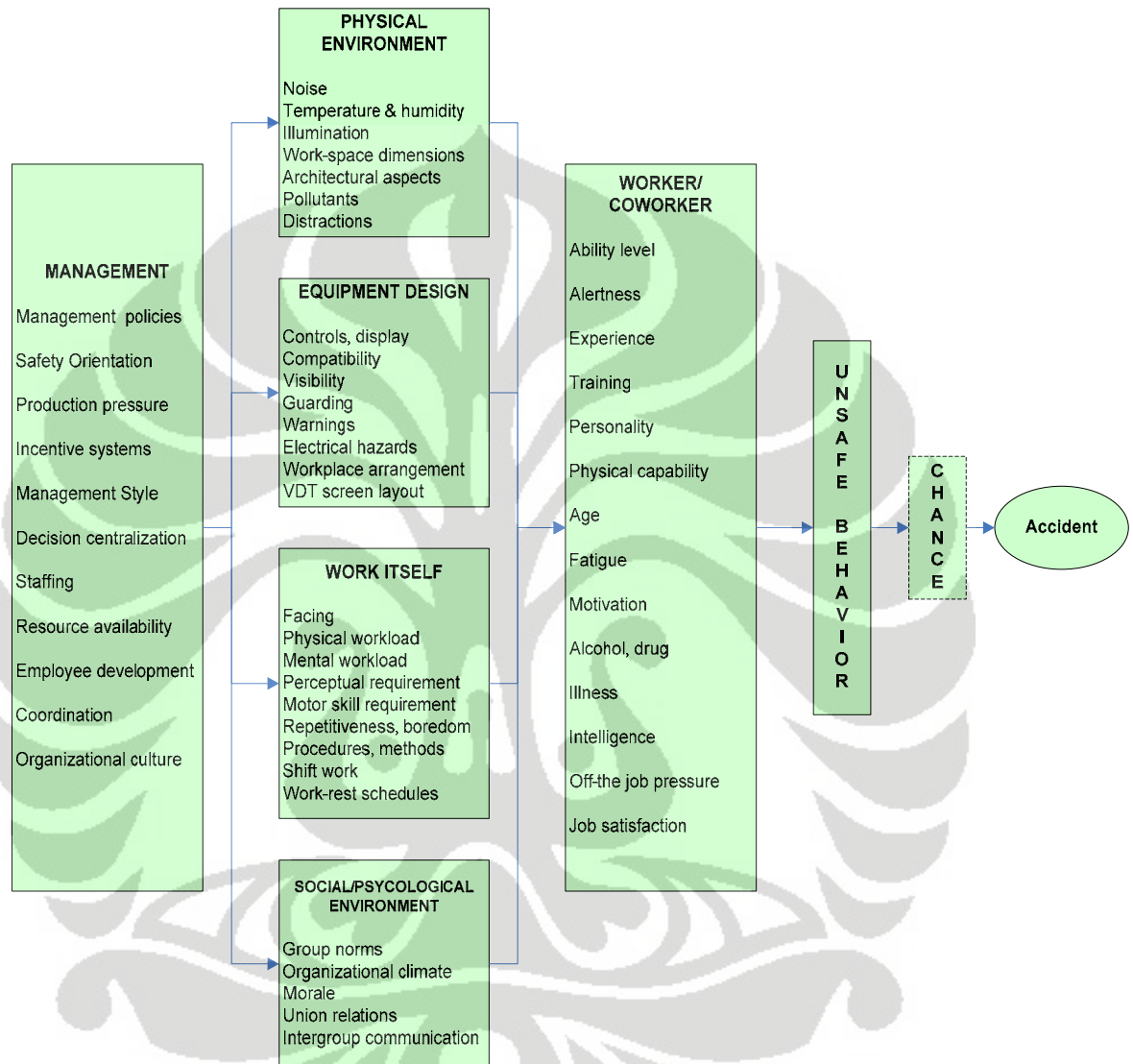
Kecelakaan kerja didefinisikan sebagai “*an anticipated event which damages the system and/or the individual or affects the accomplishment of the system mission or the individual’s task*” (Meister, 1987). Beberapa definisi sering menyamakan antara kecelakaan kerja dengan luka-luka, namun pada kenyataannya kedua hal tersebut tidak dapat disamakan. Kecelakaan kerja sering kali terjadi tanpa disertai dengan luka-luka pada operator tetapi hanya menyebabkan kerusakan property pada suatu sistem²⁴. Untuk mengkategorikan sebuah kejadian sebagai suatu kecelakaan kerja maka terdapat tiga indikator: (1) kejadian tersebut tidak diharapkan untuk terjadi, (2) kejadian tersebut tidak dapat dihindari, dan (3) kejadian tersebut tidak dimaksudkan untuk terjadi (Suchman 1961).

Kecelakaan kerja sering dikaitkan dengan *human error*. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Heinrich (1959) pada perusahaan asuransi bahkan melaporkan bahwa 85% kecelakaan yang terjadi disebabkan oleh *human error*. Namun persentase kontribusi *human error* terhadap kecelakaan kerja harus dipertimbangkan berdasarkan beberapa faktor. Contohnya, manusia mana yang diperhatikan ketika disebutkan terjadi *human error*? Definisi tradisional yang ada mendeskripsikan *human error* sebagai *operator error*. Namun, pemikiran tersebut sangatlah sempit jika dihubungkan dengan pihak-pihak lain yang memiliki kontribusi terjadinya *human error*. Pihak-pihak seperti manajer, desainer sistem, bagian pemeliharaan, dan kolega kerja juga dapat berkontribusi terhadap terjadinya *human error*. Ketika pengertian *human error* yang lebih luas ini diyakini, maka sangat bisa dikatakan bahwa “*human error* adalah penyebab dari semua kecelakaan kerja yang terjadi” (Petersen, 1984).

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan dilukiskan oleh banyak peneliti dalam beberapa model. Sanders dan Shaw (1988) meninjau faktor-faktor yang diperhitungkan dalam beberapa model berbeda. Berdasarkan tinjauan yang mereka lakukan diajukan sebuah model yang dikenal dengan *Contributing Factors in Accident Causation (CFAC)*. Keunikan dari model CFAC ini adalah penekanannya pada faktor manajemen dan sosial-

²⁴ Ibid, hal.662.

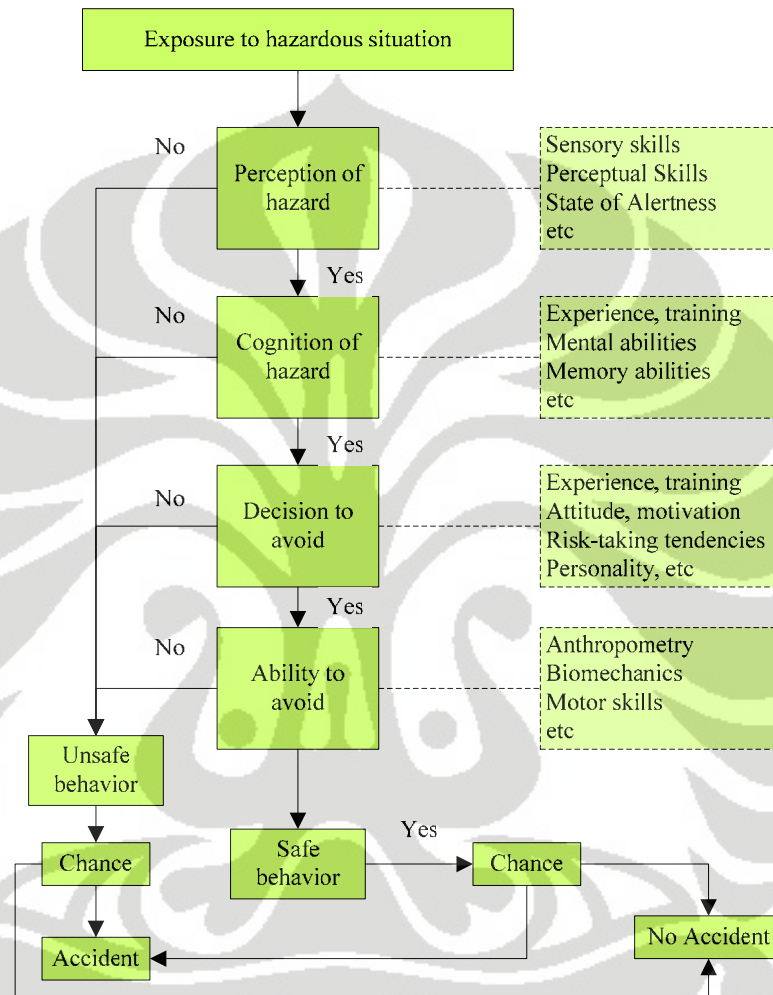
psikologi, penjelasan mengenai sistem manusia-mesin-lingkungan dengan mengkategorikannya secara terpisah untuk masing-masing komponen, penjelasan yang sederhana (*simplicity*), dan juga mudah dimengerti.



Gambar 2. 4 *Contributing Factors in Accident Causation (CFAC) Model*
 Sumber: Sanders and Shaw, 1988,

Ilustrasi dengan pendekatan yang berbeda dalam mengidentifikasi faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kesalahan dijelaskan dalam model yang diajukan oleh Ramsey (1985). Ramsey menelusuri langkah-langkah pemrosesan informasi yang termasuk dalam urutan proses terjadinya kecelakaan dan membuat daftar factor yang mempengaruhi setiap proses tersebut. Faktor yang ditelusuri

oleh Ramsey hanyalah faktor-faktor yang berhubungan dengan karakteristik dari seorang individu. Jika dibandingkan dengan model yang diajukan oleh Sanders dan Shaw yang melihat faktor-faktor dari sisi lingkungan kerja, maka model Ramsey ini sangat cocok digunakan untuk menelusuri faktor terjadinya kecelakaan pada berbagai situasi yang berbahaya.²⁵



Gambar 2.5 *Accident Sequence Model*

Sumber: Ramsey, 1985

2.7 VIRTUAL ENVIRONMENT (VE)

Simulasi adalah sebuah *tool* yang sangat bermanfaat untuk menganalisa desain dan operasi dari suatu sistem manufaktur. Beberapa tahun belakangan ini, permodelan simulasi dan analisa telah berkembang sangat pesat seiring dengan

²⁵ Ibid, hal.666-667.

berkembangnya teknologi komputer. Perkembangan ini telah memungkinkan pembuatan model sistem manufaktur yang sangat detail, kedetailan ini terutama dilihat dari perspektif perhitungan computer. Model yang sangat teliti tersebut sangat berguna dalam membuat prototype kinerja sistem, namun tentu saja hal itu harus dilengkapi dengan konsep-konsep simulasi, atau dengan pendekatan yang terstruktur untuk operasi permodelan pabrik.

Kegunaan simulasi terletak pada kemampuannya yang menawarkan suatu metode analisis yang tidak hanya formal dan prediktif tapi juga akurat dalam mengevaluasi performa dari sistem, tanpa harus mengganggu kondisi nyata dalam sistem sesungguhnya. Selain itu, perbaikan-perbaikan yang secara konvensional dapat memakan waktu hingga berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dapat disingkat menjadi beberapa hari atau beberapa saja dengan menggunakan simulasi. Simulasi dalam *virtual environment* (VE) 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.

VE dapat didefinisikan sebagai simulasi tiga dimensi, multi-sensor, real-time, dan interaktif yang dapat dibuat oleh user melalui peralatan input ataupun output tiga dimensi. Definisi lain menyebutkan VE sebagai representasi komputer tiga dimensi dari sebuah ruang dimana user dapat memindahkan titik pandang mereka dengan bebas secara real-time. VE tidak dapat didefinisikan secara spesifik karena penggunaannya sudah sangat luas saat ini²⁶. Teknologi yang digunakan untuk menciptakan VE disebut dengan *Virtual Reality* (VR). VR adalah teknologi yang memungkinkan sebuah objek untuk pindah ke lingkungan yang lain tanpa harus memindahkan mereka secara fisik.²⁷

VE dapat digunakan untuk berbagai macam tujuan, mulai dari membuat visualisasi dan presentasi dari sebuah ide sampai dengan pembuatan konsep desain. Sebuah objek dalam VE dapat memiliki atribut-atribut seperti yang dimiliki objek tersebut di dunia nyata. Atribut-atribut itu dapat mencakup bentuk,

²⁶Francesco Caputo, Giuseppe Di Girinimo, and Adelaide Marzano, *A Structured Approach to Simulate Manufacturing Systems in Virtual Environment*, University of Naples Federico, Italia, 2006.

²⁷Daniel Thalmann, *Introduction to Virtual Environment*, Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland, 1998.

warna, material, pergerakan, berat dan bahkan suara. Perubahan terhadap objek-objek tersebut juga lebih mudah dilakukan pada VE dibandingkan pada sebuah objek yang nyata secara fisik. Alternatif desain dan juga konsekuensi desain tersebut juga dapat divisualisasikan oleh komputer dengan cepat sehingga didapatkan *feedback* mengenai permasalahan yang terjadi (Vance, 1998). VE juga sangat membantu analisa ergonomi baik karena peneliti dapat melakukan analisa ergonomi dengan dua cara, yaitu membuat manusia digital kemudian dimasukkan dalam VE ataupun *end-user* yang berinteraksi langsung dengan model virtual²⁸. VE dan VR dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam pengumpulan data dan penelitian, seperti:

- operasi kerja di lingkungan yang berbahaya
Contohnya: orang-orang yang bekerja di tempat kerja yang menandung radioactive atau zat racun, serta orang-orang yang bekerja di luar angkasa dapat melakukan penanganan material yang sifatnya berbahaya dengan cara *teleoperation* atau *telepresence* sehingga tidak perlu dilakukan kontak langsung
- visualisasi ilmiah
VE dan VR mendukung adanya *feedback* grafis secara *real-time* selama simulasi berlangsung sehingga peneliti dapat berkonsentrasi terhadap area-area penelitian yang penting
- kedokteran
Proses *experiment* dengan menggunakan pasien virtual telah menjadi isu penelitian saat ini. Dengan adanya VE dan VR maka akan sangat memungkinkan untuk membuat tampilan pasien virtual yang realistis. Simulasi fisiologis tubuh manusia ini dapat digunakan untuk mengetahui efek dari berbagai penyakit dan juga penggantian organ terhadap tubuh manusia seperti layaknya yang terjadi di dunia nyata.
- rehabilitasi dan bantuan untuk orang-orang cacat
Penelitian yang ada menunjukkan bahwa VE dan VR dapat digunakan untuk membuat kotak dialog berdasarkan isyarat tangan. Kotak dialog ini dibuat berdasarkan *American Sign Language* dan dapat membantu komunikasi untuk

²⁸ Roy C. Davies, *Application of Systems Design Using Virtual Environment*, University of Lund, Sweden, 2000.

manusia yang tuli. Manfaat lainnya adalah penggunaan teknik VR untuk memperbaiki kondisi pasien cacat yang mengalami gangguan otak.

- visualisasi arsitektur

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

- desain

VE dan VR menyediakan peralatan 3D yang sangat bermanfaat dalam pembuatan desain barang-barang 3D. Contoh desain 3D adalah bentuk mobil, desainer akan sangat memperhatikan lekukan-lekukan dan aspek estetis mobil tersebut dari berbagai sudut pandang.

- simulasi dan ergonomi

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

- *entertainment*

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

2.8 SOFTWARE JACK

Jack adalah suatu *ergonomic software* yang dapat digunakan untuk menciptakan lingkungan tiga dimensi atau *virtual world* dan membuat suatu interaksi antar elemen dalam lingkungan grafis. Dunia Jack dapat diciptakan mendekati dunia yang sebenarnya (*real-world*). Pengembangan *software* Jack ini terutama sangat memperhatikan penciptaan model tubuh manusia yang paling akurat dibandingkan dengan model manusia digital lain yang pernah ada. Keunggulan Jack adalah kemampuannya dalam menciptakan simulasi manusia dengan karakteristik ergonomi, biomekanik, dan antropometri yang tepat. Manusia digital yang ada dalam *software* Jack akan tampak dan bertindak layaknya manusia di dunia nyata. Manusia digital dalam *software* Jack mengerti

keseimbangan, cara berjalan, dan mengangkat. Beberapa hal yang dapat dilakukan dengan *software* Jack adalah:

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

Langkah-langkah yang harus dilakukan ketika menggunakan Jack adalah:

1. Membuat virtual environment

Pembuatan virtual environment ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan objek-objek yang disediakan oleh *software* Jack atau dengan membuat objek sendiri pada AutoCAD kemudian mengimpornya.

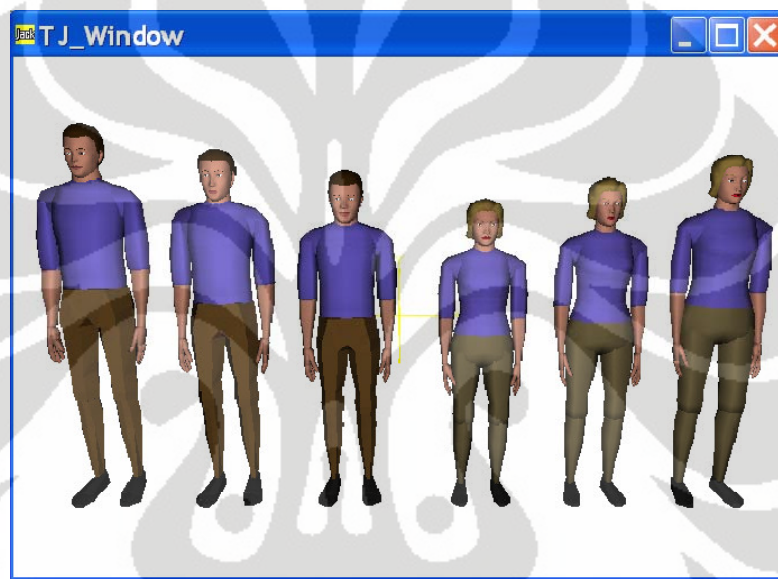


Gambar 2.6 Lingkungan (*Environment*) pada *Software* Jack

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

2. Menciptakan manusia digital

Model manusia Jack terdiri dari 71 segmen, 69 persendian, dan 135 derajat kebebasan. Database antropometri yang digunakan oleh Jack untuk membuat manekin manusia adalah ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*). Jack juga memungkinkan penggunaannya untuk membuat model manusia tidak hanya dengan model “5th dan 95th”, melainkan juga pembuatan skala yang lebih detil dengan memanfaatkan *Advanced Human Scaling*. *Advanced Human Scaling* dapat membuat manekin manusia dengan dimensi antropometri tertentu.



Gambar 2. 7 Model Manusia Jack 6.0 pada Persentil 95%, 50% dan 5%
 Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.65

3. Memposisikan manusia digital tersebut ke dalam virtual environment
 Jack memungkinkan penggunaannya untuk membuat postur dengan menggunakan model empiris tingkat atas, kinematika, atau manipulasi persendian secara langsung.
4. Memberikan tugas pada manusia digital
 Animasi yang disediakan oleh Jack sangat memungkinkan pembuatan mekanisme gerakan sehingga manusia digital dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Animasi Jack juga dapat diputar ulang sehingga peninjauan dan analisa terhadap gerakan menjadi lebih mudah. Hasil animasi juga dapat diekspor dalam bentuk video.
5. Menganalisa bagaimana manusia digital tersebut bekerja

Jack memiliki sekumpulan *tools* yang dapat digunakan untuk membantu dalam mengevaluasi performa dari manusia digital. Salah satu *tool* yang terdapat dalam Jack adalah *Jack Task Analysis Toolkit (TAT)*.

Jack Task Analysis Toolkit (TAT) adalah sebuah alat analisa *human factor* yang akan membantu penggunaannya dalam mendesain area kerja yang lebih baik dan juga memperbaiki eksekusi dari sebuah operasi pekerjaan. Alat ini akan sangat berguna terutama ketika seorang desainer sedang mengembangkan model desain tempat kerja dan operasi pekerjaan karena aspek manusia dapat diperhitungkan dalam proses desain sehingga dapat lebih dipastikan tingkat keamanan pekerja dan menghasilkan produktivitas maksimum. Dengan menggunakan TAT ini, seseorang dapat secara interaktif melakukan evaluasi ergonomi dari suatu desain. TAT akan membantu mengurangi risiko kecelakaan kerja terutama yang berkaitan dengan timbulnya penyakit pada tubuh bagian atas.²⁹

TAT ini menyediakan 9 alat analisa yang memiliki keunggulan dan fungsi masing-masing:

- *low-back spinal force analysis tool*, untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu
- *static strength prediction tool*, untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan antropometri
- *NIOSH lifting analysis tool*, untuk mengevaluasi, berdasarkan standard NIOSH, pekerjaan-pekerjaan yang membuat seseorang harus mengangkat sesuatu
- *predetermined time analysis tool*, untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*
- *Rapid Upper Limb Assessment (RULA) tool*, untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan pada tubuh bagian atas
- *manual handling limits tool*, untuk mengevaluasi dan mendesain pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan,

²⁹ Siemens PLM Software. *Task Analysis Toolkit for Jack*, 2008, <www.siemens.com/plm>.

mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang

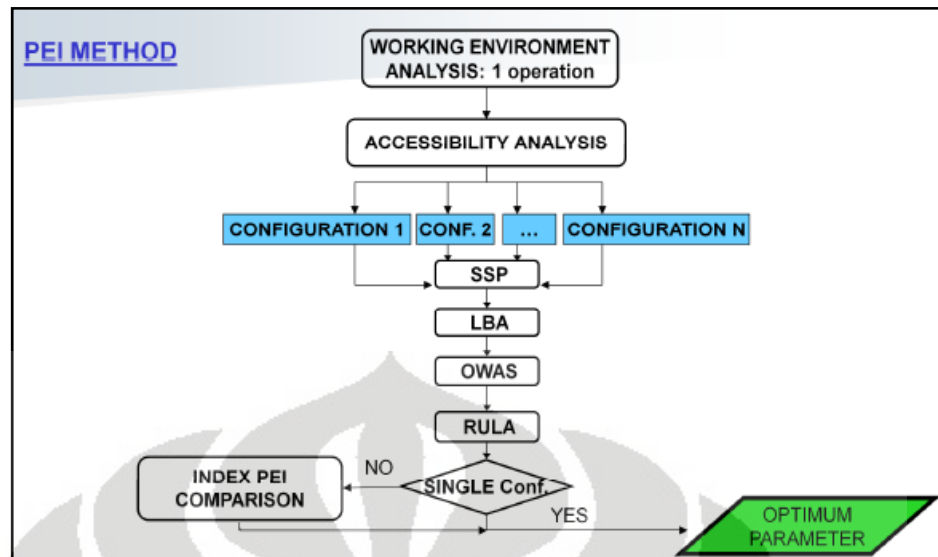
- *working posture analysis (OWAS) tool*, menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan suatu operasi kerja
- *metabolic energy expenditure tool*, memprediksi kebutuhan energy yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan
- *fatigue and recovery time analysis tool*, memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja

2.9 METODE POSTURE EVALUATION INDEX (PEI)

Suatu operasi pekerjaan dapat diuraikan menjadi sejumlah sub-operasi yang lebih sederhana dan setiap sub-operasi yang lebih sederhana tersebut dapat dikerjakan dengan postur kerja tertentu. Dengan adanya *software* pemodelan manusia maka akan sangat memungkinkan untuk menguraikan suatu operasi menjadi sub-operasi sehingga didapatkan rangkaian postur dan gerakan tulang sendi dari sebuah manusia digital. Sebuah operasi tidak bisa diidentifikasi melalui satu postur tunggal atau satu gerakan tulang sendi tunggal, melainkan harus dilihat sebagai rangkaian gerakan yang konsisten dan harmonis yang diasumsikan oleh operator. Dalam rangkaian gerakan operasi tersebut maka akan didapatkan satu *critical posture* yang berbahaya karena berpotensi menimbulkan WMSD.

Critical posture dari setiap rangkaian gerakan akan sangat menentukan tingkat kenyamanan seseorang ketika bekerja. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana cara menentukan *critical posture* yang tepat sehingga tingkat kenyamanan pekerja dapat ditingkatkan. Untuk mengatasi hal ini maka diajukan sebuah *tool* yang disebut dengan *Posture Evaluation Index (PEI)*. PEI adalah sebuah *tool* untuk menilai kualitas dari suatu postur tunggal dengan mengandalkan TAT yang dimiliki oleh *software* Jack 6.0³⁰.

³⁰Giuseppe Di Gironimo, G Monacellia and S.Patalano, *A Design Methodology For Maintainability of Utomotive Components in Virtual Environment*, International Design Conference-Design 2004, Dubrovnik, 2004.



Gambar 2. 8 Alur PEI

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

PEI terdiri dari 7 fase, yaitu:

1. Analisis lingkungan Kerja

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

2. Analisis jangkauan dan aksesibilitas

Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu memerlukan studi pendahuluan untuk mengevaluasi aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah

semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Misalkan, pada saat operator melakukan kegiatan mengangkat, terdapat kemungkinan rak tempat meletakkan benda terlalu tinggi sehingga tidak dapat dijangkau oleh operator, akibatnya operator tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang tidak memuaskan pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Dari analisa lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas, konfigurasi yang akan dianalisa pada fase berikutnya dapat ditentukan. Jika jumlah konfigurasi yang dilaksanakan terlalu banyak, maka prosedur *Design of Experiment* (DOE) dapat diterapkan.

3. *Static Strength Prediction (SSP)*

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

4. *Low Back Analysis (LBA)*

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

5. *Ovako Working Posture (OWAS)*

Pada tahap ini maka akan dievaluasi tingkat kenyamanan pekerja ketika melakukan suatu pekerjaan. Analisa yang dikeluarkan oleh OWAS juga memberikan rekomendasi perlunya perbaikan postur kerja atau tidak. Indeks tingkat kenyamanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan yang ada pada OWAS yaitu 4.

6. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Pada Tahap ini akan dievaluasi kualitas postur tubuh bagian atas serta diidentifikasi risiko kerusakan atau gangguan pada tubuh bagian atas. Indeks

RULA yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimum RULA yaitu 7.

7. Perhitungan skor PEI

PEI mengintegrasikan hasil dari LBA, OWAS, dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. PEI menjumlahkan tiga variabel dimensional I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 didapatkan dengan menormalisasi skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia. Nilai batas aman yang digunakan dalam metode ini merujuk pada nilai yang dikeluarkan oleh NIOSH yaitu sebesar 3400 N. Variabel I_2 dan I_3 adalah sama dengan indeks OWAS dinormalisasi dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4 dan indeks RULA dinormalisasi dengan angka 7 (batas maksimum tingkat ketidaknyamanan bagian tubuh atas manusia). Namun khusus untuk I_3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* “ m_r ”.

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

$$I_1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I_2 = \frac{OWAS}{4} \quad I_3 = \frac{RULA}{7}$$

$$PEI = (\text{Skor LBA}/3400) + (\text{Skor OWAS}/4) + (\text{Skor RULA}/7 \times 1,42) \quad (2.1)$$

Definisi PEI dan penggunaan LBA, OWAS dan RULA adalah berdasarkan konsep faktor risiko dari operasi kerja. Suatu operasi kerja memiliki lima faktor risiko, yaitu: repetisi (*repetition*), frekuensi (*frequency*), postur (*posture*), usaha (*effort*), dan waktu pemulihan (*recovery time*). Berdasarkan konsep tersebut maka hal-hal yang perlu diperhatikan ketika menganalisa suatu postur adalah evaluasi kekuatan kompresi terhadap L4 dan L5 *lumbar disks* (penentuan I_1), evaluasi tingkat ketidaknyamanan postur kerja (penentuan I_2), dan evaluasi tingkat kelelahan dari tubuh bagian atas. Jika dilihat dari pertimbangan yang digunakan maka tubuh bagian atas menjadi perhatian utama, hal ini disebabkan karena tubuh bagian atas mengeluarkan usaha terbesar ketika seseorang melakukan suatu gerakan. Karena mengeluarkan usaha terbesar maka tubuh bagian atas juga sangat rentan mengalami luka dan juga lebih mudah terkena penyakit musculoskeletal. Alasan ini pula yang membuat adanya faktor amplifikasi “ m_r ” sebesar 1.42 dalam rumus PEI (Colombini et al 2000). Postur optimal yang didapatkan adalah postur dengan nilai PEI paling rendah. Sebaliknya, semakin besar nilai I_1 , I_2 , dan I_3 maka

akan semakin besar pula nilai PEI yang menunjukkan semakin tidak nyamannya postur kerja yang dilakukan.

2.9.1 *Static Strength Prediction (SSP)*

SSP adalah sebuah *tool* yang digunakan untuk mengevaluasi persentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Evaluasi yang dilakukan SSP dilakukan dengan mempertimbangkan postur, tenaga yang dibutuhkan dan antropometri. Prinsip dasar SSP adalah³¹:

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

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

$$M_j = S_j \tag{2.2}$$

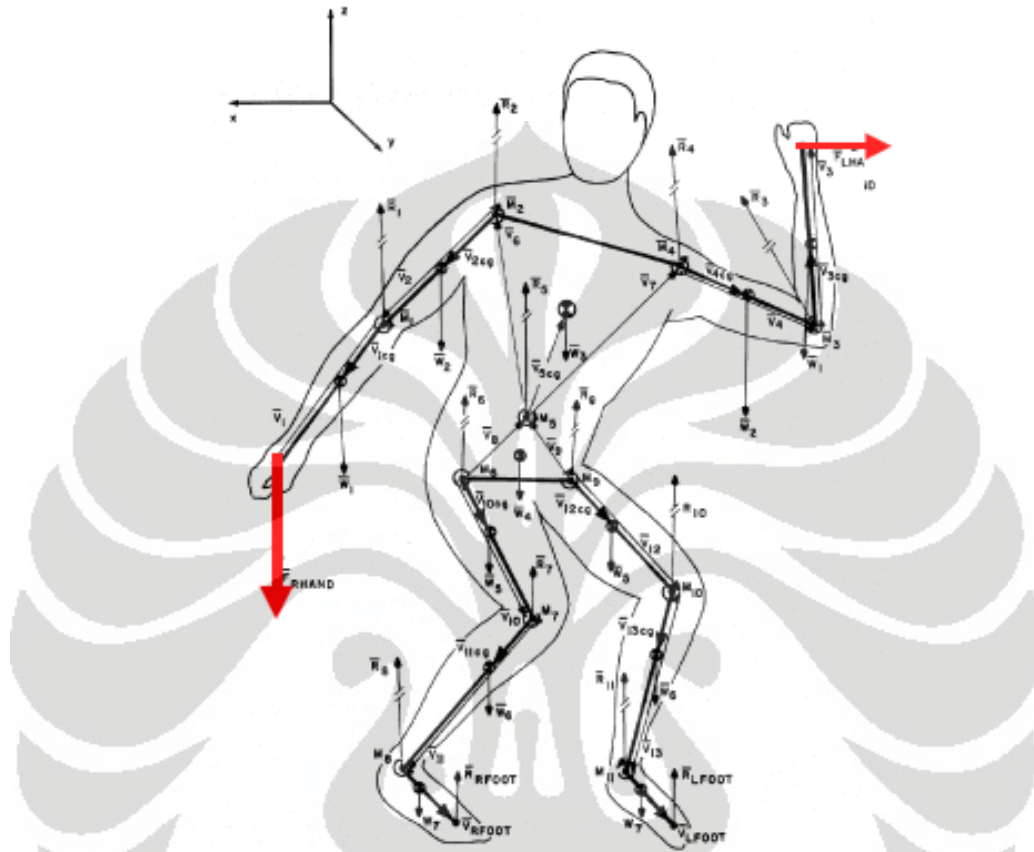
dimana M_j adalah gaya eksternal di setiap persendian dan S_j adalah gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Nilai dari M_j dipengaruhi oleh tiga faktor:

- 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-data tersebut dioleh dengan mekanika Newton. Gaya yang didapatkan tubuh dari luar akan dikalikan dengan jarak antara titik tempat tubuh menerima gaya luar tersebut

³¹ Don B. Chaffin, G Lawton, and Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, University of Michigan, 2003.

dengan persendian. Yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Gambar 2.6 adalah model biomekanika manusia yang digunakan untuk menghitung gaya pada sendi ketika melakukan suatu aktivitas.



Gambar 2.9 Model Biomekanika untuk Memprediksi Beban dan Gaya Pada Persendian

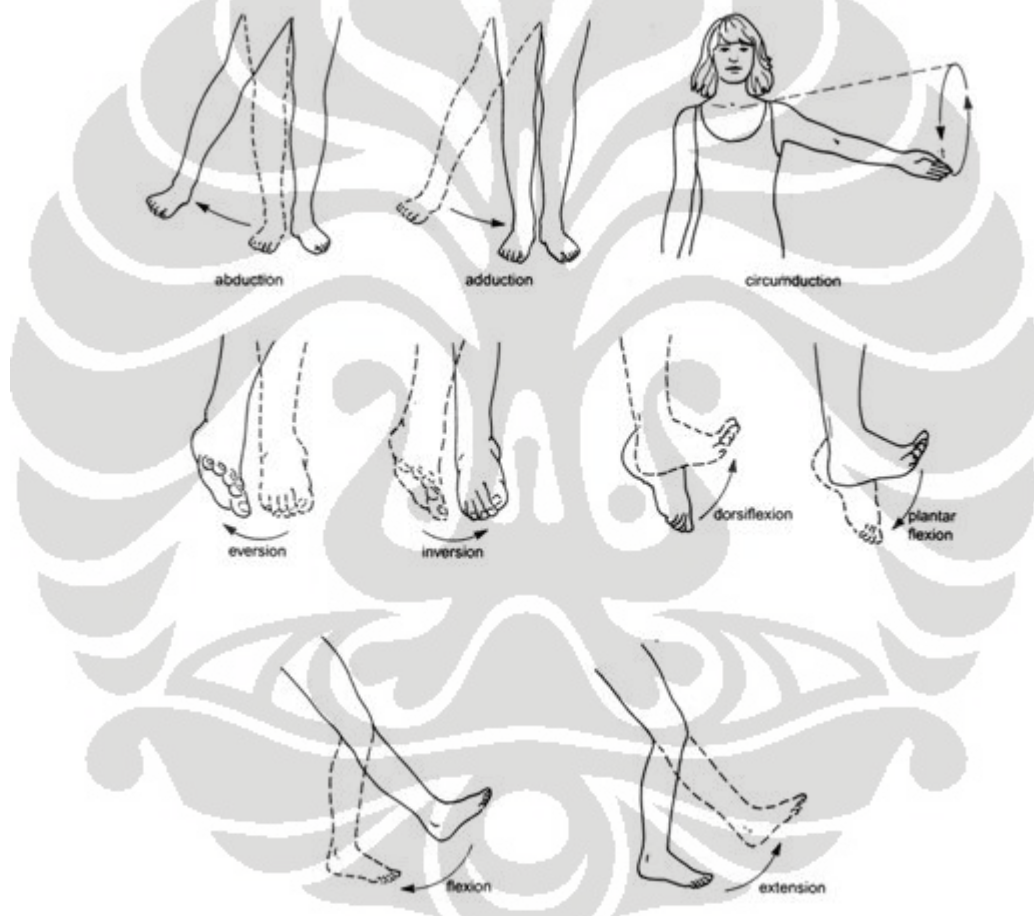
Sumber: Don B. Chaffin, G Lawton, dan Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, 2003

Beberapa fungsi SSP:

- membantu menganalisa pekerjaan yang berhubungan dengan penanganan material seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, dan menarik yang membutuhkan penggunaan tenaga tangan yang rumit, gerakan memutar bagian tubuh dan penekukan bagian tubuh tertentu
- memprediksi persentase pria dan wanita yang memiliki kekuatan statis dalam melaksanakan pekerjaan tertentu
- mengevaluasi pekerjaan secara real-time sehingga dapat diketahui pekerjaan-pekerjaan yang melebihi standard NIOSH atau batas kemampuan pekerja

Hasil dari SSP yang dikeluarkan *software* Jack dapat berupa:

- persentase pekerja yang memiliki kekuatan statis untuk melakukan pekerjaan tertentu yang disimulasikan.
- sudut lengan yang tepat dengan mempertimbangkan siku, bahu, rotasi tulang humerus, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki; serta memprediksi sudut tubuh dengan mempertimbangkan lekukan fleksi, rotasi, dan lateral
- torsi lengan dan tubuh, disertai dengan efek otot (fleksi, ekstensi, abduksi atau aduksi), nilai rata-rata (*mean*) kekuatan dari suatu populasi, dan standard deviasi kekuatan

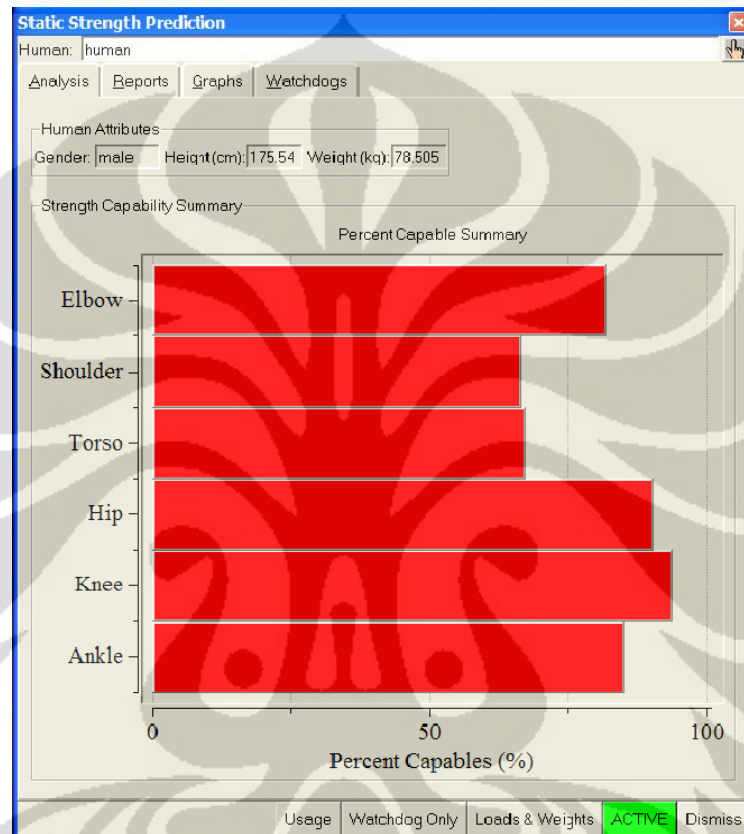


Gambar 2. 10 Jenis-jenis Pergerakan Tubuh

SSP dapat digunakan untuk membantu mencari solusi terhadap permasalahan-permasalahan sebagai berikut:

- menganalisa apakah semua pekerja akan memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan tertentu

- mengidentifikasi rangkaian pekerjaan yang membutuhkan kekuatan yang melebihi kemampuan populasi pekerja.
- menjalankan skenario “what-if” untuk pekerjaan manual dengan memodifikasi variasi parameter yang mempengaruhi kemampuan kekuatan—postur dan beban yang dapat ditanggung tangan pekerja
- mendemonstrasikan postur yang sebaiknya dilakukan untuk sebuah pekerjaan



Gambar 2. 11 Kotak Dialog SSP pada *Software Jack*
 Sumber: *Jack Training Manual*, 2008, hal.12

2.9.2 Low Back Analysis (LBA)

LBA adalah sebuah tool untuk mengevaluasi kekuatan tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu. Dalam Jack, maka postur dan kondisi yang dimaksud adalah postur dan kondisi yang diciptakan melalui manipulasi persendian (*joint*). LBA pada Jack TAT mengevaluasi, secara real-time, aktivitas yang berhubungan dengan operasi suatu pekerjaan pada suatu manusia digital.

Nilai dari *low back analysis* (LBA) ini didapatkan berdasarkan perbandingan dengan tugas mengangkat/*lifting* yang diberikan oleh standar

NIOSH. Secara matematis, standar *lifting* NIOSH ini dapat dirumuskan sebagai berikut (*Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*, hal.1):

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

dimana RWL adalah *recommended weight limit* (batas beban yang direkomendasikan), LC adalah beban konstan, dan faktor lainnya dalam rumus tersebut adalah:

- HM, faktor "*Horizontal Multiplier*",
- VM, faktor "*Vertical Multiplier*",
- DM, faktor "*Distance Multiplier*" atau faktor pengali jarak,
- FM, faktor "*Frequency Multiplier*" atau faktor pengali frekuensi,
- AM, faktor "*Asymmetric Multiplier*", dan
- CM, faktor "*Coupling Multiplier*".

Nilai untuk HM ditunjukkan pada tabel 2.4. :

Tabel 2. 4. *Horizontal Multiplier*

| H | HM | H | HM |
|------|------|------|------|
| in | | cm | |
| ≤ 10 | 1.00 | ≤ 25 | 1.00 |
| 11 | .91 | 28 | .89 |
| 12 | .83 | 30 | .83 |
| 13 | .77 | 32 | .78 |
| 14 | .71 | 34 | .74 |
| 15 | .67 | 36 | .69 |
| 16 | .63 | 38 | .66 |
| 17 | .59 | 40 | .63 |
| 18 | .56 | 42 | .60 |
| 19 | .53 | 44 | .57 |
| 20 | .50 | 46 | .54 |
| 21 | .48 | 48 | .52 |
| 22 | .46 | 50 | .50 |
| 23 | .44 | 52 | .48 |
| 24 | .42 | 54 | .46 |
| 25 | .40 | 56 | .45 |
| > 25 | .00 | 58 | .43 |
| | | 60 | .42 |
| | | 63 | .40 |
| | | > 63 | .00 |

Sumber: *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, NIOSH Publication Number 94-110, 1998

Nilai untuk AM ditunjukkan pada tabel 2.5. :

Tabel 2. 5. Assymetric Multiplier

| A | AM |
|------|------|
| deg | |
| 0 | 1.00 |
| 15 | .95 |
| 30 | .90 |
| 45 | .86 |
| 60 | .81 |
| 75 | .76 |
| 90 | .71 |
| 105 | .66 |
| 120 | .62 |
| 135 | .57 |
| >135 | .00 |

Sumber: *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, NIOSH Publication Number 94-110, 1998

Nilai untuk VM ditunjukkan pada tabel 2.6. :

Tabel 2. 6. Vertical Multiplier

| V | VM | V | VM |
|-----|------|------|-----|
| in | | cm | |
| 0 | .78 | 0 | .78 |
| 5 | .81 | 10 | .81 |
| 10 | .85 | 20 | .84 |
| 15 | .89 | 30 | .87 |
| 20 | .93 | 40 | .90 |
| 25 | .96 | 50 | .93 |
| 30 | 1.00 | 60 | .96 |
| 35 | .96 | 70 | .99 |
| 40 | .93 | 80 | .99 |
| 45 | .89 | 90 | .96 |
| 50 | .85 | 100 | .93 |
| 55 | .81 | 110 | .90 |
| 60 | .78 | 120 | .87 |
| 65 | .74 | 130 | .84 |
| 70 | .70 | 140 | .81 |
| >70 | .00 | 150 | .78 |
| | | 160 | .75 |
| | | 170 | .72 |
| | | 175 | .70 |
| | | >175 | .00 |

Sumber: *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, NIOSH Publication Number 94-110, 1998

Nilai untuk FM ditunjukkan pada tabel 2.7. :

Tabel 2.7. Frequency Multiplier

| Frequency Lifts/min (F) ‡ | Work Duration | | | | | |
|---------------------------|---------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | ≤ 1 Hour | | > 1 but ≤ 2 Hours | | > 2 but ≤ 8 Hours | |
| | V < 30 † | V ≥ 30 | V < 30 | V ≥ 30 | V < 30 | V ≥ 30 |
| ≤ 0.2 | 1.00 | 1.00 | .95 | .95 | .85 | .85 |
| 0.5 | .97 | .97 | .92 | .92 | .81 | .81 |
| 1 | .94 | .94 | .88 | .88 | .75 | .75 |
| 2 | .91 | .91 | .84 | .84 | .65 | .65 |
| 3 | .88 | .88 | .79 | .79 | .55 | .55 |
| 4 | .84 | .84 | .72 | .72 | .45 | .45 |
| 5 | .80 | .80 | .60 | .60 | .35 | .35 |
| 6 | .75 | .75 | .50 | .50 | .27 | .27 |
| 7 | .70 | .70 | .42 | .42 | .22 | .22 |
| 8 | .60 | .60 | .35 | .35 | .18 | .18 |
| 9 | .52 | .52 | .30 | .30 | .00 | .15 |
| 10 | .45 | .45 | .26 | .26 | .00 | .13 |
| 11 | .41 | .41 | .00 | .23 | .00 | .00 |
| 12 | .37 | .37 | .00 | .21 | .00 | .00 |
| 13 | .00 | .34 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 14 | .00 | .31 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 15 | .00 | .28 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| > 15 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |

† Values of V are in inches. ‡ For lifting less frequently than once per 5 minutes, set F = 2 lifts/minute.

Sumber: *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, NIOSH Publication Number 94-110, 1998

Nilai untuk DM ditunjukkan pada tabel 2.8. :

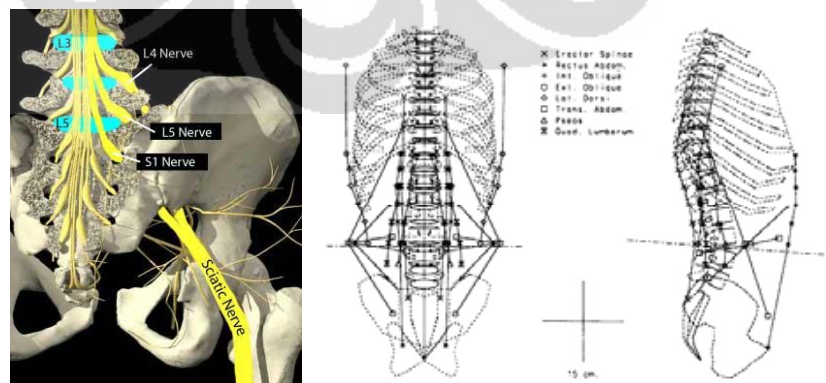
Tabel 2. 8. Distance Multiplier

| D | DM | D | DM |
|-----|------|------|------|
| in | | cm | |
| ≤10 | 1.00 | ≤25 | 1.00 |
| 15 | .94 | 40 | .93 |
| 20 | .91 | 55 | .90 |
| 25 | .89 | 70 | .88 |
| 30 | .88 | 85 | .87 |
| 35 | .87 | 100 | .87 |
| 40 | .87 | 115 | .86 |
| 45 | .86 | 130 | .86 |
| 50 | .86 | 145 | .85 |
| 55 | .85 | 160 | .85 |
| 60 | .85 | 175 | .85 |
| 70 | .85 | >175 | .00 |
| >70 | .00 | | |

Sumber: *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, NIOSH Publication Number 94-110, 1998

Hasil LBA yang dikeluarkan *software* Jack memberikan informasi berupa:

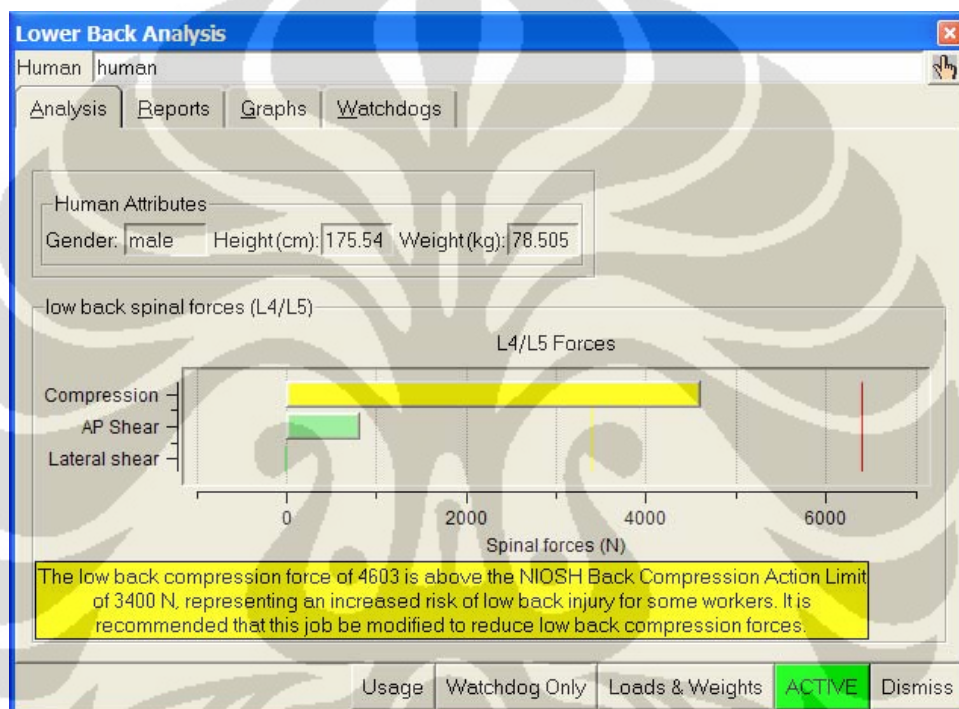
- kompresi dan pergeseran pada L4 dan L5 bagian lumbal tulang belakang dan bagaimana perbandingannya dengan standard yang direkomendasikan oleh NIOSH
- momen-reaksi (torsi) yang terjadi pada bidang axial, sagittal, dan lateral L4 dan L5 bagian lumbal tulang belakang sebagai hasil representasi efek yang diterima oleh tubuh bagian atas terhadap berat yang ditopangnya
- aktivitas yang terjadi pada otot tubuh ketika mencoba untuk menyeimbangkan momen pada tulang belakang.



Gambar 2. 12 L4 dan L5 Bagian Lumbal Tulang Belakang

Hasil yang dikeluarkan oleh LBA dapat dimanfaatkan untuk hal-hal sebagai berikut:

- menentukan apakah tempat kerja yang telah ada atau akan sudah sesuai dengan standard NIOSH atau sebaliknya meningkatkan risiko kecelakaan dan penyakit pada tulang belakang
- mengevaluasi pekerjaan secara real-time sehingga dapat ditelusuri waktu ketika tekanan yang terjadi pada tulang belakang melebihi standard yang direkomendasikan oleh NIOSH



Gambar 2. 13 Kotak Dialog LBA pada *Software Jack*
 Sumber: *Jack Training Manual*, 2008, hal.4

Permasalah-permasalahan yang dapat diatasi dengan menggunakan hasil dari LBA adalah:

- pembuatan desain *layout* tempat kerja dan pekerjaan yang bersifat manual (*manual-task*) yang meminimalisasi risiko terjadinya gangguan pada tulang belakang
- mengevaluasi pekerjaan yang ada untuk menentukan risiko gangguan pada tulang belakang yang disesuaikan dengan standard NIOSH
- membuat prioritas pekerjaan yang paling membutuhkan modifikasi ergonomi

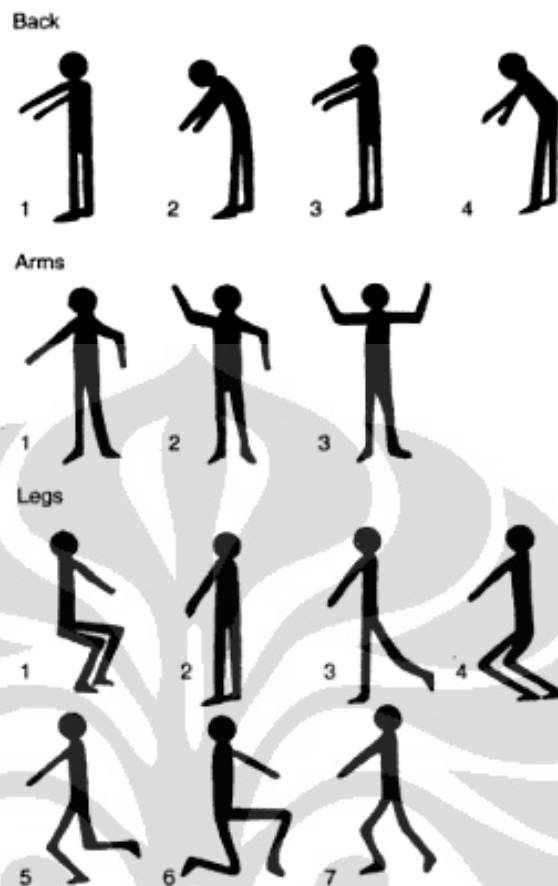
- menjalankan skenario untuk memodifikasi pekerjaan dengan berbagai parameter yang berpengaruh pada postur tulang belakang

2.9.3 *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*

Menurut Karhu (1977), *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengatur postur tubuh pekerja yang tidak baik dalam industri (Kumar, 2006). Prinsip dari OWAS adalah menganalisis dan mengelompokkan postur tubuh saat bekerja (*working posture*). McAtamney dan Hignett (1997) menyatakan bahwa OWAS menunjukkan validitas yang konvergen apabila dibandingkan dengan metode analisis postur tubuh saat bekerja (*working posture*) lainnya seperti *Rapid Entire Body Assessment (REBA)* (Kumar, 2006). Dalam analisa postur OWAS, sejumlah observasi dari berbagai kode postur akan dihitung kemudian digambarkan distribusi relatifnya. Hasil OWAS menunjukkan persentase distribusi berdasarkan criteria observasi yang dikelompokkan ke dalam 4 faktor postur: tulang belakang (*back*), tangan (*arm*), kaki (*leg*), dan beban (*load/effort*).

Aktivitas yang akan dinilai harus diobservasi selama 30 detik. Pengumpulan data dan analisis yang dilakukan memungkinkan kita untuk melakukan perancangan ulang terhadap prosedur kerja yang bertujuan untuk mengurangi atau mengeliminasi postur yang kemungkinan besar berbahaya. Dalam OWAS, hasil analisa dari aktivitas-aktivitas yang dilakukan akan dikelompokkan ke dalam empat kelas utama, yaitu tidak berbahaya (*no harmful effect*), sedikit berbahaya (*a limited harmful effect*), berbahaya (*recognized harmful effect on wealth*), dan sangat berbahaya (*highly harmful effect on wealth*) (Di Gironimo, Monacellia, & Patalano, 2004). Pengelompokan ini adalah berdasarkan estimasi para ahli dengan mempertimbangkan risiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem muskuloskeletal³².

³²Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal.3299.

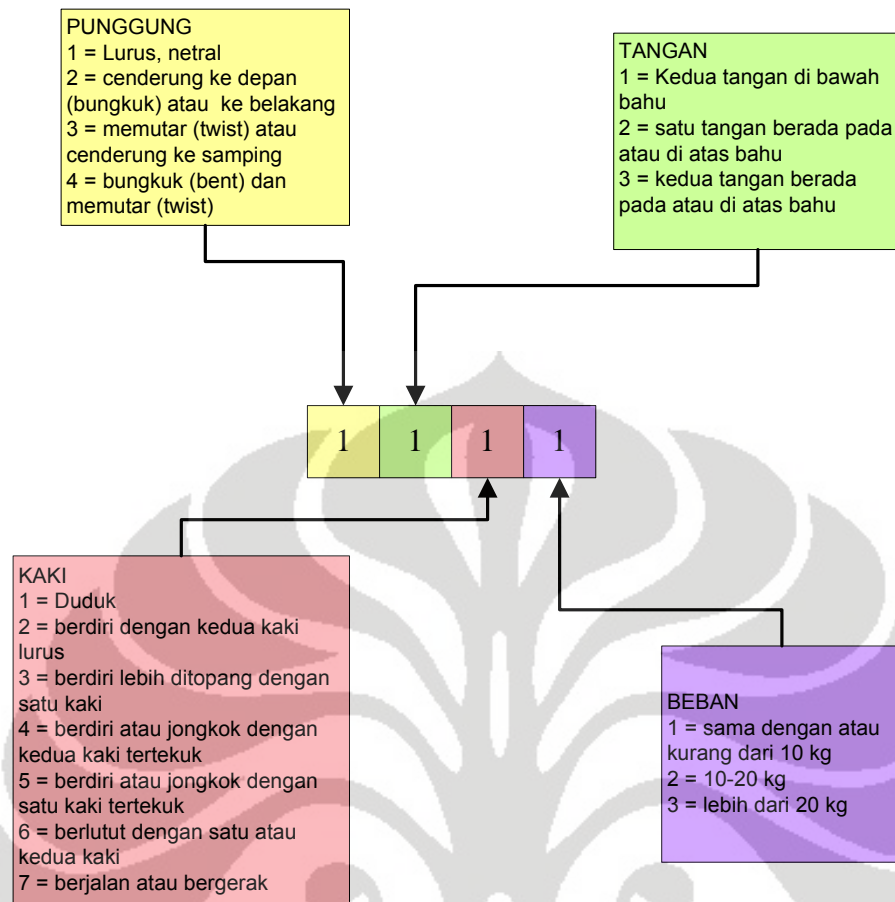


Gambar 2. 14 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

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

Dalam *software* Jack 6.0, OWAS digunakan untuk memeriksa apakah postur yang digunakan dalam bekerja sudah memberikan kenyamanan bagi manusianya. Dengan menggunakan OWAS, pengguna dapat:

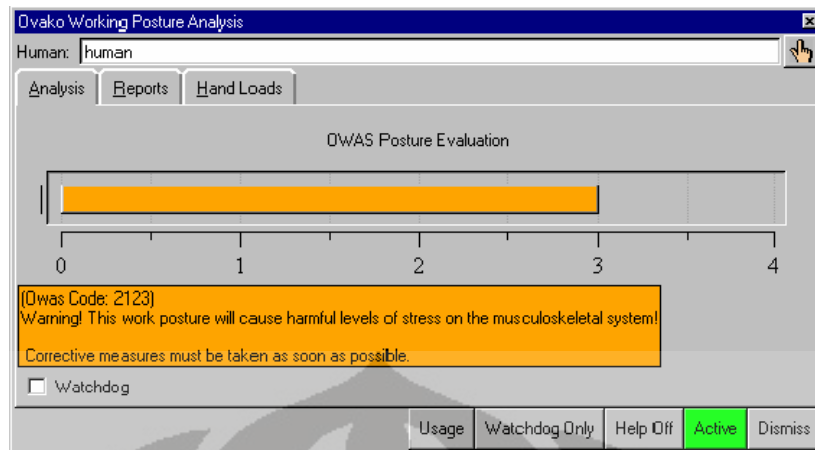
- melakukan evaluasi terhadap ketidaknyamanan relatif dari sebuah postur berdasarkan posisi punggung, lengan, dan kaki sesuai dengan kebutuhan
- memberikan skor kepada postur yang dinilai yang menunjukkan urgensi dari pengukuran korektif untuk mengurangi risiko cedera pada pekerja



Gambar 2. 15 Detail Skor Penilaian OWAS

Hasil OWAS keseluruhan yang dikeluarkan oleh Jack adalah berupa skor tunggal yang disertai dengan rekomendasi perlu tidaknya perbaikan terhadap postur tersebut. Skor tunggal yang ditampilkan Jack adalah berdasarkan 4 kelas utama aktivitas seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu:

- level 1: postur normal; tidak perlu tindakan perbaikan
- level 2: postur kemungkinan memiliki efek berbahaya; tidak perlu tindakan perbaikan dalam waktu dekat tapi mungkin dibutuhkan di masa yang akan datang
- level 3: postur memiliki efek berbahaya; tindakan perbaikan harus diambil dalam waktu dekat
- level 4: postur memiliki efek sangat berbahaya; tindakan perbaikan harus diambil secepatnya



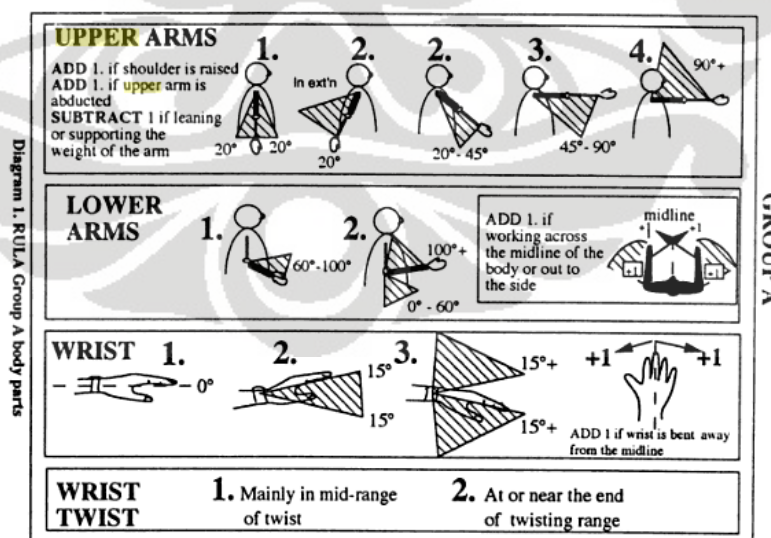
Gambar 2.16 Kotak Dialog OWAS pada *Software Jack 6.0*

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.37

2.9.4 Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)

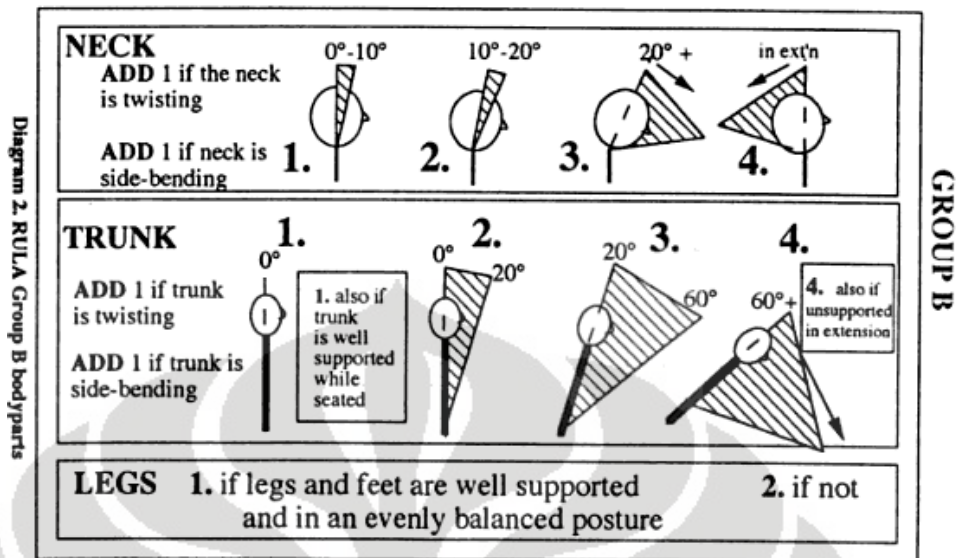
RULA merupakan metode untuk mengevaluasi tekanan beban kerja terhadap risiko cedera pada tubuh bagian atas (*upper limb*) pekerja. Metode RULA terdiri dari dua hal yaitu:

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



Gambar 2. 17 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh A

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



Gambar 2. 18 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh B

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

Pendekatan yang dilakukan pada teknik evaluasi ini biasanya menggunakan pembobotan, dimana semakin tinggi bobot yang diberikan menjelaskan resiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan³³. RULA memberikan output atau hasil evaluasi berupa bobot nilai. Bobot nilai ini mampu mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi resiko cedera. Berikut bobot nilai hasil evaluasi dalam RULA.

Tabel 2. 9. Bobot Nilai dalam RULA

| Score | Keterangan |
|--------|---|
| 1 or 2 | Acceptable posture |
| 3 or 4 | Further investigation, change may be need |
| 5 or 6 | Further investigation, change soon |
| 7 | Investigate and implement change |

Sumber: McAtamney and Corlett, 1993

Pada Rula terdapat lima faktor yang mempengaruhi penilaian³⁴:

1. Pengulangan (frekuensi)

³³ R. Lueder, *A Proposed RULA for Computer Users in Occupational and Environmental Health*, UC Berkeley Center, San Fransisco, 1996.

³⁴ E. Occhipinti and D. Colombini, *Assessment of Exposure to Repetitive Upper Limb Movement: an IEA Consensus Document*, *TU TB Newsletter*, 1999, hal.11-12.

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

2. Gaya

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

3. Postur dan tipe pergerakan

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

4. *Recovery period*

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

5. Faktor resiko tambahan

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

Metode RULA dapat digunakan untuk tiga hal yaitu: mengidentifikasi secara cepat potensi beban kerja yang memungkinkan cedera pada tubuh bagian atas, sebagai panduan desain untuk manual kerja yang baru, ataupun sebagai pedoman perancangan ulang manual kerja yang telah ada, serta sebagai bahan identifikasi skala prioritas dari postur kerja yang paling membutuhkan modifikasi secara ergonomi.

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry Reports Analysis Summary

Human: human

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. 19 Kotak Dialog pada *Software Jack*
 Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.41

BAB 3

PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL

Bab ketiga ini membahas mengenai gambaran umum perusahaan tempat pengambilan data, pengumpulan data, pembuatan model serta penentuan konfigurasi model dan proses perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI) untuk penelitian analisa ergonomi divisi *cutting* pada industri garmen. Pengumpulan data berisi tentang data apa saja yang diperlukan, dan bagaimana data tersebut diambil. Bagian pembuatan model aktual memberikan deskripsi cara pengolahan data yang didapat sampai dihasilkan suatu model dalam *virtual environment* dengan menggunakan *software* Jack. Pada bagian pembuatan model juga dijelaskan mengenai proses validasi dan verifikasi model. Dalam bagian pembuatan model aktual tidak dijelaskan seluruh model yang dibuat, namun hanya dijelaskan mengenai proses pembuatan model mesin press pada kondisi aktual sebagai representasi cara pembuatan model. Hal ini dilakukan karena semua proses pembuatan model memiliki langkah pengerjaan yang hampir sama. Pada bagian penentuan konfigurasi akan disebutkan konfigurasi apa saja yang akan dibuat untuk menentukan ketinggian meja yang ideal di setiap stasiun kerja divisi *cutting* industri garmen. Untuk membantu menentukan ketinggian meja kerja yang ideal maka akan digunakan PEI sebagai *analysis tool*, oleh karena itu proses perhitungan PEI akan dijelaskan pada bagian akhir bab ini.

3.1 TINJAUAN UMUM PT. X

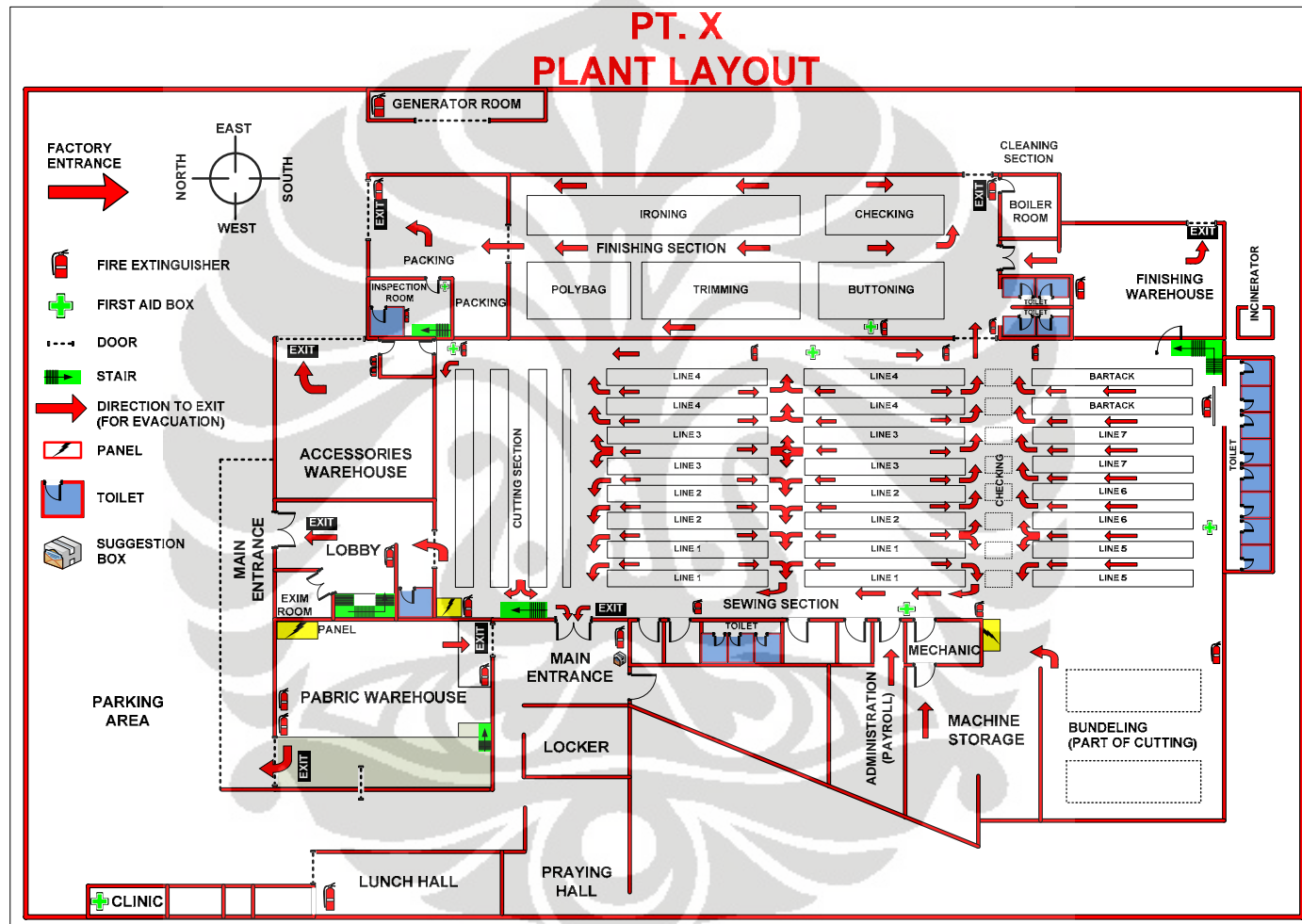
3.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan

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, dan sampai saat itu tetap memproduksi pakaian jadi untuk konsumsi lokal.

Pada tahun 1984 PT. X untuk pertama kalinya melakukan ekspor hasil produksinya ke Amerika Serikat, dan sejak saat itu PT. X 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 Jl. DR Saharjo No. 317 A Tebet, Jakarta Selatan dirasakan kurang mendukung pengembangan kapasitas produksi karena kapasitasnya yang sangat terbatas. Untuk itu manajemen memutuskan membuka pabrik baru di wilayah Bogor dengan tetap mempertahankan keberadaan pabrik di Jl. DR Saharjo. Pembukaan pabrik baru di wilayah Bogor direalisasi pada tanggal 15 September 1990. Sumber daya pendukung diperoleh dari mutasi karyawan yang semula berdinis di Tebet, dan penambahan karyawan-karyawan baru. Namun seiring dengan perkembangan yang terjadi, saat ini pabrik di Bogor dan di Jl DR Saharjo telah ditutup, dan dibuka pabrik di daerah Pondok Labu dan Sukabumi yang masih terus beroperasi hingga sekarang. Kantor pusat PT. X saat ini berada di Jl. Prof. Soepomo, SH No. 49A, Jakarta.



Gambar 3. 1 Plant Layout PT. X

Dewasa ini PT. X melakukan ekspor pakaian luar pria dan wanita ke berbagai negara. Ekspor mayoritas dilakukan ke Amerika Serikat. Selain itu, ekspor juga dilakukan ke Canada, Australia dan beberapa negara di Eropa sesuai dengan kuota yang dikeluarkan oleh pemerintah. Kapasitas produksi PT. X saat ini berkisar antara 60-72000 potong per bulan. Produk yang dihasilkan oleh PT. X adalah hasil garmen tekstil berupa celana panjang (jins), celana formal, baju, rok, jas hujan, dan lain-lain. Produksi PT. X dilakukan dengan menggunakan kurang lebih 650 unit mesin dan peralatan.

Tabel 3.1. Daftar Pelanggan Utama PT. X

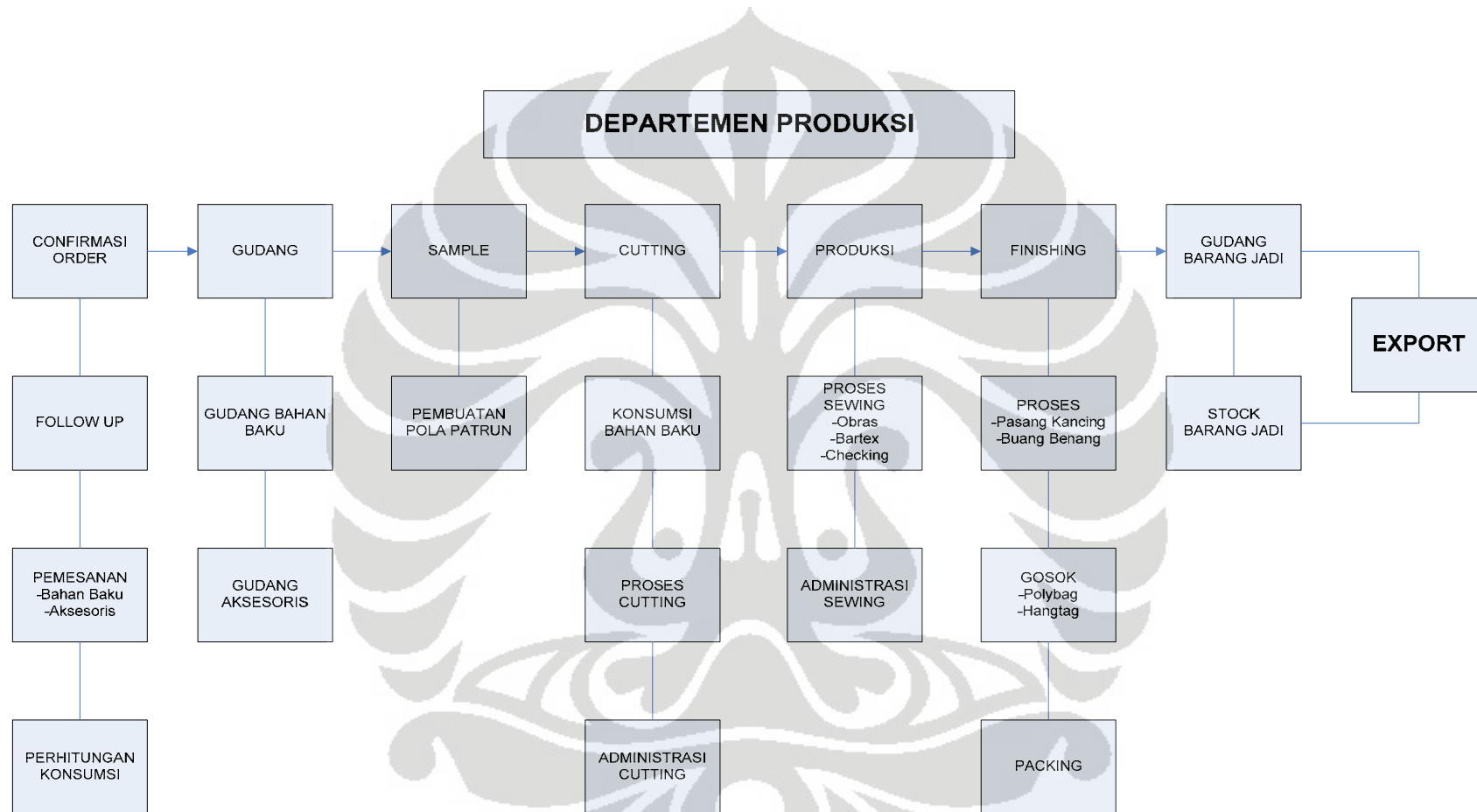
| Main Buyer | Country |
|---------------------|--------------------|
| Lerner | USA |
| Limited | USA |
| Meijer | USA |
| Swire | USA |
| Tommy Hilfiger | USA, Europe |
| Wet Seal | USA |
| Royal Robins | USA |
| Carter's | USA |
| Hollister | USA |
| Abercrombie & Fitch | USA |
| Sara Lee (Champion)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

Sumber: *Company Profile* PT. X

3.1.2 Departemen Produksi

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

- divisi *follow up* yang bertanggung jawab untuk berhubungan dengan pelanggan pada masa awal pelanggan melakukan *order*, dan bertanggung jawab atas pengadaan material pakaian beserta segala pendukungnya, seperti aksesoris (kancing, resleting, dan sebagainya), 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 yang meliputi proses pembuatan lubang kancing, pemasangan tali, pemasangan kancing, *zipper*, atau aksesoris lain, proses pencucian (*washing*) untuk pakaian tertentu saja jika diinginkan oleh pembeli, proses penggosokkan (*ironing*), proses *labelling* (pemberian label), serta proses pengemasan (*packaging* dan *packing*)
- divisi gudang yang bertanggung jawab terhadap *handle* material digudang dan melakukan pencatatan arus keluar masuk bahan-bahan dari gudang, baik bahan pakaian maupun aksesoris-aksesoris lain yang diperlukan



Gambar 3. 2 Departemen Produksi PT. X

Sumber: Departemen Produksi PT. X

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:

1. Menerima pola dari bagian sampel
2. Mengkalkulasi pembuatan *marker* untuk tiap *size* berdasarkan *worksheet* jumlah produk yang akan diproduksi sesuai nomor *style*-nya
3. Membuat *marker* yang akan digunakan untuk menghitung kebutuhan kain, menghemat penggunaan kain, dan mempermudah proses *cutting*
4. Mengkalkulasi panjang kain (bahan baku) yang akan digunakan
5. Menggelar *layer-layer* kain di atas meja pemotongan untuk dipotong dengan mesin potong otomatis. 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.
6. Meletakkan *marker* yang telah dibuat ditumpukan paling atas
7. Melakukan proses pemotongan menggunakan mesin potong
8. 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
9. Melakukan proses press kain untuk bagian-bagian seperti kerah kemeja, kantong celana, lengan kemeja

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 orang hanya mengerjakan satu jenis pekerjaan tertentu saja, dan bagian depannya akan melanjutkannya sehingga semakin ke depan seperti ban berjalan pekerjaan menjahit akan semakin lengkap.

3.1.2.3 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 ini biasanya dilakukan dengan menggunakan pihak ketiga (*outsourcing*), sesuai dengan permintaan pelanggan. Meskipun untuk keseluruhan divisi *finishing* memiliki lima stasiun kerja, hanya empat diantaranya yang rutin digunakan dalam proses produksi, yaitu stasiun kerja pencabutan benang, penyedotan debu dan benang, penyetrikaan pakaian, dan pelipatan pakaian dan pembungkusan.

3.1.3 Proses Produksi

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

3.1.3.1 Proses Cutting

Proses *cutting* adalah proses pemotongan bahan baku kain sesuai dengan pola pakaian yang dibuat. Pola pakaian ini telah dibuat sebelumnya oleh divisi *sample* dan telah diperiksa oleh pihak *buyer*. Sebelum melakukan pemotongan, divisi *cutting* terlebih dahulu membuat *marker* untuk dapat mencetak pola-pola tersebut pada *layer* bahan seoptimal mungkin sehingga menghasilkan *waste* seminimal mungkin. Pembuatan *marker* harus memperhitungkan pola dan arah serat kain, namun terkadang beberapa *buyer* sudah memberikan *marker* yang akan digunakan. *Marker* yang dibuat juga akan digunakan untuk menentukan panjangnya *layer*. Beberapa *buyer* juga sering memberikan *marker* untuk dapat lebih mendeskripsikan produk yang diinginkannya. Jika *buyer* telah memberikan *marker*, maka proses pembuatan *marker* tidak perlu ada dan langsung masuk ke proses berikutnya.

Setelah *marker* selesai dibuat, dimulailah proses *layer* yaitu dengan menumpuk beberapa *layer* kain yang digelar pada meja pemotongan, panjang dan lebar kain yang digelar harus sesuai dengan *marker* yang ada. *Marker* yang telah dibuat pada kertas roti diletakkan pada tumpukan paling atas, *marker* ini akan digunakan sebagai *template* untuk memotong *layer* kain menjadi bagian-bagian produk yang akan disambung oleh divisi *sewing*. Proses *layer* ini dilakukan oleh 2 operator yang bekerja bersamaan. Pada saat melakukan proses *layer* maka aktivitas-aktivitas yang dilakukan kedua operator ini adalah:

1. Operator meletakkan gelondongan kain pada besi penahan.



Gambar 3. 3 Peletakan Gelondongan Kain pada Besi Penahan

2. Operator menarik kain sampai batas panjang yang telah ditetapkan sehingga *layer* kain tergelar di meja pemotongan.



Gambar 3. 4 Penarikan Kain Untuk Proses *Layer* oleh Kedua Operator

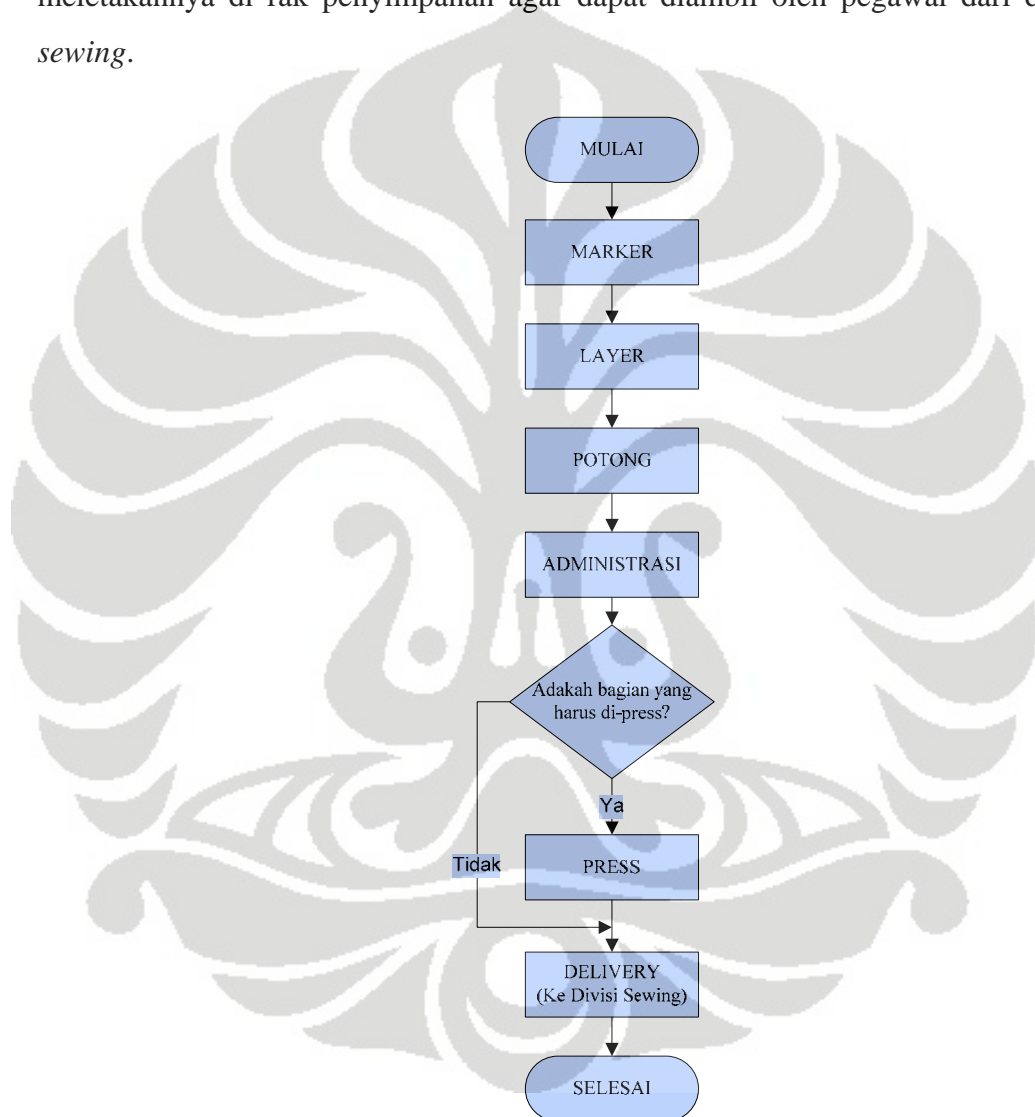
3. Operator meletakkan besi pemberat di bagian gelaran *layer* kain yang paling ujung agar kain tidak bergeser.
4. Operator merapihkan gelaran kain sehingga permukaan gelaran *layer* kain menjadi rata (tidak bergelombang).
5. Operator mengaktifkan mesin potong otomatis untuk memotong gelaran kain.

Setelah proses *layer* selesai, dilakukan proses pemotongan kain dengan menggunakan mesin potong tangan. Pada saat kain dipotong dengan mesin potong tangan, tepi kiri dan kanan *layer* ditahan dengan besi penahan, hal ini dilakukan untuk menghindari pergeseran kain. Bagian-bagian *layer* kain yang telah dipotong langsung diberikan ke bagian administrasi *cutting* untuk proses pencatatan *cutting order*. Bagian-bagian yang perlu dilakukan proses *press* diserahkan oleh bagian administrasi ke operator mesin *press*.



Gambar 3. 5 Besi Penahan Mesin Potong Tangan

Mesin press dioperasikan oleh dua orang operator. Operator pertama akan menumpuk kain dan pelapis kain satu per satu untuk kemudian dimasukkan ke dalam mesin press. Setelah masuk mesin press, pelapis kain akan menempel pada kain karena panas yang dikeluarkan oleh mesin press. Kain yang sudah saling menempel ini membuat permukaan kain menjadi lebih kaku. Operator kedua akan merapihkan hasil press kain kemudian meletakkannya sesuai grup (*bundle*) dan meletakkannya di rak penyimpanan agar dapat diambil oleh pegawai dari divisi *sewing*.



Gambar 3. 6 Flow Chart Proses Cutting

3.1.3.2 Proses Sewing

Proses *sewing* adalah proses menjahit, termasuk didalamnya proses penjahitan tiap bagian pakaian, dan proses *join* (penggabungan) bagian-bagian

tersebut hingga menjadi pakaian yang utuh. Tiap stasiun kerja dispesifikasikan untuk mengerjakan satu pekerjaan tertentu saja, seperti menjahit kantong saja, menyatukan bagian kantong belakang dan bagian badan belakang saja, dan lain sebagainya secara bertahap ke baris depan (seperti ban berjalan) makin lengkap sehingga akhirnya dihasilkan pakaian yang utuh. 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*).

3.1.3.3 Proses Finishing

Proses *finishing* merupakan tahap akhir dari proses produksi yang meliputi proses pemasangan kancing dan atau *zipper*, tali *band*, pencucian (*washing*) untuk pakaian tertentu saja jika diinginkan oleh pembeli, proses pengguntingan benang-benang, proses penggosokan (*ironing*), proses *labelling* (pemberian label), dan proses pengemasan (proses *packaging* dan *packing*).

3.1.4 Standar Kualitas

Secara umum terdapat 2 jenis karakteristik kualitas yang diperhatikan pada produk pakaian jadi, yaitu:

- Kesesuaian ukuran

Pelanggan yang memesan barang pada PT. X akan memberikan spesifikasi ukuran untuk produk yang dipesannya dan jumlah unit serta warna bahan untuk masing-masing ukuran tersebut. Selain itu, pelanggan juga akan memberikan toleransi atau kelonggaran untuk masing-masing spesifikasi ukuran tersebut. Yang dimaksud dengan karakteristik kualitas kesesuaian

ukuran adalah produk-produk pakaian jadi tersebut akan dikatakan berkualitas jika memenuhi spesifikasi ukuran yang diminta oleh pelanggannya.

Untuk itu divisi sampel membuat sampel produk jadi dengan spesifikasi yang diinginkan pelanggan sebelum produksi massal dimulai. Sampel ini kemudian akan diserahkan ke pelanggan untuk diperiksa. Jika disetujui, maka produksi massal akan dimulai. Jika menurut pelanggan sampel tersebut kurang baik atau memiliki banyak kekurangan maka sampel baru dibuat sesuai permintaan pelanggan.

Divisi sampel akan memberikan pola pakaian dengan ukuran yang telah standar dan telah disetujui oleh pihak pelanggan kepada divisi *cutting* untuk tiap-tiap ukuran. Divisi *cutting* akan menggunakan pola tersebut untuk membuat *marker* yang akan digunakan pada proses pemotongan (*cutting*).

- *Appearance* (penampilan luar)

Selain dilihat dari kesesuaian ukuran, kualitas pakaian jadi juga dilihat dari *appearance* atau penampilan luarnya. Karakteristik kualitas *appearance* mencakup:

- jahitan

Produk pakaian jadi akan dikatakan berkualitas jika karakteristik kualitas jahitannya baik.

- bentuk

Produk pakaian jadi akan dikatakan berkualitas jika karakteristik kualitas bentuknya baik. Yang dimaksud karakteristik kualitas bentuk adalah bentuk luar pakaian yang harus sesuai dengan yang diharapkan, misalnya bagian *outseam* (samping) baju yang lurus, tidak miring atau menggelembung.

- warna

Masalah pewarnaan (*shading*) adalah karakteristik kualitas yang cukup kritis. Suatu produk pakaian jadi dikatakan berkualitas baik jika warna bahannya baik, tidak belang atau terdapat perbedaan warna antar bagiannya, dan tidak terdapat warna pudar pada bagian-bagian tertentu.

Kontrol atau pengendalian kualitas pada perusahaan merupakan tanggung jawab departemen produksi karena dianggap masalah yang berkaitan dengan

proses produksi. Karena itu, pada perusahaan tidak terdapat divisi khusus yang menangani masalah pengendalian kualitas, tetapi perusahaan mempekerjakan beberapa orang sebagai petugas *quality control* (QC). Pengendalian kualitas pada perusahaan lebih diserahkan ke masing-masing divisi yang berada di bawah departemen produksi. Inspeksi dilakukan mulai dari lini produksi (*line* penjahitan) masing-masing setelah bagian badan depan dan bagian badan belakang selesai sebelum kedua bagian tersebut digabung (*join*) menjadi satu. Inspeksi selanjutnya dilakukan setelah proses jahit (*sewing*) selesai dilakukan. Pada inspeksi ini banyak ditemukan kecacatan produk yang memerlukan pengerjaan ulang (*rework/repair*). Inspeksi selanjutnya setelah itu dilakukan pada tahap *finishing* setelah proses pembuangan benang dan sebelum produk dikemas ke dalam *poly bag*.

Selain inspeksi yang dilakukan oleh pihak perusahaan, setiap pembeli yang memesan barang pada PT. X juga selalu melakukan proses inspeksi sendiri, baik pada saat produk yang dipesannya sedang berada pada masa awal produksi, maupun setelah produk tersebut selesai diproduksi. Pada tahap awal produksi, produk-produk yang sedang diproduksi diambil beberapa sebagai sampel dan diinspeksi sehingga apabila terdapat karakteristik produk yang tidak sesuai dengan harapan mereka dapat segera dilaporkan pada pihak perusahaan sebelum produksi berlanjut lebih jauh untuk dapat segera diantisipasi. Sedangkan inspeksi akhir dilakukan oleh pihak pembeli setelah produk pakaian jadi telah selesai diproduksi seluruhnya hingga tahap akhir. Produk-produk yang telah dikemas ini akan dibongkar kembali dan diperiksa beberapa unit sebagai sampel. Pada tahap inspeksi akhir ini biasanya masih selalu ditemukan cacat. Jika jumlah produk yang cacat lebih banyak dari standar *Acceptance Quality Level* (AQL) yang mereka tetapkan, mereka tidak akan menandatangani dokumen pengiriman barang. Karena itu, perusahaan selalu memproduksi jumlah unit yang lebih banyak dari jumlah pesanan untuk mengantisipasi terjadinya produk *reject* pada masa produksi walaupun sebagian besar cacat dapat di *rework*, dan untuk mengantisipasi terjadinya cacat pada tahap akhir produksi sebelum produk di *packing* dan akan diserahkan ke pihak pembeli (*buyer*).

3.1.5 Mesin dan Peralatan

Sebagai perusahaan yang bergerak dibidang garment, PT. X memiliki berbagai macam mesin dan peralatan jahit otomatis serta mesin-mesin pendukung lain. Jenis mesin yang dimiliki perusahaan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.2. Daftar Mesin

| No. | Description | Brand | Quantity |
|-----|------------------------|------------|----------|
| 1 | Mesin Jarum 1 | PFAFF | 186 |
| 2 | Mesin Jarum 1 | BROTHER | 57 |
| 3 | Mesin Jarum 1 | TYPICAL | 17 |
| 4 | Mesin Jarum 1 | MITSUBISHI | 3 |
| 5 | Mesin Jarum 1 | SISTER | 1 |
| 6 | Mesin Jarum 1 | JUKI | 5 |
| 7 | Mesin Jarum 1 | PFAFF | 1 |
| 8 | Mesin Jarum 1 Otomatis | BROTHER | 46 |
| 9 | Mesin Jarum 1 Otomatis | JUKI | 1 |
| 10 | Mesin Jarum 1 Otomatis | PFAFF | 9 |
| 11 | Mesin Jarum 2 | JUKI | 12 |
| 12 | Mesin Jarum 2 | BROTHER | 9 |
| 13 | Mesin Jarum 2 Otomatis | BROTHER | 4 |
| 14 | Mesin Potong Samping | JUKI | 7 |
| 15 | Mesin Obras Benang 5 | BROTHER | 46 |
| 16 | Mesin Obras Benang 5 | JUKI | 4 |
| 17 | Mesin Obras Benang 5 | YAMATO | 2 |
| 18 | Mesin Obras Benang 4 | PEGASUS | 2 |
| 19 | Mesin Obras Benang 3 | JUKI | 3 |
| 20 | Mesin Obras Benang 3 | BROTHER | 1 |
| 21 | Mesin Obras Neci | PEGASUS | 1 |
| 22 | Mesin Snap Button | | 7 |
| 23 | Gosokan Steam Gantung | SILVERSTAR | 22 |
| 24 | Gosokan Steam Boiler | VEITH | 16 |
| 25 | Gosokan Biasa | PHILIPS | 1 |
| 26 | Gosokan Biasa | NAOMOTO | 4 |
| 27 | Mesin Boiler Sentral | VEITH | 1 |
| 28 | Mesin Make-Up | TYPICAL | 5 |
| 29 | Mesin Make-Up | BROTHER | 3 |
| 30 | Mesin Make-Up | ZOJE | 1 |
| 31 | Mesin Bartex | JUKI | 16 |
| 32 | Mesin Bartex | BROTHER | 3 |
| 33 | Mesin Bartex | ZOJE | 1 |
| 34 | Mesin Lubang Kancing | JUKI | 3 |
| 35 | Mesin Lubang Kancing | BROTHER | 3 |
| 36 | Mesin Lubang Kancing | TYPICAL | 1 |
| 37 | Mesin Lubang Kancing | PRAFF | 1 |

Tabel 3.2. Daftar Mesin (Sambungan)

| No. | Description | Brand | Quantity |
|--------------|---------------------------------|---------------|------------|
| 38 | Mesin Lubang Kancing Reece | SINGER | 1 |
| 39 | Mesin Lubang Kancing Reece | BROTHER | 1 |
| 40 | Mesin Press | SUMMIT | 2 |
| 41 | Mesin Press | OSHIMA | 1 |
| 42 | Mesin Potong Wheelcrow | | 4 |
| 43 | Mesin Potong | | 2 |
| 44 | Mesin Balik Kerah | | 1 |
| 45 | Mesin Press Manset | | 1 |
| 46 | Mesin Overdeck/Kam | YAMATO | 1 |
| 47 | Mesin Overdeck | SIRUBA | 18 |
| 48 | Mesin Overlock | SIRUBA | 24 |
| 49 | Mesin Tandem | MITSUBISHI | 2 |
| 50 | Mesin Cuci | KELVINATOR | 1 |
| 51 | Mesin Pengering | KELVINATOR | 1 |
| 52 | Meja Lipat Kemeja | | 5 |
| 53 | Gosokan+Meja | NISSIN | 12 |
| 54 | Gosokan+Meja | VEITH | 3 |
| 55 | Gosokan+Meja | ASAHI | 4 |
| 56 | Gosokan+Meja | BEST | 2 |
| 57 | Mesin Straping | | 1 |
| 58 | Mesin Buang/Sedot Benang | SUISEI | 1 |
| 59 | Mesin Snap Button Hidrolik | NISSIN | 3 |
| 60 | Mesin Pasang Kancing | BROTHER | 3 |
| 61 | Mesin Pasang Kancing | PRAFF | 1 |
| 62 | Mesin Pasang Kancing Otomatis | BROTHER | 5 |
| 63 | Mesin Zig-Zag | BROTHER | 1 |
| 64 | Mesin Zig-Zag | PEGASUS | 1 |
| 65 | Mesin Klim Bawah | UNION SPECIAL | 4 |
| 66 | Mesin Sum Bawah | BROTHER | 3 |
| 67 | Mesin Karet Kansai | KANSAI | 3 |
| 68 | Mesin Karet Band Kansai | KANSAI | 3 |
| 69 | Mesin Karet Band Kansai Spesial | KANSAI | 2 |
| 70 | Mesin Tali | KANSAI | 3 |
| 71 | Mesin Tali | PEGASUS | 2 |
| 72 | Mesin Kantong Bobok | BROTHER | 1 |
| 73 | Mesin Potong Tangan 8' | MACK | 2 |
| 74 | Mesin Potong Tangan 8' | BLUE STREAK | 2 |
| 75 | Mesin Potong Tangan 8' | SU LEE | 1 |
| 76 | Mesin Potong Tangan 8' | END CUTTER | 3 |
| 77 | Mesin Potong Tangan 8' | KM | 1 |
| 78 | Mesin Potong Tangan 5' | KM | 2 |
| 79 | Mesin Gulung Benang | | 2 |
| 80 | Mesin Inspek Bahan | | 1 |
| TOTAL | | | 642 |

Sumber: *Company Profile PT.X*

3.1.6 Sumber Daya Manusia

PT. X kurang lebih memiliki 475 orang tenaga kerja yang sebagian besarnya bekerja pada bagian produksi sebagai buruh-buruh pabrik. Dari 475 orang tersebut 245 orang adalah pegawai tetap, baik bekerja sebagai staff administrasi, keamanan, produksi, dan lain-lain. Sebagian besar sisanya yang bekerja sebagai pekerja di lantai produksi adalah bukan pegawai tetap yang diberi upah harian atau borongan sesuai jenis pekerjaan yang dilakukannya. Mayoritas karyawan PT. X adalah perempuan dengan persentase mencapai 89,68% dari seluruh karyawan.

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

Jam kerja normal: Senin-Sabtu pukul 08.00-16.00

Jam kerja lembur: pukul 08.00-18.00

Jam istirahat : pukul 12.00-13.00

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

Tabel 3.3. Database Pegawai PT. X

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

Sumber: HR PT.X data Maret 2009

3.2 PENGUMPULAN DATA

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini terutama adalah data input *software* Jack 6.0 karena pengolahan data dilakukan oleh *software* tersebut. Namun sebelumnya, untuk memastikan bahwa penelitian ini penting dilakukan maka dibutuhkan data permasalahan tempat kerja. Data permasalahan tempat kerja dapat menjadi dasar untuk menunjukkan bahwa desain tempat kerja masih belum ergonomis.

Seperti yang telah disebutkan dalam bab sebelumnya mengenai langkah-langkah penggunaan *software* Jack, langkah pertama adalah pembuatan VE). Pada tahap ini maka dibutuhkan data mengenai lingkungan kerja industri garmen, namun dalam penelitian ini data lingkungan kerja tersebut hanya dibatasi untuk divisi *cutting*. Data yang menunjang pembuatan VE divisi *cutting* ini adalah objek yang akan berinteraksi dengan model manusia digital ketika model manusia digital tersebut melakukan aktivitas kerja. Dalam kenyataannya, para operator berinteraksi dengan mesin-mesin divisi *cutting*. Oleh karena itu, data yang akan diambil adalah data mengenai bentuk dan dimensi mesin.

Setelah VE selesai dibuat maka langkah selanjutnya adalah memasukan model manusia digital ke dalam VE. Model manusia digital ini akan bertindak sebagai operator seperti layaknya di dunia nyata. Untuk membuat model manusia digital ini maka dibutuhkan data antropometri pekerja industri garmen. *Software* Jack memungkinkan *user* untuk memasukan data antropometri sehingga ukuran manusia digital yang dimasukan dalam VE merepresentasikan ukuran manusia yang sesungguhnya. Model manusia digital yang telah dimasukan dalam VE *software* Jack akan diberikan tugas agar bekerja seperti operator sesungguhnya. Pemberian tugas pada model digital manusia pada VE ini akan difasilitasi dengan data operasi dan postur kerja yang dikerjakan operator sesungguhnya.

3.2.1 Data Permasalahan Pekerja

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini perlu digali karena dibutuhkan untuk menunjukkan pentingnya penelitian ergonomi dilakukan di PT. X. Permasalahan-permasalahan yang dapat menunjukkan adanya indikasi perlunya penerapan ergonomi di PT. X ini adalah keluhan WMSD dan kelelahan pada pekerja akibat aktivitas kerja serta data kesalahan produksi.

Keluhan WMSD dan kelelahan umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Suatu kondisi kerja yang tidak ergonomis dapat memicu terjadinya hal ini. Data keluhan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari hasil wawancara dengan para pekerja bagian produksi khususnya divisi *cutting* dan observasi di lantai produksi. Wawancara dilakukan ke 30 orang pekerja dengan tiga pertanyaan mendasar:

- 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)?

Ternyata, seluruh pekerja yang diwawancara mengatakan “Iya” untuk ketiga pertanyaan di atas. Para pekerja mengatakan bahwa mereka sering sekali mengalami pegal-pegal, nyeri otot dan kelelahan terutama di bagian punggung (tulang belakang). 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.

Data kesalahan produksi dibutuhkan karena kesalahan produksi tersebut mungkin saja terjadi akibat rancangan kerja yang kurang ergonomis. Dari hasil wawancara pihak perusahaan sendiri mengatakan bahwa yang lebih banyak menjadi masalah pada produksi perusahaan adalah banyaknya cacat *appearance* yang selalu muncul dan memerlukan pengerjaan ulang. Proporsi produk yang harus dikerjakan ulang ini cukup tinggi. Pengerjaan ulang dilakukan pada sore hari dan cukup memakan waktu.

3.2.2 Data Bentuk dan Dimensi Mesin

Mesin yang digunakan pada divisi *cutting* adalah mesin potong otomatis, mesin potong tangan, dan mesin press. Selain itu diukur juga meja dan kursi kerja ketika operator menggunakan ketiga mesin tersebut. Pengukuran dimensi mesin, meja, dan kursi dilakukan dengan menggunakan mistar dan penggaris. Data dimensi ini dibutuhkan untuk pembuatan VE yaitu dengan membuatnya terlebih

dahulu pada *software* AutoCAD kemudian di-*import* oleh *software* Jack. Untuk menunjang pembuatan mesin ini pada AutoCAD maka gambar mesin juga diambil dengan menggunakan kamera digital.

3.2.1.1 Mesin Potong Otomatis

Mesin potong otomatis digunakan pada proses *layer* untuk memotong gelaran kain. Pada saat mengoperasikan mesin ini, terdapat batang penahan yang mencegah pergeseran kain. Ketika mengambil data bentuk dan dimensi mesin potong otomatis, diambil juga data bentuk dan dimensi meja kerja untuk mesin potong otomatis.

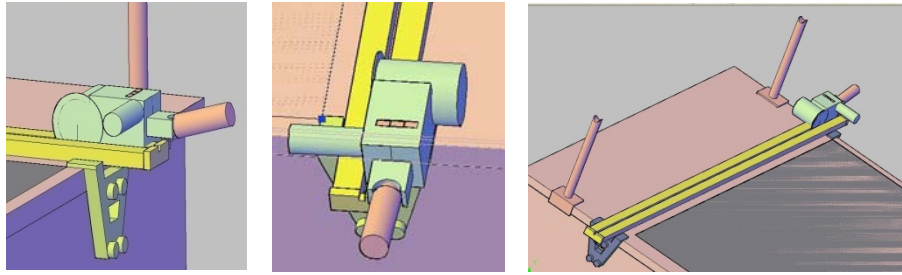


Gambar 3. 7 Foto Berbagai Sisi dari Mesin Potong Otomatis

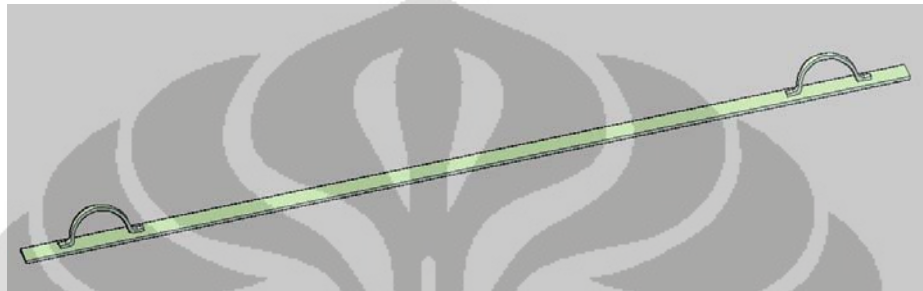


Gambar 3. 8 Mesin Potong Otomatis

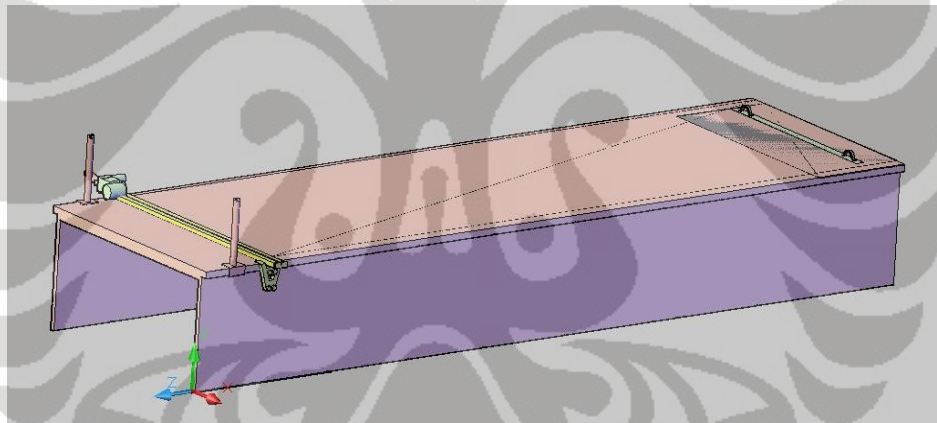
Sumber: <http://www.b2btrade.biz>



Gambar 3. 9 Mesin Potong Otomatis dalam AutoCAD



Gambar 3. 10 Besi Penahan Kain *Layer*



Gambar 3. 11 *Workstation* Mesin Potong Otomatis

3.2.1.2 Mesin Potong Tangan

Mesin potong tangan digunakan untuk memotong kain yang sudah melalui proses *layer* sesuai dengan *marker* yang telah dibuat. Pada bagian bawah mesin terdapat plat datar tempat empat roda kecil diletakkan. Keempat roda kecil ini mempermudah operator ketika menggerakkan mesin potong ini untuk mengikuti alur bentuk *marker*. Ketika mengambil data bentuk dan dimensi mesin potong tangan, diambil juga data bentuk dan dimensi meja kerja untuk mesin potong tangan. Meja kerja yang digunakan ketika operasi mesin potong tangan sama dengan meja kerja mesin potong tangan otomatis.



Gambar 3. 12 Foto Berbagai Sisi Mesin Potong Tangan



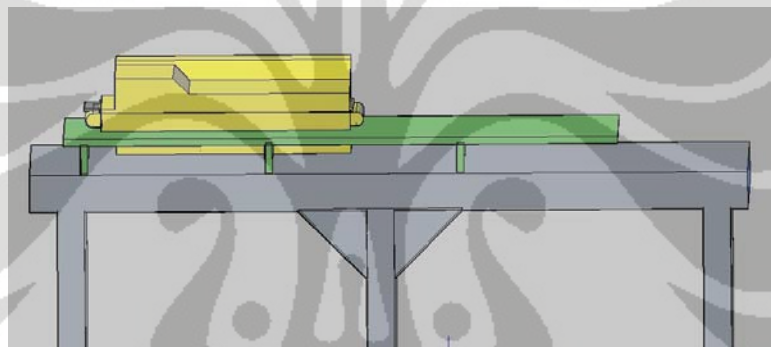
Gambar 3. 13 Mesin Potong Tangan dalam CAD

3.2.2.3 Mesin Press

Mesin press yang digunakan mengeluarkan panas untuk melakukan proses press kain. Pada mesin *press* terdapat pengatur suhu yang harus diperhatikan dengan mempertimbangkan jenis-jenis kain yang akan di-*press*. Ketika mengambil data bentuk dan dimensi mesin press, diambil juga data bentuk dan dimensi meja dan kursi kerja untuk mesin press.



Gambar 3. 14 Foto Berbagai Sisi Mesin Press



Gambar 3. 15 Mesin Press dalam CAD

3.2.3 Data Antropometri

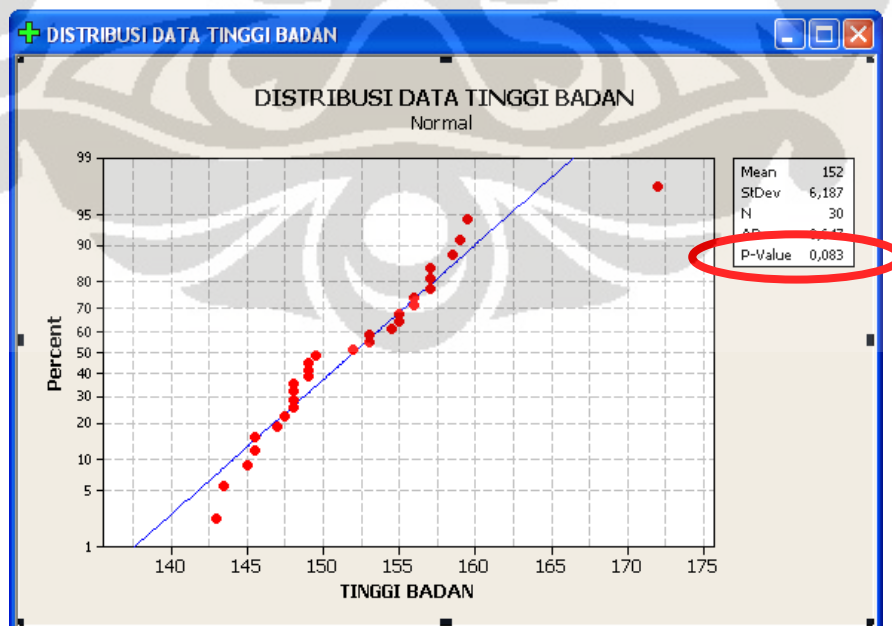
Data Antropometri yang digunakan untuk input model manusia digital dalam pembuatan simulasi adalah data yang didapatkan dari Persatuan Ergonomi Indonesia. Namun pengambilan data antropometri juga dilakukan terhadap pekerja PT. X untuk membandingkan tingkat representasi data dari Persatuan Ergonomi Indonesia terhadap data pekerja yang ada di lapangan. Perbandingan ini dilakukan agar rekomendasi yang didapatkan dari penelitian ini dapat benar-benar diimplementasikan di PT. X. Namun karena keterbatasan yang terdapat di lapangan, maka pengambilan data pegawai PT. X hanya dapat dilakukan untuk variabel tinggi badan pada 30 orang pekerja wanita saja. Untuk operator mesin

potong tangan di PT.X hanya ada satu pekerja pria maka data yang disajikan adalah data satu pekerja pria PT.X tersebut yaitu 171,1 cm.

Tabel 3.4. Data Antropometri Pekerja PT. X

| No | TINGGI (cm) | No | TINGGI (cm) |
|----|-------------|----|-------------|
| 1 | 145,5 | 16 | 145,5 |
| 2 | 159 | 17 | 154,5 |
| 3 | 148 | 18 | 157 |
| 4 | 155 | 19 | 149,5 |
| 5 | 158,5 | 20 | 143,5 |
| 6 | 155 | 21 | 153 |
| 7 | 148 | 22 | 159,5 |
| 8 | 153 | 23 | 147 |
| 9 | 172 | 24 | 148 |
| 10 | 157 | 25 | 143 |
| 11 | 149 | 26 | 157 |
| 12 | 152 | 27 | 156 |
| 13 | 156 | 28 | 149 |
| 14 | 148 | 29 | 145 |
| 15 | 147,5 | 30 | 149 |

Untuk mengetahui apakah data antropometri yang dikumpulkan adalah data antropometri yang baik, maka dilakukan uji normalitas. Jika hasil uji normalitas menghasilkan *p-value* lebih dari 5%, maka data tersebut terdistribusi secara normal. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab.



Gambar 3. 16 Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan PT. X

Berdasarkan hasil uji normalitas, *p-value* dari data tinggi badan adalah 8,3%. Dari sini, dapat dilihat bahwa data tinggi badan pekerja PT. X terdistribusi secara normal. Karena data tinggi badan pekerja PT.X terdistribusi secara normal maka data tersebut digunakan sebagai acuan data untuk perbandingan dengan data Persatuan Ergonomi Indonesia.

Data Antropometri yang digunakan untuk membuat model manusia digital mesin potong otomatis dan mesin press adalah data persentil 50% pekerja Indonesia yang didapatkan dari Persatuan Ergonomi Indonesia. Data persentil 50% dipakai untuk merancang simulasi agar mampu mengatasi kesulitan akan kompleksitas data antropometri. Penggunaan ukuran persentil 50% ini akan menjadi titik tengah yang paling ideal untuk menjembatani selisih ukuran tubuh antara postur maksimal dan minimal. Sedangkan untuk model manusia digital mesin potong tangan digunakan data persentil 95% pekerja Indonesia dari bank data Persatuan Ergonomi Indonesia. Penggunaan persentil 95% untuk pembuatan model manusia digital operasi mesin potong tangan dipilih karena jenis pekerjaan mesin potong tangan selalu dikerjakan oleh laki-laki dan data persentil 95% dari Persatuan Ergonomi Indonesia sangat mendekati ukuran pekerja sebenarnya di lapangan.

Tabel 3.5. Persentil 5%, 50% dan 95% Data Tinggi Badan Tegak (dalam cm)

| Persentil | Persatuan Ergonomi Indonesia | Pekerja PT. X |
|-----------|------------------------------|---------------|
| 5th | 144,95 | 144,175 |
| 50th | 159,5 | 150,75 |
| 95th | 172 | 159,275 |

Tabel 3.6. Data Antropometri Pekerja Indonesia

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

Sumber: Data Persatuan Ergonomi Indonesia

Keterangan untuk singkatan yang terdapat pada tabel, tersaji seperti di bawah ini:

- | | | | |
|--------|-----------------------|---------|------------------------------------|
| 1. tbt | : Tinggi Badan Tegak | 7. jtd | : Jangkauan Tangan ke Depan |
| 2. tmd | : Tinggi Mata Berdiri | 8. rt | : Rentangan Tangan |
| 3. tsb | : Tinggi Siku Berdiri | 9. lb | : Lebar Bahu |
| 4. pak | : Panjang Alas Kaki | 10. lp | : Lebar Pinggul |
| 5. lak | : Lebar Alas Kaki | 11. tld | : Tinggi Lutut Duduk |
| 6. sks | : Siku ke Siku | 12. tpo | : Tinggi Popliteal |
| | | 13. psg | : Panjang Siku ke Genggaman Tangan |

3.2.4 Data Postur dan Gerakan Pekerja

Data postur dan gerakan pekerja diambil dengan menggunakan rekaman video. Postur dan gerakan pekerja yang diambil adalah ketika pekerja berinteraksi dengan mesin potong otomatis, mesin potong tangan, dan mesin press.

- mesin potong otomatis

Operasi dengan mesin ini dilakukan oleh dua operator dalam keadaan berdiri. Beberapa gerakan yang terlibat dalam operasi ini adalah berjalan, mengangkat, dan mendorong. Kedua operator bergerak bersamaan dalam arti operator 1 tidak perlu menunggu operator 2 selesai.



Gambar 3. 17 Contoh Postur Kerja Operasi Mesin Potong Otomatis

- mesin potong tangan

Operasi dengan mesin ini dilakukan oleh satu operator dalam keadaan berdiri. Beberapa gerakan yang terlibat dalam operasi ini adalah membungkuk dan mendorong. Operasi dengan mesin ini banyak melibatkan tubuh bagian atas. Walaupun pekerjaan ini juga melibatkan tubuh bagian bawah karena pekerjaan dilakukan dalam posisi berdiri, namun postur tubuh bagian bawah dengan mesin ini lebih statis dibandingkan dengan postur tubuh bagian bawah operator mesin potong otomatis.



Gambar 3. 18 Contoh Postur Kerja Operasi Mesin Potong Tangan

- mesin press

Operasi dengan mesin ini dilakukan oleh dua operator dalam keadaan duduk. Dalam satu siklus pekerjaan, operator 2 bekerja setelah operator 1 selesai memasukkan kain ke dalam mesin press. Operator 2 bertugas untuk mengambil dan membereskan kain yang keluar dari mesin press. Gerakan yang terlibat dalam operasi ini adalah mengambil dan meletakkan. Operasi dengan mesin ini banyak melibatkan tubuh bagian atas. Postur tubuh operator 2 lebih statis dibandingkan dengan operator 1.



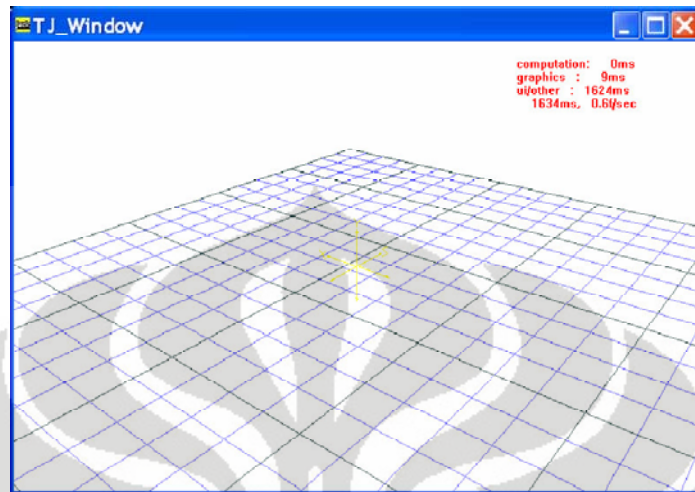
Gambar 3. 19 Contoh Postur Kerja Operator 1 Operasi Mesin Press

3.3 PEMBUATAN MODEL AKTUAL

3.3.1 Pembuatan Virtual Environment (VE)

Pembuatan VE ini dilakukan dengan memanfaatkan objek-objek yang disediakan oleh *software* Jack atau dengan membuat objek sendiri pada AutoCAD

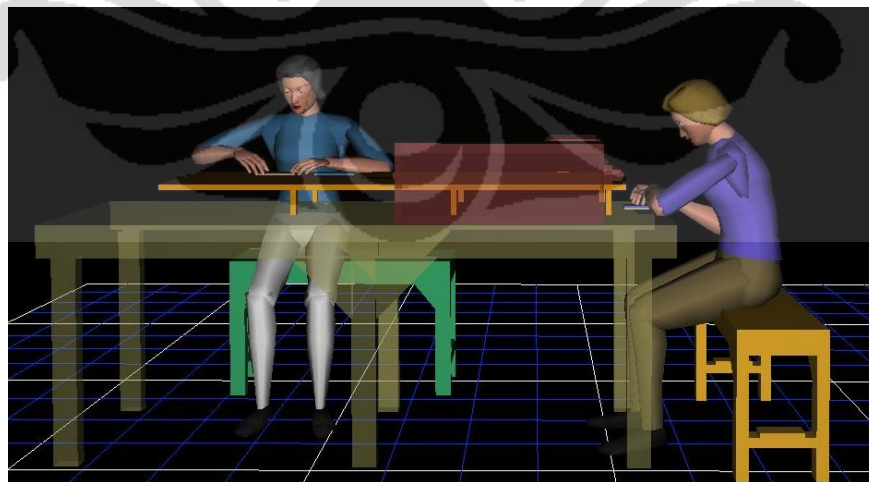
kemudian mengimpornya. Untuk kasus penelitian ini, digunakan lingkungan virtual kosong dari template *software* Jack, serta mengimpor benda-benda kerja yang telah dibuat dengan software AutoCAD.



Gambar 3. 20 *Start-up Software Jack*

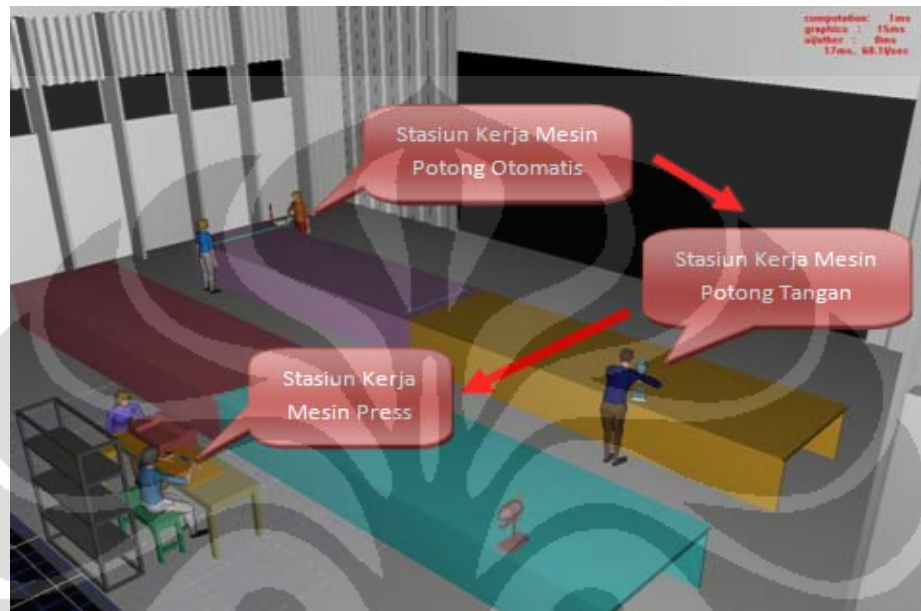
Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, p.9

Untuk stasiun kerja mesin potong otomatis, objek yang diimpor adalah mesin potong otomatis, meja kerja, pemberat, tiang penahan kain, batang untuk merapihkan kain, serta potongan kain yang digambarkan dalam bentuk lembaran persegi panjang. Untuk stasiun kerja mesin potong tangan yang diimpor adalah mesin potong tangan dan meja kerja. Meja kerja yang digunakan pada stasiun kerja mesin potong tangan sama dengan meja kerja yang digunakan pada stasiun kerja mesin potong otomatis. Sedangkan untuk stasiun kerja mesin press, objek yang diimpor adalah meja kerja, bangku kerja, serta potongan kain.



Gambar 3. 21 Stasiun Kerja Mesin Press

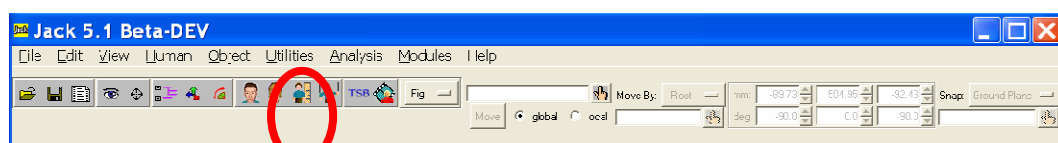
Setelah seluruh objek tersebut diimpor, maka kemudian mengatur objek-objek tersebut untuk membentuk lingkungan virtual yang menyerupai layout stasiun kerja aktual. Gambar 3.22 memberikan gambaran lingkungan virtual stasiun kerja divisi *cutting* yang dibuat dengan *software* Jack.



Gambar 3. 22 Lingkungan Virtual Divisi *Cutting*

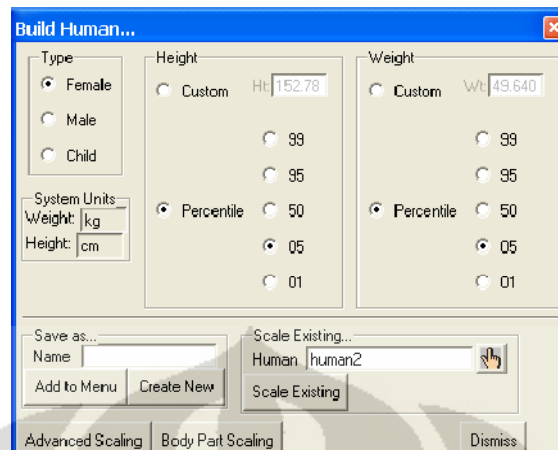
3.3.2 Input Model Manusia Digital

Software Jack dapat menyediakan *default human*, tetapi *default human* tersebut menggunakan ukuran pria dan wanita Amerika Serikat pada persentil 50 berdasarkan survey ANSUR-88 (*US Army Anthropometric Survey 1988*). Untuk dapat lebih merepresentasikan objek penelitian industri garmen, maka digunakan *icon human scaling*. Dengan *human scaling* ini, data antropometri yang dimasukkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan. *Software* Jack menyediakan dua metode untuk input pembuatan model manusia digital, yaitu dengan *basic human scaling* atau dengan *advanced human scaling*.



Gambar 3. 23 *Human Scaling* Icon

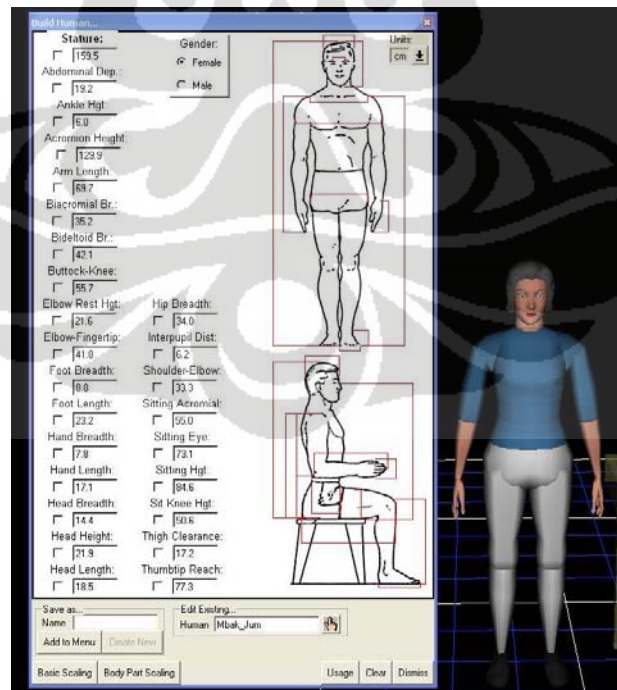
Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, p.66



Gambar 3. 24 Kotak Dialog *Basic Human Scaling*

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

Pada *Basic Human Scaling*, input data yang harus dilengkapi terdiri dari dua cara yaitu dengan mengisi data jenis kelamin, tinggi badan, dan berat badan, atau bisa juga dengan hanya mengisi data jenis kelamin dan persentil saja. Metode pembuatan model manusia yang lebih detail adalah dengan memanfaatkan *Advanced Human Scaling*. *Advanced Human Scaling* dapat membuat model manusia digital dengan dimensi antropometri tertentu dengan memasukkan data ukuran 26 bagian tubuh serta jenis kelamin.



Gambar 3. 25 Kotak Dialog *Advanced Human Scaling*

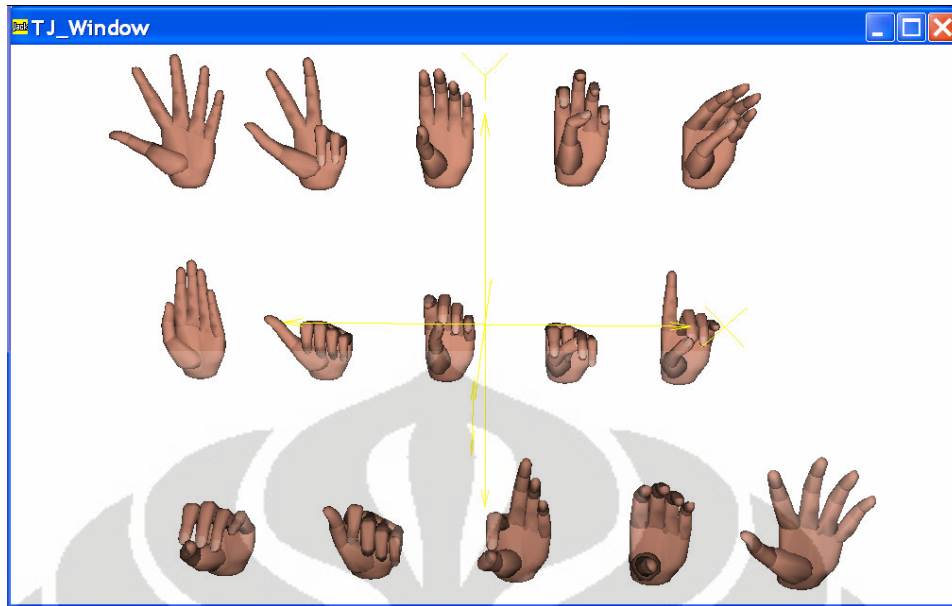
3.3.3 Memposisikan Model Manusia Digital

Proses memposisikan model manusia digital dilakukan dengan pembentukan postur agar menyerupai operator pada saat melakukan operasi menggunakan mesin potong otomatis, mesin potong tangan, dan mesin press. Kegiatan membentuk postur model manusia digital tersebut disebut sebagai kegiatan manipulasi. *Software jack* memiliki *Posture Library* yang menyimpan berbagai macam postur standard yang biasa digunakan dalam posisi bekerja. Postur standard ini biasanya digunakan sebagai postur awal untuk mempermudah manipulasi selanjutnya. Selain postur standard, *software jack* juga memiliki bentuk-bentuk standard yang khusus untuk tangan. Standard postur tangan ini tersimpan dalam *Shape Hand* yang dapat digunakan untuk membuat model manusia digital menggenggam atau meraih suatu objek.



Gambar 3. 26 Berbagai Contoh Postur Standard pada *Posture Library*

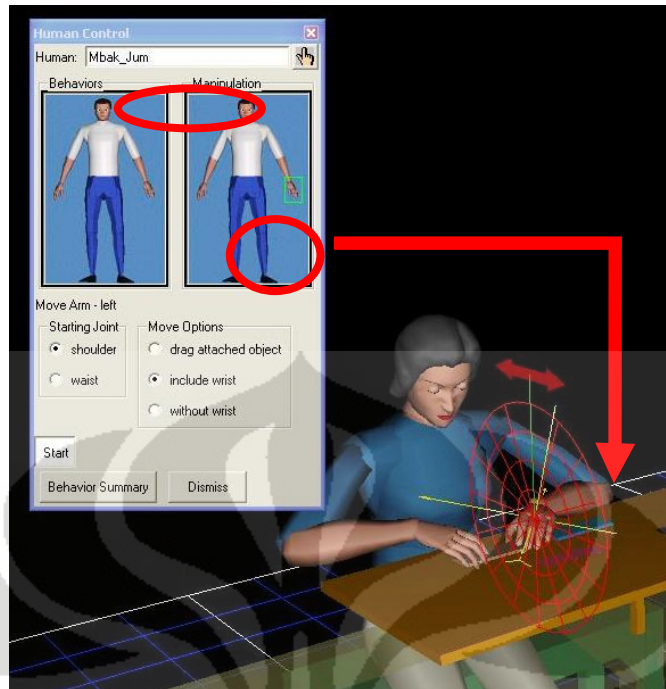
(Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, p.70)



Gambar 3. 27 Berbagai Contoh Postur Tangan pada Shape Hand

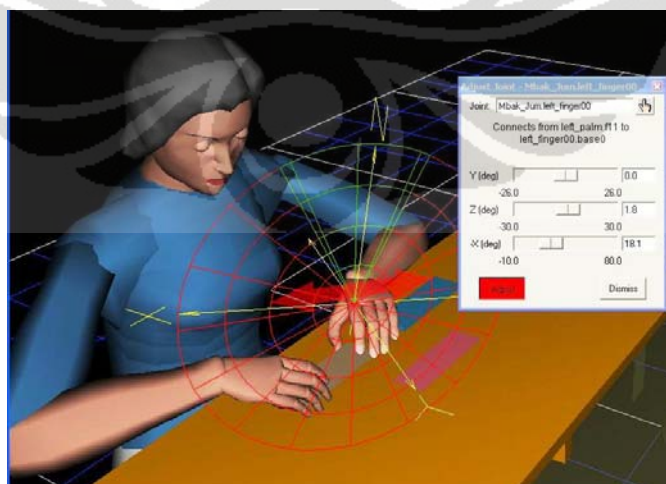
(Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, p.78)

Pembuatan model manusia digital untuk operasi mesin press dilakukan dengan menggunakan postur *template* yang disediakan di *software* jack yaitu postur duduk mengetik (*seated typing*). Jenis postur ini dipilih karena posisi duduknya paling mendekati posisi duduk pekerja stasiun kerja mesin press. Dari postur duduk mengetik ini kemudian di modifikasi dengan memanipulasi persendian model manusia sehingga membentuk postur kerja yang diinginkan sesuai dengan postur kerja aslinya. Kegiatan manipulasi model manusia digital pada *software* Jack dilakukan dengan menggunakan *Human Control*. Manipulasi dengan *human control* akan mengubah sekelompok sendi (*joint*) pada tubuh model manusia digital. *Human control* dapat digunakan untuk memanipulasi bagian tangan, kaki, kepala dan mata, serta bahu. Sedangkan manipulasi yang lebih detail untuk satu sendi saja dapat dilakukan dengan menggunakan *Adjust Joint*.



Gambar 3. 28 Pembuatan Postur dengan *Human Control*

Dengan menggunakan *adjust joint*, sendi model manusia digital pada *software jack* dapat diposisikan pada derajat kebebasan tertentu. Derajat kebebasan atau degree of freedom (DOF) adalah gerakan rotasi sekitar suatu sumbu. Namun, sebuah sendi dapat saja bersifat perismatik atau dengan kata lain hanya menghasilkan gerakan translasi dan bukan rotasi. Transformasi pada bagian yang dihubungkan oleh dua sendi dibentuk oleh gerakan rotasi dan translasi akibat perubahan derajat kebebasan.

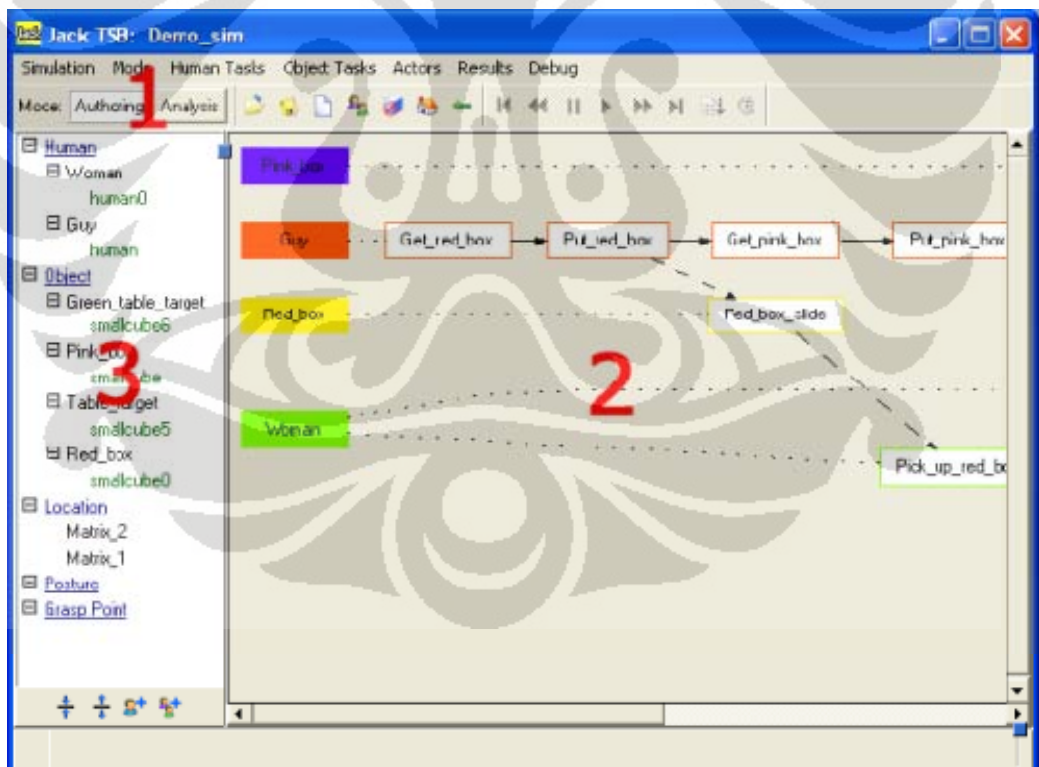


Gambar 3. 29 Pembuatan Postur dengan *Adjust Joint*

3.3.4 Pemberian Tugas pada Model Manusia Digital

Tahapan setelah pembuatan postur adalah pembuatan animasi untuk membuat simulasi gerakan operator. Pembuatan animasi dalam *software* Jack dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan *Task Simulation Builder* (TSB) atau dengan *animation system*.

TSB membuat simulasi rangkaian gerakan dengan membagi proses pembuatan simulasi dalam dua bagian, yaitu *simulation definition* dan *simulation execution*. Pada bagian *simulation definition* akan ditentukan *actor* dan *task* yang akan dikerjakan *actor*. Perbedaan antara TSB dengan *animation system* adalah TSB menekankan kepada apa yang harus dikerjakan oleh *actor* (*what is to be done*) bukan bagaimana cara *actor* mengerjakan (*how*). Pada bagian *simulation execution*, TSB akan menganalisis apakah *simulation definition* yang telah dibuat dapat dilaksanakan atau tidak, berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakannya, serta bagaimana cara pengerjaannya.

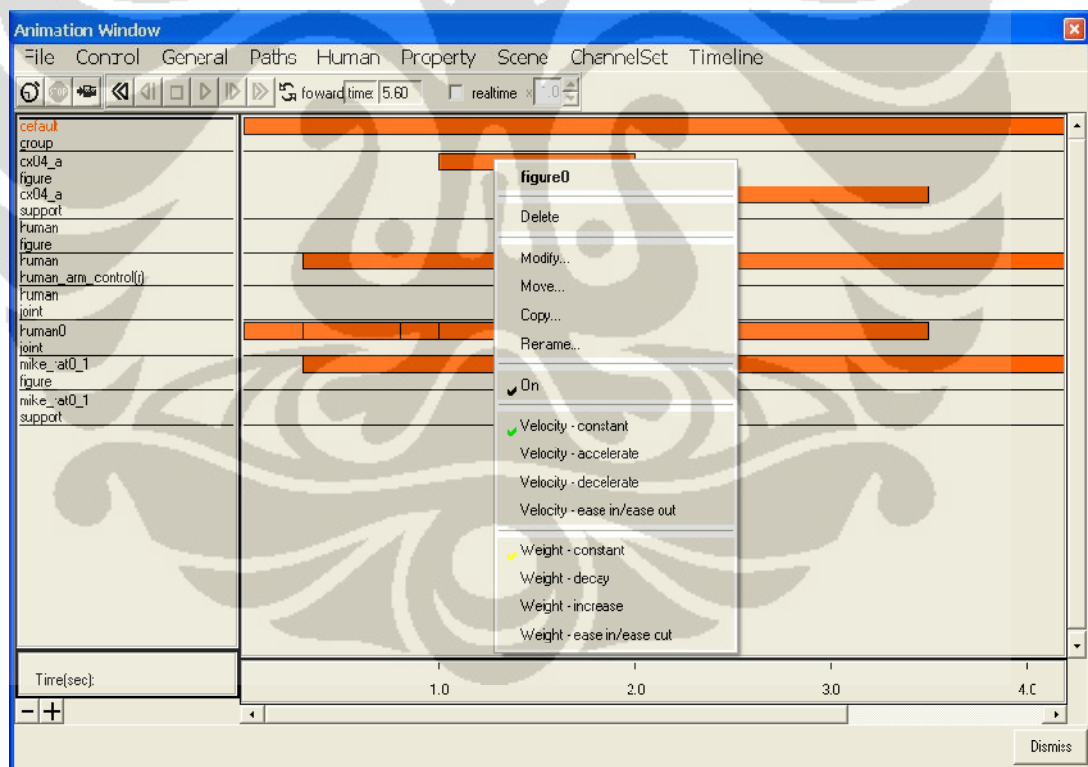


Gambar 3. 30 *Simulation Definition (Authoring)* pada TSB

(Sumber: Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2008, p.5)

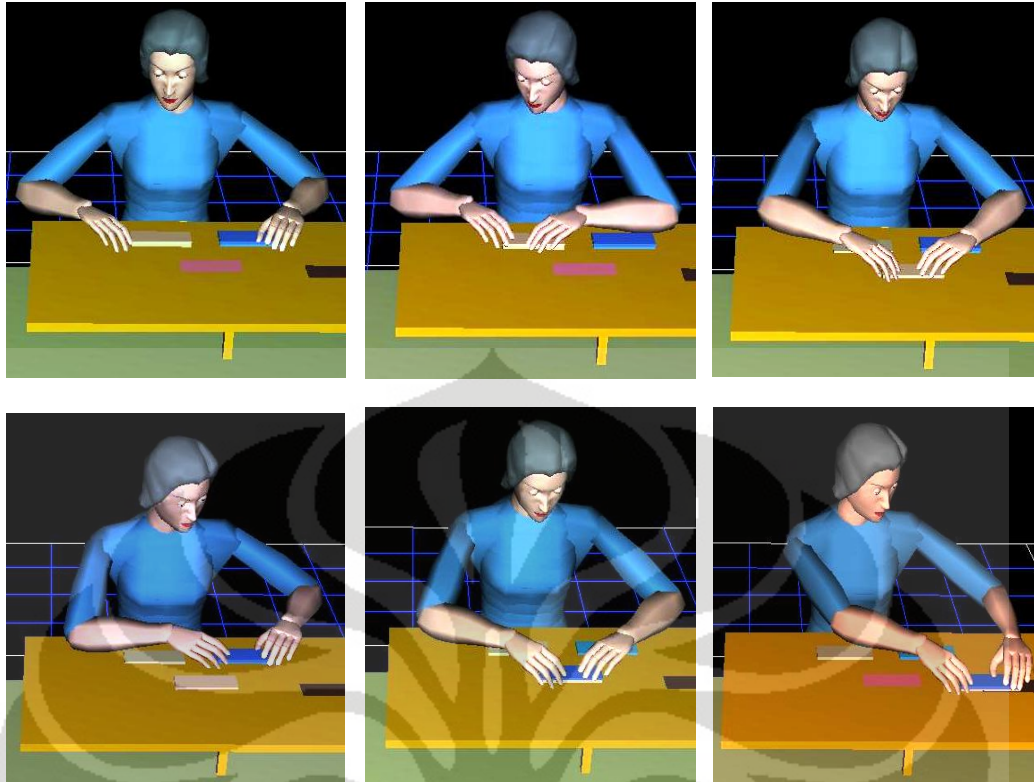
Kelemahan menggunakan TSB adalah gerakan yang terbentuk pada simulasi adalah gerakan yang telah ditentukan TSB dari hasil analisis pada bagian *simulation execution*, sehingga tidak bisa terbentuk rangkaian gerakan kerja tepat seperti yang diinginkan. Oleh karena itu, pembuatan animasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Animation System*.

Animation system pada *software* Jack menyediakan semua yang dibutuhkan untuk membuat dan memutar ulang gerakan Pembuatan gerakan dalam *animatin system* Jack membutuhkan beberapa parameter, yaitu: nama gerakan, penambahan berat, kecepatan, waktu mulai gerakan, durasi lamanya gerakan, dan tujuan akhir. Pada *animation system* ini, lokasi untuk memulai gerakan selanjutnya didapatkan dari lokasi akhir gerakan sebelumnya. Hal ini membuat simulasi dengan *animation system* ini menjadi sangat mudah dan lebih fleksibel.



Gambar 3. 31 Kotak Dialog *Motion Editing Menu*

(Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008, p.156)

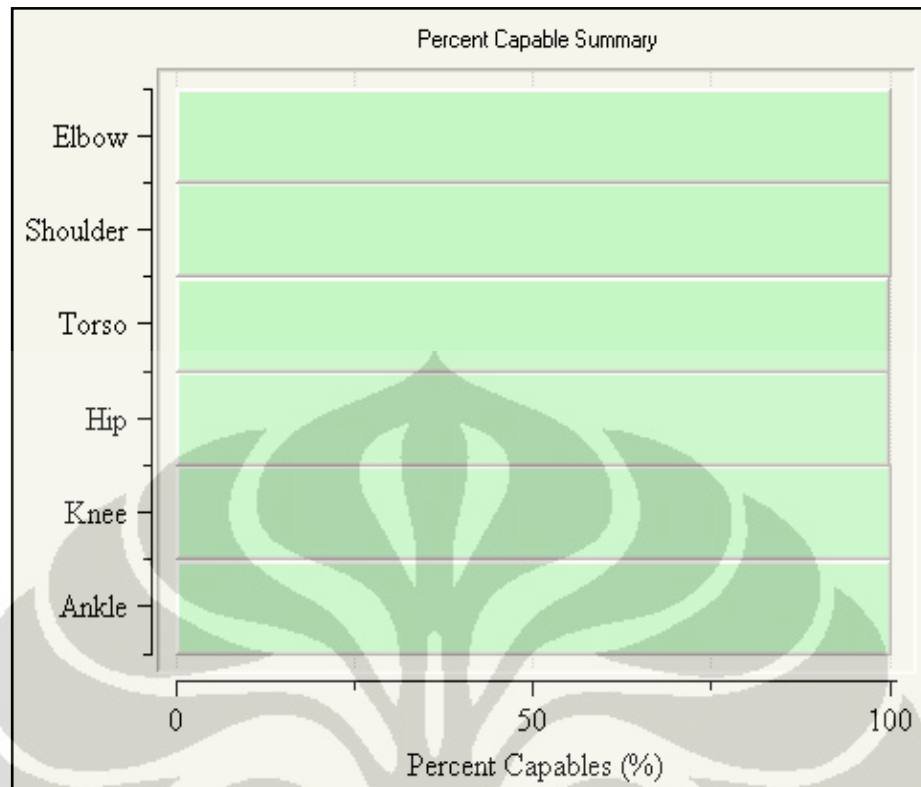


Gambar 3. 32 Rangkaian Postur Kerja Operator 1 dari Animasi Mesin Press

3.3.5 Analisis dengan *Jack Task Analysis Toolkit (TAT)*

Setelah postur dan animasi dibuat maka langkah selanjutnya adalah menganalisis setiap postur dari rangkaian gerakan yang tercipta dari proses animasi. Jack TAT memiliki 9 *tools* yang dapat digunakan mengevaluasi aspek *human factor* dari model manusia digital. Namun dalam penelitian ini *tool* yang digunakan untuk menganalisis model manusia digital hanya 4 dari 9 *tools* yang tersedia, yaitu *Static Strength Prediction*, *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis System*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Analisis dilakukan dengan menjalankan animasi rangkaian kerja model manusia, mengaktifkan *tool* yang akan digunakan, dan memperhatikan *timing* terjadinya *critical posture*. *Critical posture* menunjukkan titik ekstrim postur kerja yang menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis.

Analisis SSP digunakan untuk mengetahui apakah kegiatan kerja yang disimulasikan dapat dilakukan oleh seluruh populasi pekerja. Untuk perhitungan PEI, maka ditetapkan persentase minimal SSP adalah 90%.

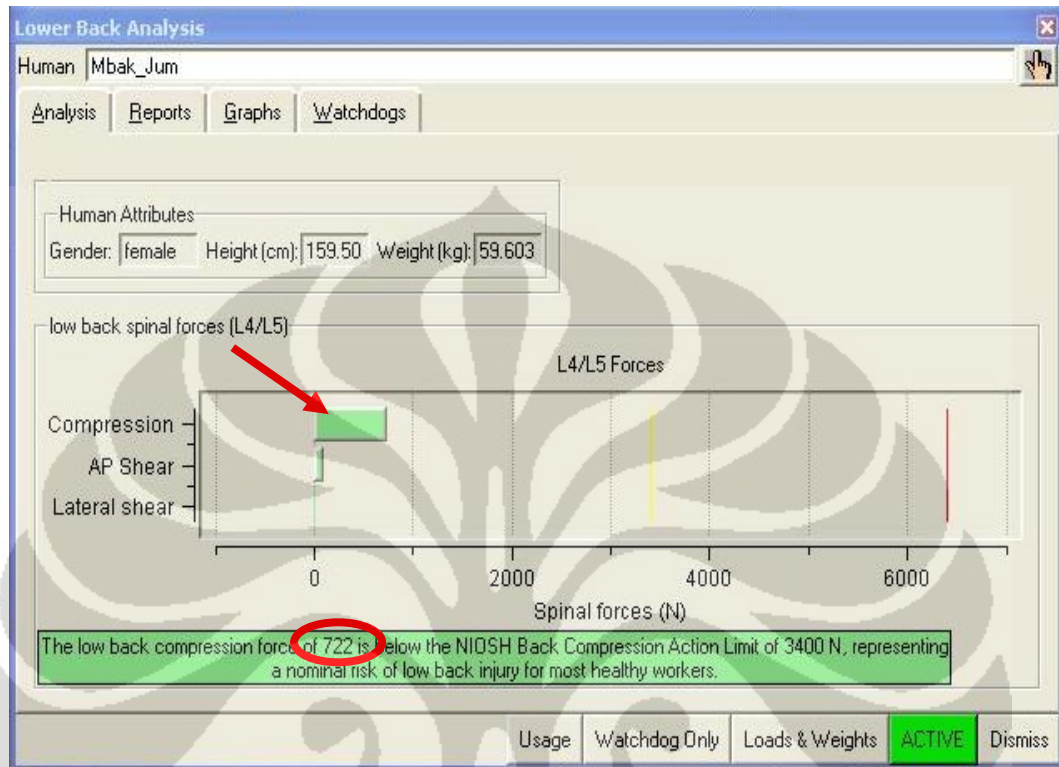


Gambar 3. 33 Hasil Grafik SSP Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual
Selain grafik *percent capable summary*, SSP juga mengeluarkan hasil analisis dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.7:

Tabel 3.7. *SSP Capability Summary Chart* Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual

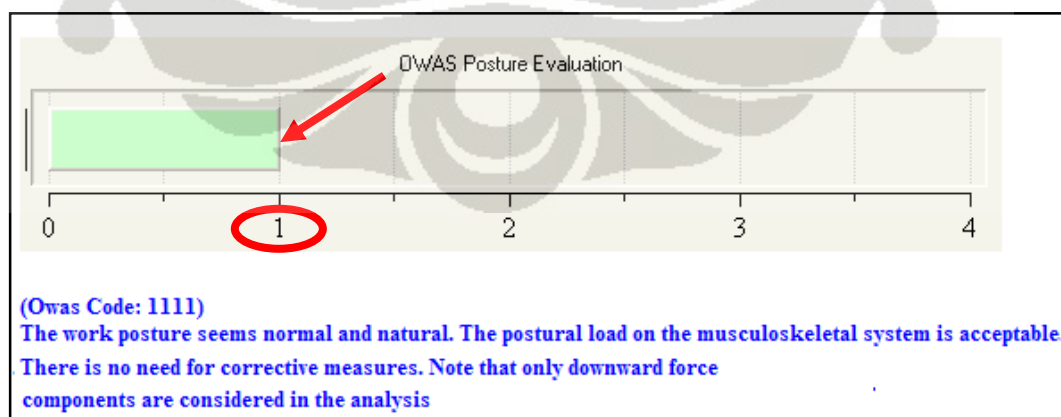
| | | Left | | | | | Right | | | | |
|----------|-----------------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|
| | | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) |
| | Elbow | -1 | -- | 34 | 9 | 100 | -1 | -- | 37 | 10 | 100 |
| Shoulder | Abduc/Adduc | -4 | ABDUCT | 29 | 8 | 100 | -4 | ABDUCT | 33 | 9 | 100 |
| | Rotation Bk/Fd | -0 | -- | 39 | 13 | 100 | -1 | -- | 43 | 15 | 100 |
| | Humeral Rot | -1 | LATERAL | 11 | 3 | 100 | -1 | LATERAL | 21 | 5 | 100 |
| | | | | | | | | | | | |
| Trunk | Flex/Ext | -19 | EXTEN | 234 | 81 | 100 | | | | | |
| | Lateral Bending | -5 | RIGHT | 165 | 38 | 100 | | | | | |
| | Rotation | 0 | -- | 56 | 17 | 100 | | | | | |
| | Hip | -0 | -- | 111 | 42 | 100 | -0 | -- | 111 | 42 | 100 |
| | Knee | 0 | -- | 114 | 40 | 100 | 0 | -- | 114 | 40 | 100 |
| | Ankle | 0 | -- | 82 | 23 | 100 | 0 | -- | 84 | 23 | 100 |

LBA mengeluarkan nilai tekanan kompresi yang diterima oleh model operator seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.34:



Gambar 3. 34 Hasil Analisis LBA Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual

Sedangkan untuk OWAS, angka yang digunakan untuk analisis berkisar antara 1-4 seperti yang ditunjukkan gambar 3.35:



Gambar 3. 35 Hasil Analisis OWAS Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual

Software Jack mengeluarkan hasil analisis RULA seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.36:

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Operasi Mesin Potong D Job Number: konfigurasi 6 inchi
 Location: Divisi Cutting Analyst: Nandyka
 Comments: Date: 16 Jun 2009

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 4
 Lower arm: 2
 Wrist: 1
 Wrist Twist: 1
 Total: 5

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

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

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

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

Update Analysis

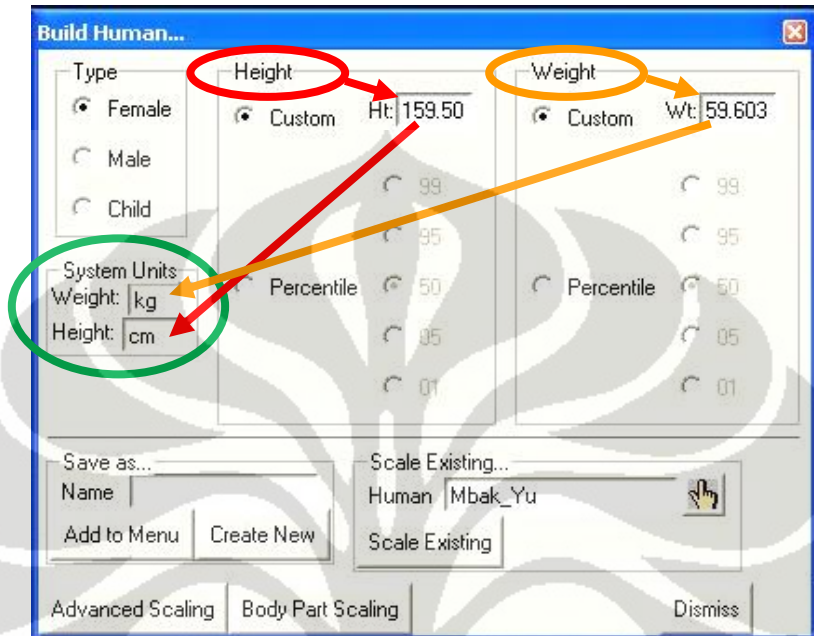
Usage Dismiss

Gambar 3. 36 Hasil Analisis RULA Operator 1 Mesin Press untuk Kondisi Aktual

3.3.6 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi dilakukan untuk menguji apakah suatu model telah disintesiskan tepat sesuai dengan yang dimaksud. Verifikasi model mengindikasikan bahwa model tersebut telah dipercaya konsepsinya. Pengujian model melalui proses verifikasi dalam penelitian ini dilakukan dengan cara uji analisis unit. Uji analisis unit dapat dilihat dari dua hal, yaitu seluruh variabel mempunyai unit yang benar, dan seluruh unit sesuai dengan realita yang ada dan tidak terdapat unit korektif yang dimasukkan.

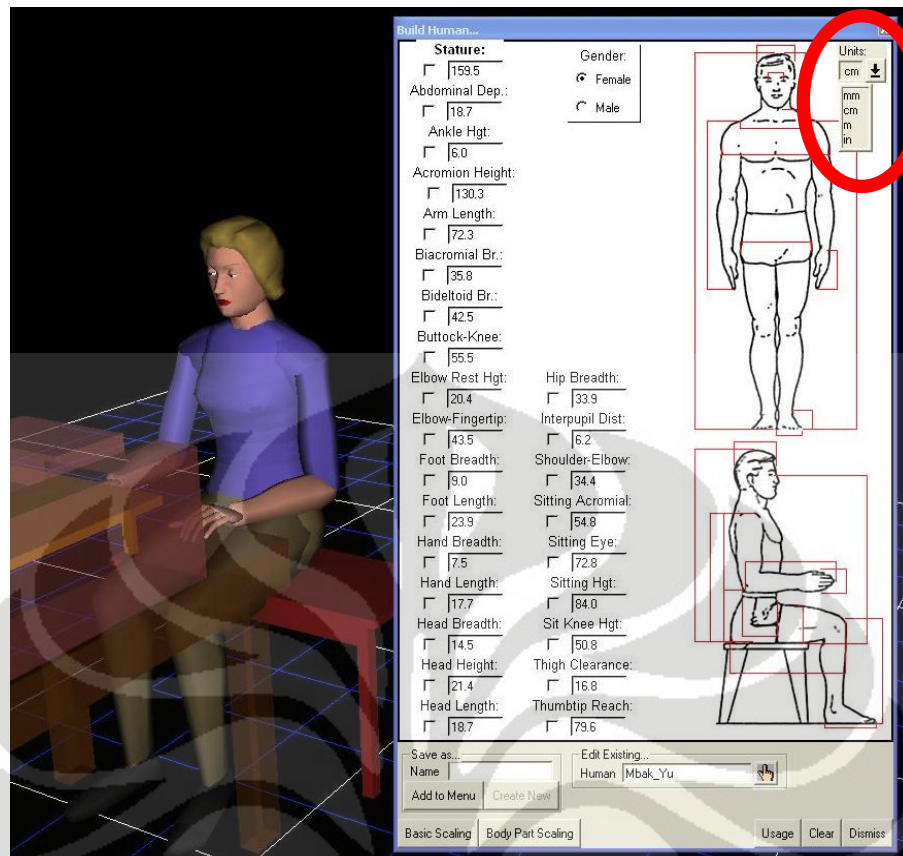
Satuan yang digunakan pada *software* Jack untuk tinggi badan adalah centimeter, sedangkan untuk berat badan adalah kilogram, satuan ini sama seperti yang digunakan dalam pengukuran di dunia nyata.



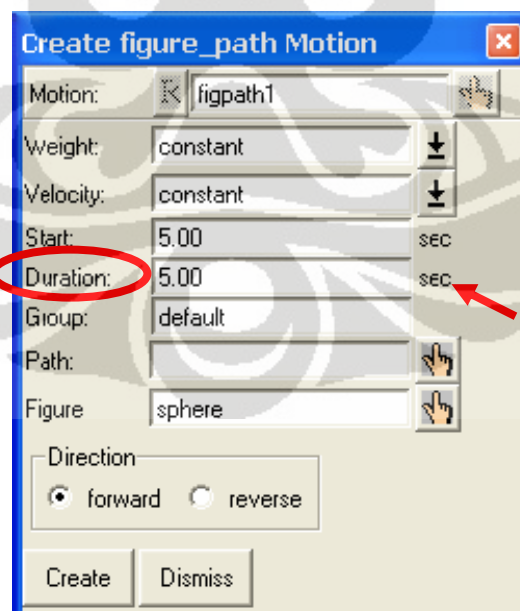
Gambar 3. 37 Uji Analisis Unit Variabel Berat dan Tinggi Badan pada Model Manusia Digital



Gambar 3. 38 Uji Analisis Unit Variabel Berat pada *Load Editor* Jack TAT



Gambar 3. 39 Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri Model Manusia Digital



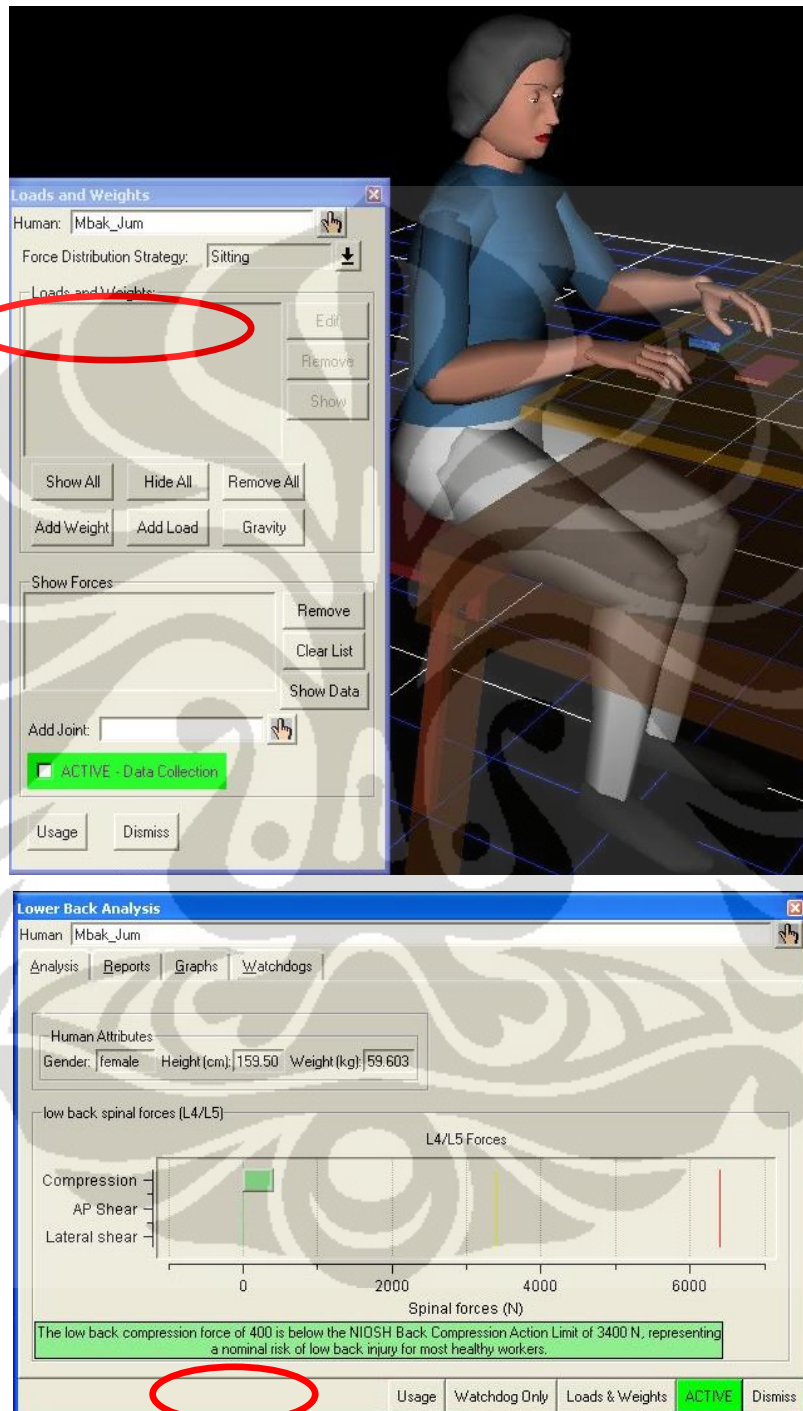
Gambar 3. 40 Uji Analisis Unit Variabel Durasi Waktu pada Animation System

Setelah melewati proses verifikasi model, maka tahapan selanjutnya dalam pengujian model adalah proses validasi model. Proses validasi model dilakukan dengan cara uji kondisi ekstrim yaitu memasukkan nilai ekstrim lainnya ke dalam model yang mempunyai nilai yang jauh lebih besar dari nilai operasionalnya. Nilai yang diharapkan pada uji kali ini adalah kenaikan yang besar untuk seluruh variabel yang berhubungan. Uji nilai ekstrim menunjukkan bahwa model sesuai dengan hubungan logika antar variabel dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan dan irasional dalam model.

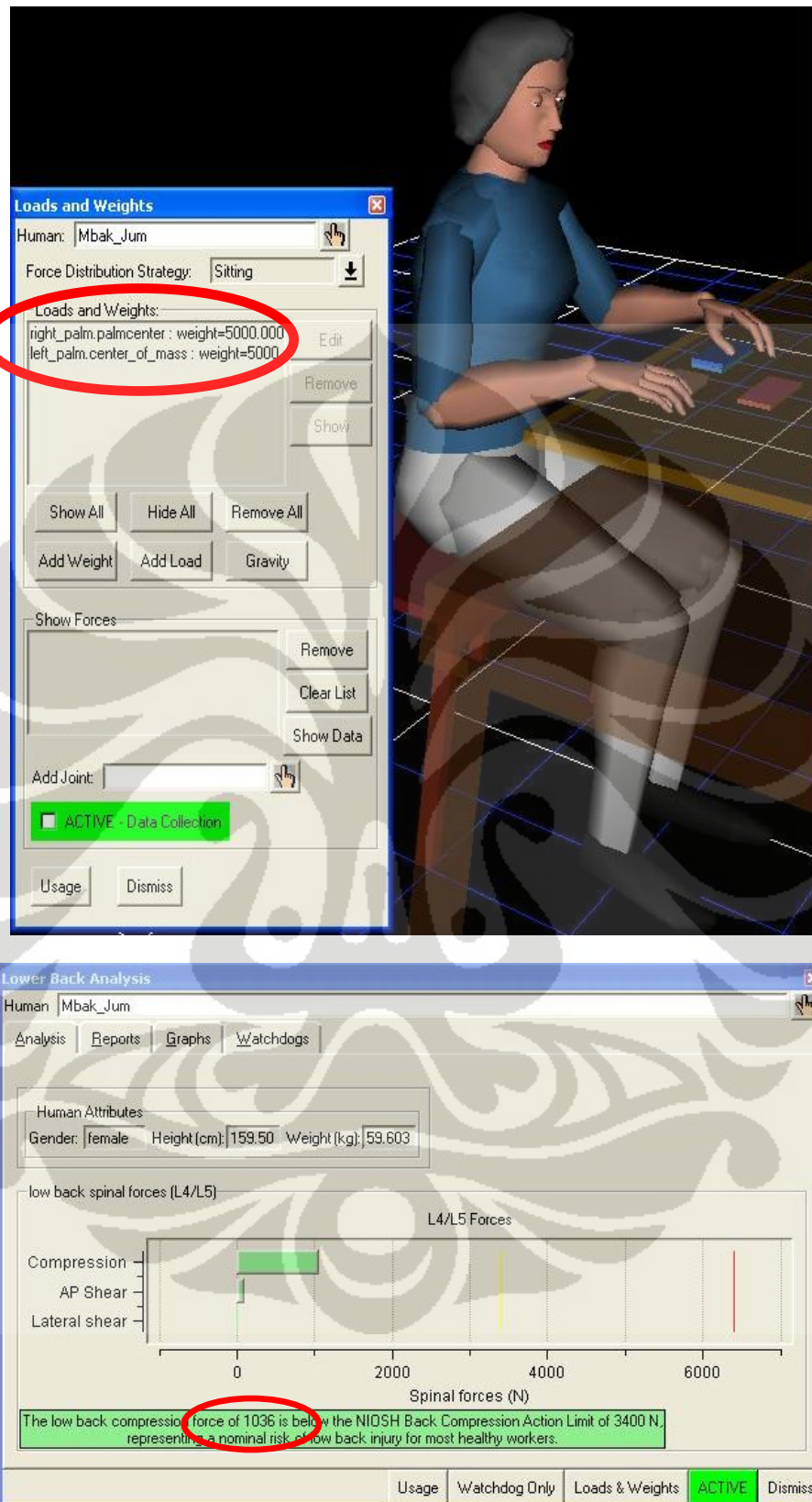
Proses verifikasi model dalam penelitian ini dilakukan dengan menambahkan beban seberat 5kg pada kedua tangan operator ketika dilakukan analisa LBA, RULA, dan SSP. Penambahan beban 5kg ini dianggap masuk akal terjadi di dunia nyata karena operator masih mempunyai kemungkinan mengangkat kain seberat 5kg pada saat bekerja. Sedangkan untuk analisa OWAS yang diperhatikan adalah postur tubuh sehingga variabel yang diubah adalah tingkat *bending* pada torso model manusia digital.

Pada analisa LBA, sebelum ditambahkan beban sebanyak 5kg di kedua tangan operator, nilai LBA adalah 400N. Namun setelah ditambahkan beban, nilai tersebut naik menjadi 1036N. Begitu pula dengan analisa RULA, sebelum ditambahkan beban skor RULA operator adalah 5, setelah ditambahkan beban 5kg, skor RULA naik menjadi 7 untuk *body group A*. Untuk analisa SSP, perubahan nilai terlihat pada *capability elbow*, *shoulder*, dan *torso*. Namun perubahan paling signifikan terlihat pada bagian *shoulder*. Sebelum ditambahkan beban 5kg, kapabilitas bagian bahu mencapai 100%. Namun setelah ditambahkan beban 5kg di kedua tangan operator, kapabilitas bahu berkurang bahkan sampai di bawah 50%. Untuk analisa OWAS, tingkat *bending* torso model manusia digital diubah dari 13.3 derajat menjadi 46.0 derajat. Perubahan ini menyebabkan skor OWAS naik dari 1 menjadi 3. Hal ini sesuai dengan logika bahwa semakin menekuknya torso manusia maka semakin tinggi pula resiko ergonomi yang dapat terjadi. Reaksi yang terjadi terhadap model manusia digital setelah penambahan beban di kedua tangan juga masuk akal, karena setelah ditambahkan beban maka usaha yang harus dilakukan oleh manusia menjadi semakin besar. Selain itu

penambahan beban di tangan juga tentu saja akan berpengaruh pada siku, bahu, dan punggung.



Gambar 3. 41 Analisa LBA Sebelum Ditambahkan Beban 5kg



Gambar 3. 42 Analisa LBA Sesudah Ditambahkan Beban 5kg

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 2
 Lower arm: 3
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 Total: 5

Body Group B Posture Rating
 Neck: 2
 Trunk: 3
 Total: 4

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

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

Grand Score: 5
 Action: Investigation and changes are required soon.

Update Analysis

Usage | Dismiss

Gambar 3. 43 Analisa RULA untuk Beban < 2kg

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

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

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 2
 Lower arm: 3
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 Total: 7

Body Group B Posture Rating
 Neck: 2
 Trunk: 3
 Total: 4

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

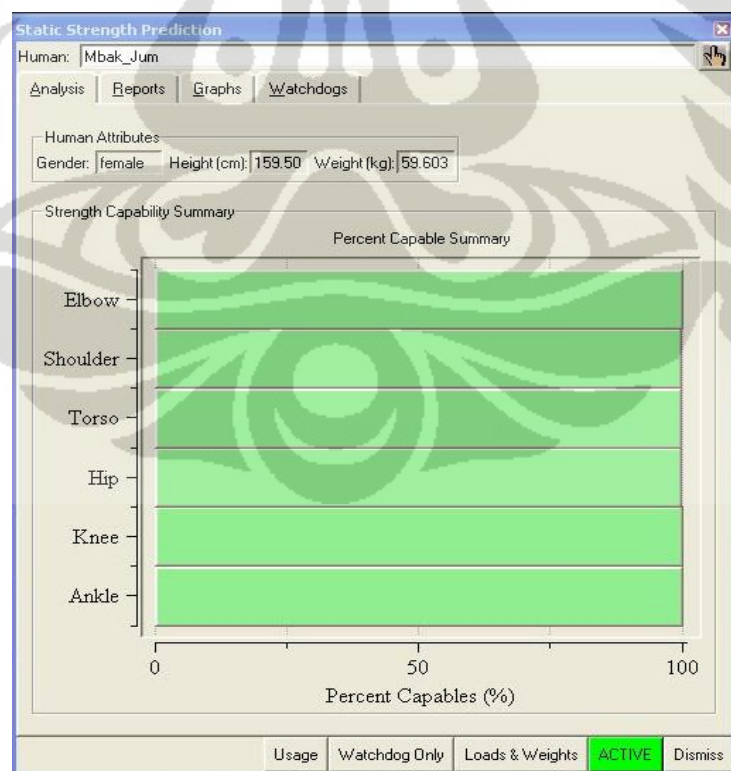
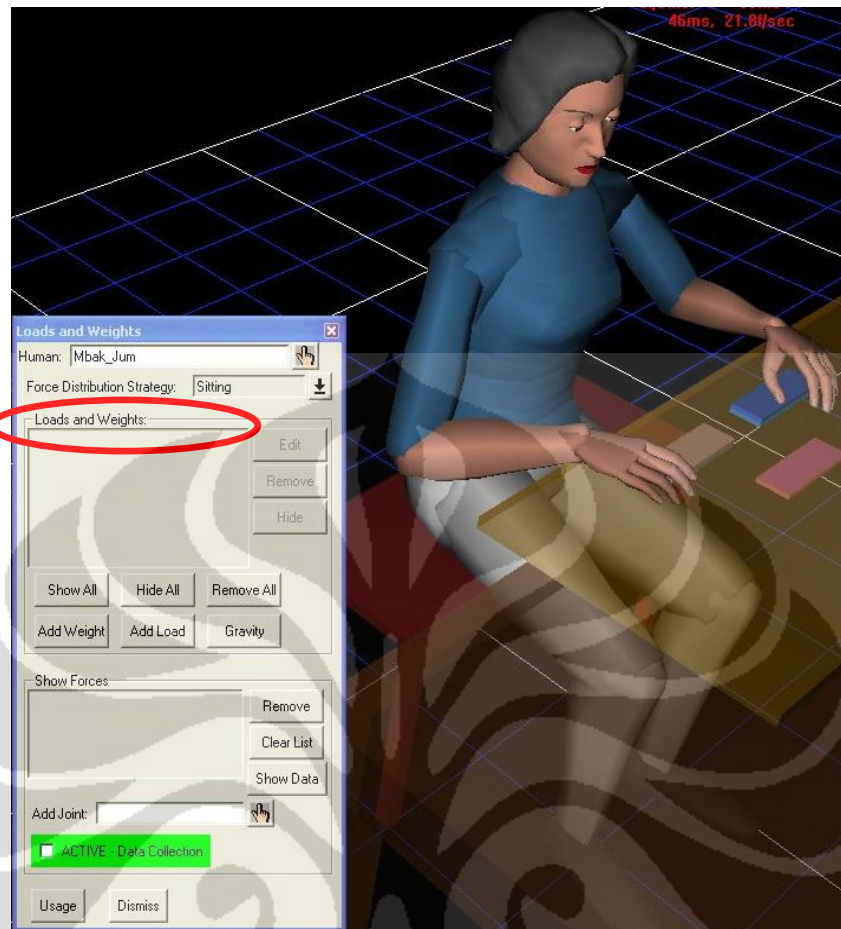
Legs and Feet Rating
 Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 6
 Action: Investigation and changes are required soon.

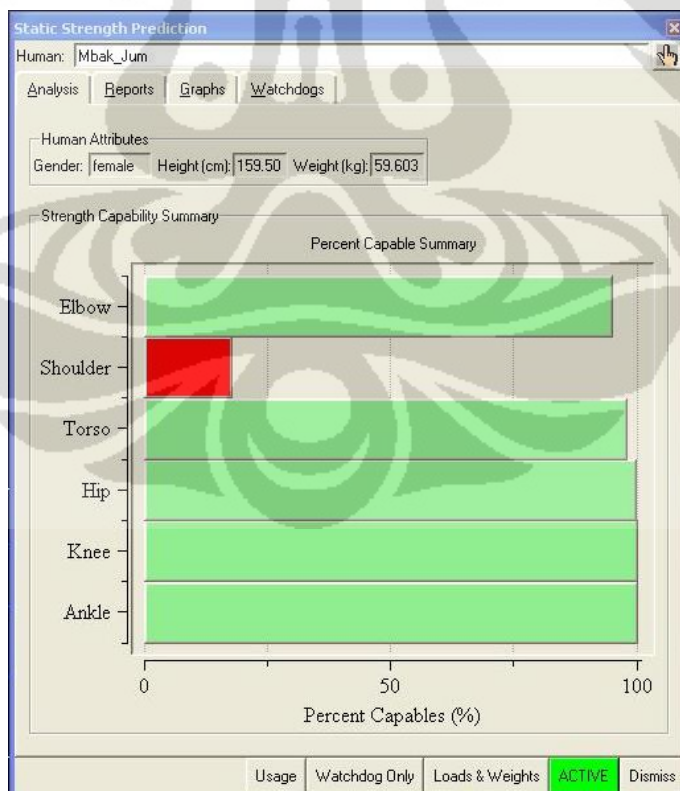
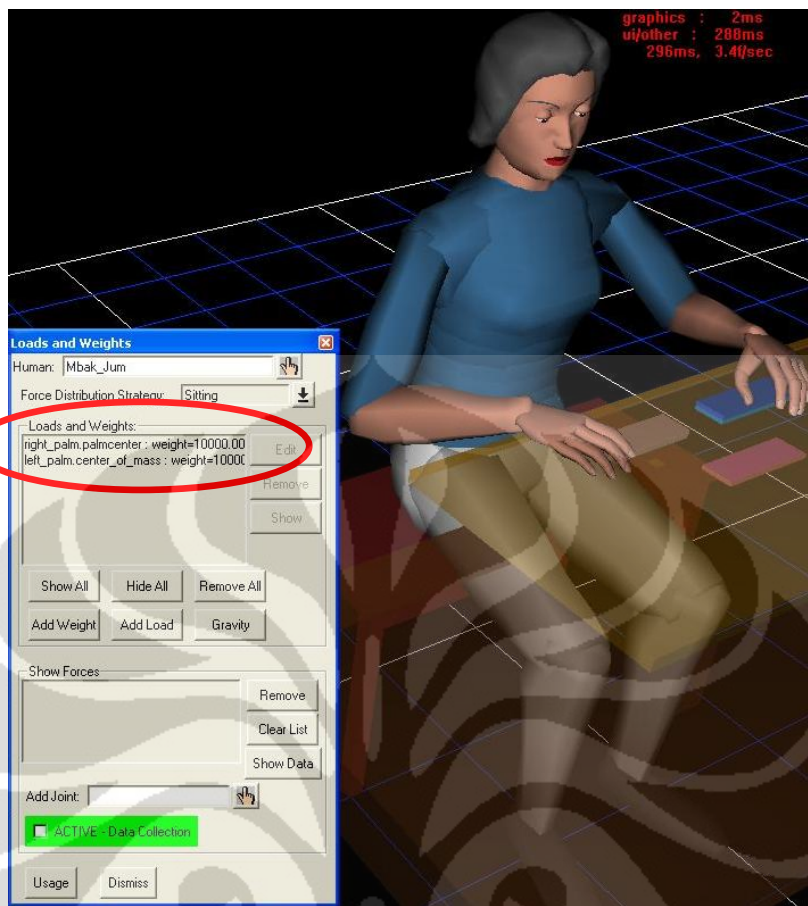
Update Analysis

Usage | Dismiss

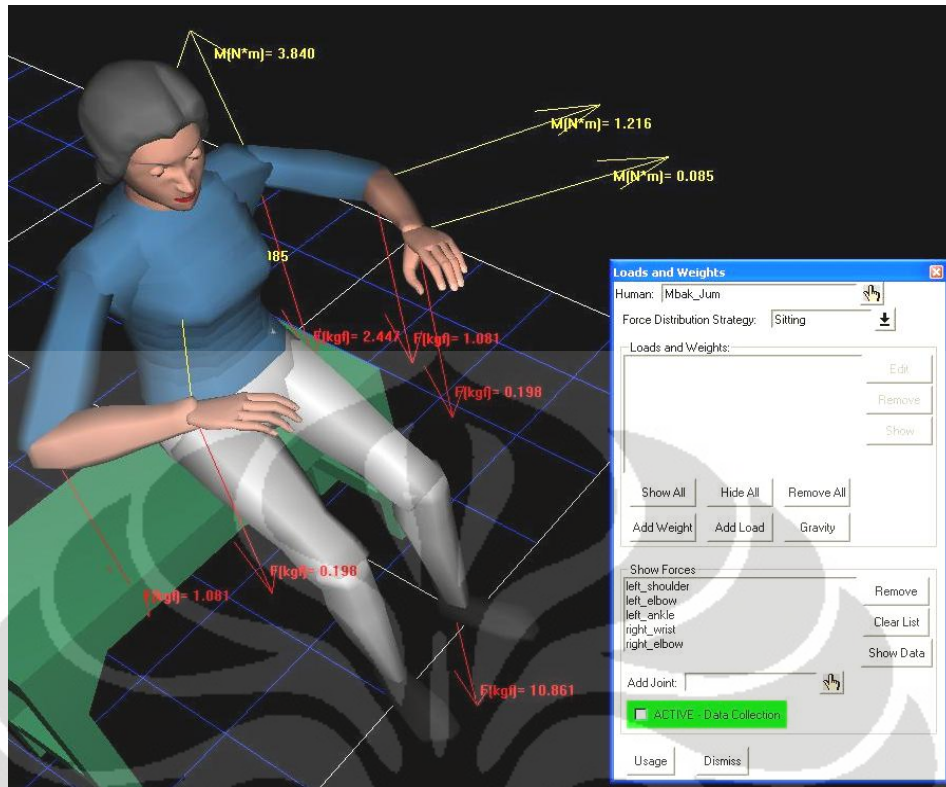
Gambar 3. 44 Analisa RULA untuk Beban 2-10kg



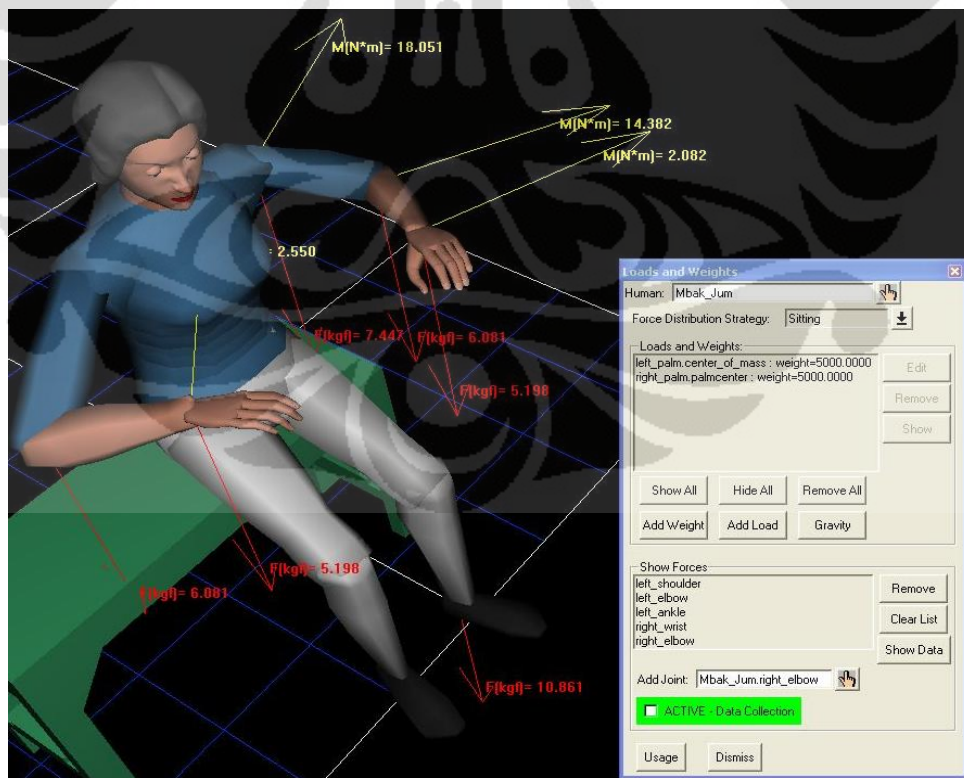
Gambar 3. 45 Analisa SSP Sebelum Ditambahkan Beban 5kg



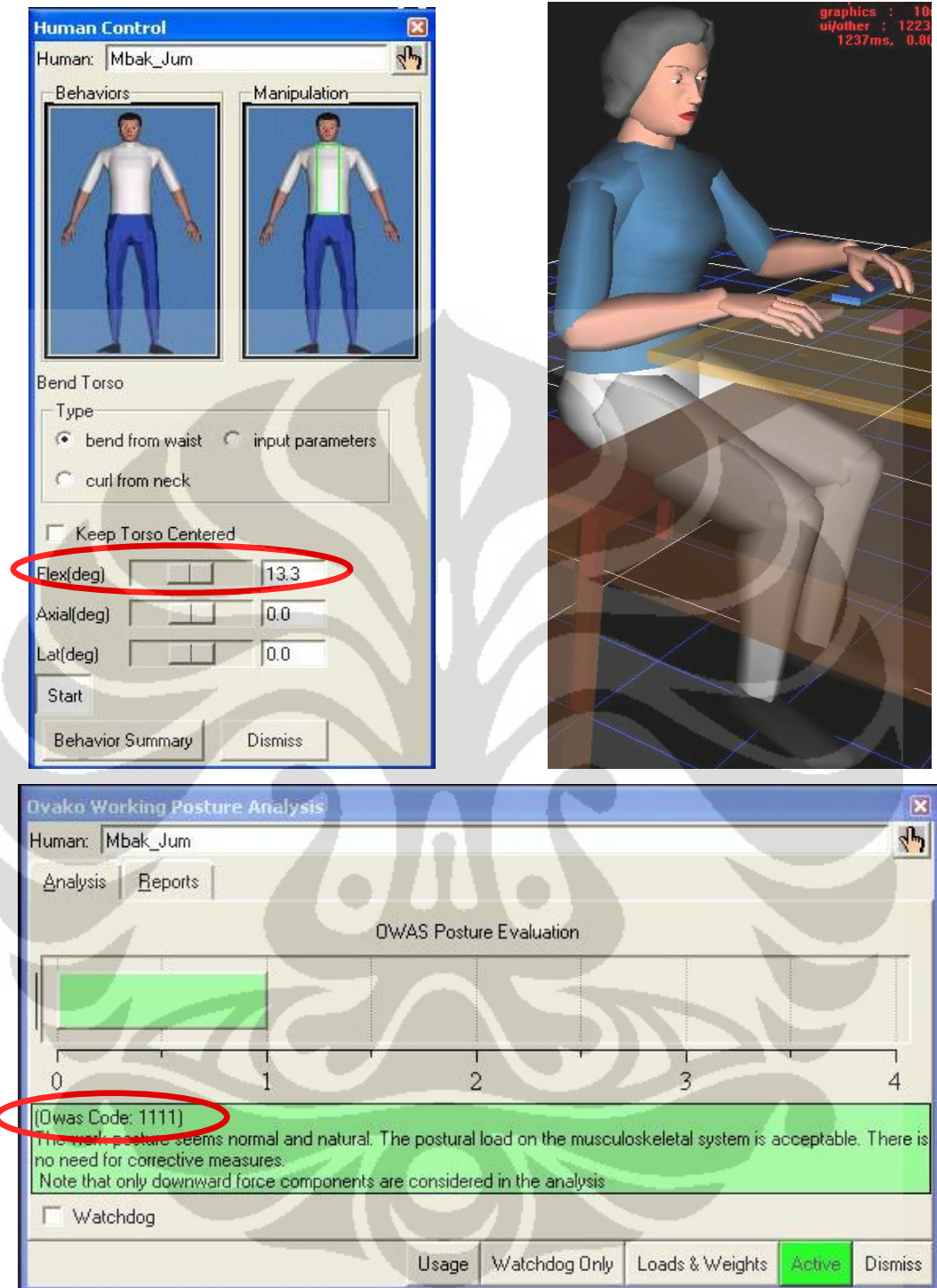
Gambar 3. 46 Analisa SSP Sesudah Ditambahkan Beban 5kg



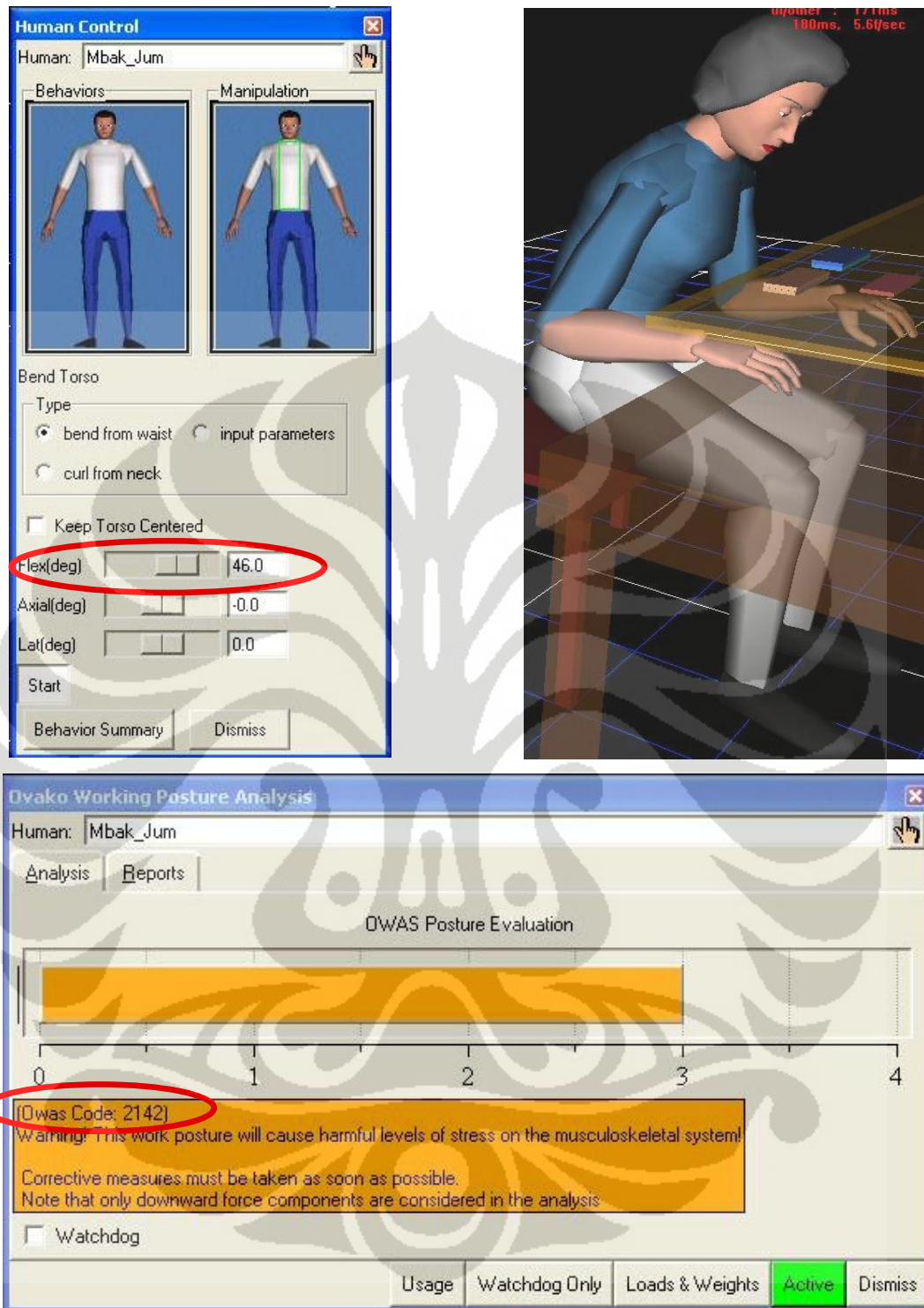
Gambar 3. 47 Persebaran Gaya Sebelum Ditambahkan Beban 5kg



Gambar 3. 48 Persebaran Gaya Setelah Ditambahkan Beban 5kg



Gambar 3. 49 Analisa OWAS Sebelum Ditambahkan *Flex(deg)* pada *Torso*



Gambar 3. 50 Analisa OWAS Setelah Ditambahkan *Flex(deg)* pada *Torso*

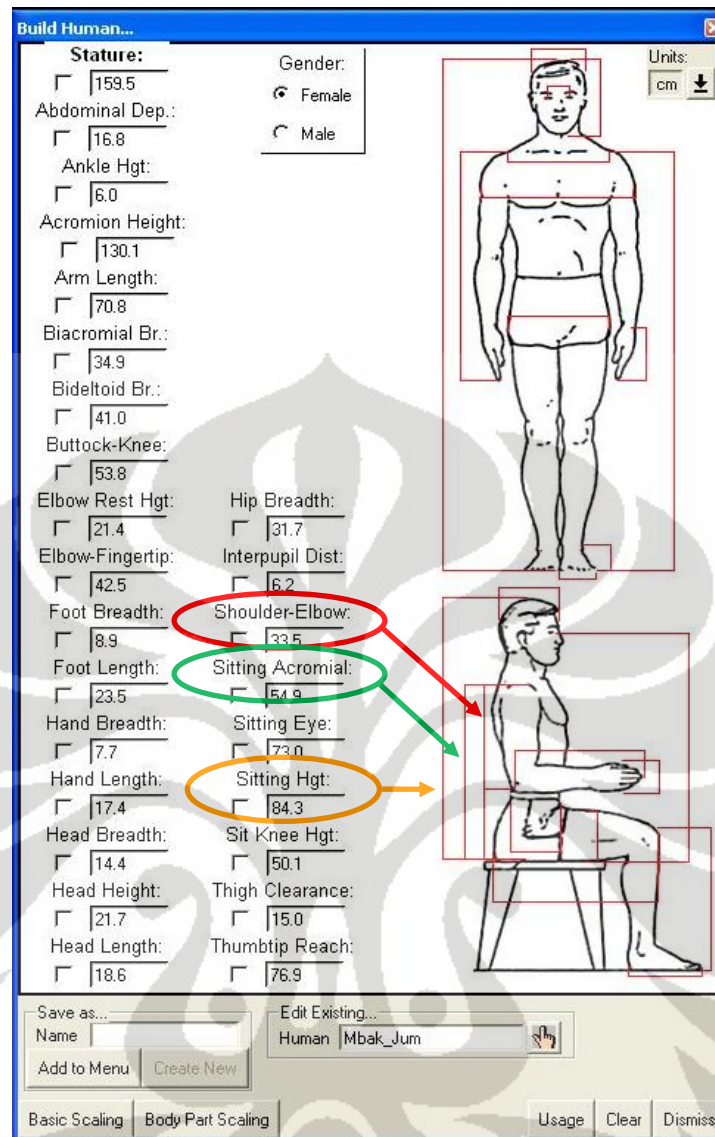
3.4 PENENTUAN KONFIGURASI DAN PERHITUNGAN PEI

3.4.1 Penentuan Konfigurasi

Konfigurasi dilakukan untuk menentukan perubahan variabel yang paling berpengaruh terhadap postur kerja manusia pada operasi mesin potong otomatis, mesin potong tangan dan mesin press. Konfigurasi ini juga bertujuan agar penelitian yang dilakukan dapat menghasilkan rekomendasi optimum untuk aspek ergonomi di divisi *cutting* berdasarkan variabel yang telah ditentukan. Variabel utama yang diubah dalam penelitian ini adalah tinggi meja. Namun untuk mesin yang dioperasikan dalam posisi duduk maka tinggi kursi kerja juga diubah dengan mengikuti perubahan ketinggian meja kerja. Pemilihan variabel ini dilakukan dengan mempertimbangkan kemampuan *software* serta peralatan yang tersedia. Perubahan tinggi meja dan tinggi kursi dilakukan berdasarkan referensi tinggi meja dan tinggi kursi ideal. Untuk posisi berdiri maka tinggi meja kerja akan dihitung dengan cara menurunkan 4 inci, 5 inci dan 6 inci di bawah tinggi siku. Sedangkan untuk posisi kerja duduk maka tinggi meja kerja akan dihitung dengan cara menaikkan 5 cm, 10 cm dan 15 cm di atas tinggi siku. Untuk setiap mesin akan dilakukan konfigurasi sebanyak 3 sehingga total konfigurasi adalah sebanyak 9 untuk 3 mesin. Semua konfigurasi disimulasikan dengan model manusia digital persentil 50% yang akan bertindak sebagai operator mesin.

Operasi mesin potong otomatis dilakukan dengan posisi berdiri sehingga konfigurasi yang dilakukan hanyalah terhadap tinggi meja saja. Tinggi meja untuk konfigurasi mesin potong otomatis dihitung dengan cara mengurangi 4 *inches*, 5 *inches* dan 6 *inches* dari tinggi siku model manusia digital (*standing foot-elbow height*) ketika berdiri. Tinggi siku dihitung dari kaki sampai siku pada model manusia digital dalam satuan *centimeter*. Karena tidak terdapat data antropometri tinggi siku pekerja divisi *cutting* industry garmen, maka perhitungan tinggi siku untuk posisi kerja berdiri dilakukan dengan melihat ukuran antropometri yang dikeluarkan oleh *software* Jack. Persamaan untuk menghitung tinggi siku model manusia digital adalah:

$$\text{Elbow Height} = \text{Sitting Height} - \text{Sitting Acromial} + \text{Shoulder Elbow} \quad (3.1)$$



Gambar 3. 51 Ukuran Antropometri Operator Mesin Potong otomatis

Ketinggian meja kerja mesin potong otomatis pada kondisi aktual adalah 84 cm, sedangkan setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan tinggi meja 86.44 cm untuk konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku, tinggi meja 83.9 cm untuk konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku, dan tinggi meja 81.36 cm untuk konfigurasi 6 inci di bawah tinggi siku. Hasil perhitungan tinggi meja untuk konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku menghasilkan ukuran yang hampir sama dengan tinggi meja aktual, oleh karena itu simulasi untuk konfigurasi tinggi meja 5 inci di bawah tinggi siku dianggap sama dengan kondisi aktual.

Tabel 3.8. Perhitungan *Standing Foot-Elbow Height* dan Tinggi Meja Mesin Potong Otomatis untuk Posisi Berdiri

| PERHITUNGAN STANDING FOOT-ELBOW (cm) | | |
|---|--|---------------------|
| sitting height (SH) | sitting acromial (SA) | shoulder-elbow (SE) |
| 84.3 | 54.9 | 33.5 |
| head-elbow (HE) | (SH-SA)+SE | |
| | $(84.3-54.9)+33.5 = 62.9$ | |
| foot-elbow (FE) | height-HE | |
| | $159.5-62.9 = 96.6$ | |
| KONFIGURASI (<i>inches below elbow</i>) | | |
| 4 inchi | $96.6-(4 \times 2.5) = \mathbf{86.44}$ | |
| 5 inchi | $96.6-(5 \times 2.5) = \mathbf{83.9}$ | |
| 6 inchi | $96.6-(6 \times 2.5) = \mathbf{81.36}$ | |

Cara perhitungan yang sama dilakukan juga untuk menghitung ketinggian meja kerja mesin potong tangan, hasil perhitungan ditampilkan pada tabel 3.10.

Tabel 3.9. Perhitungan *Standing Foot-Elbow Height* dan Tinggi Meja Mesin Potong Tangan untuk Posisi Berdiri

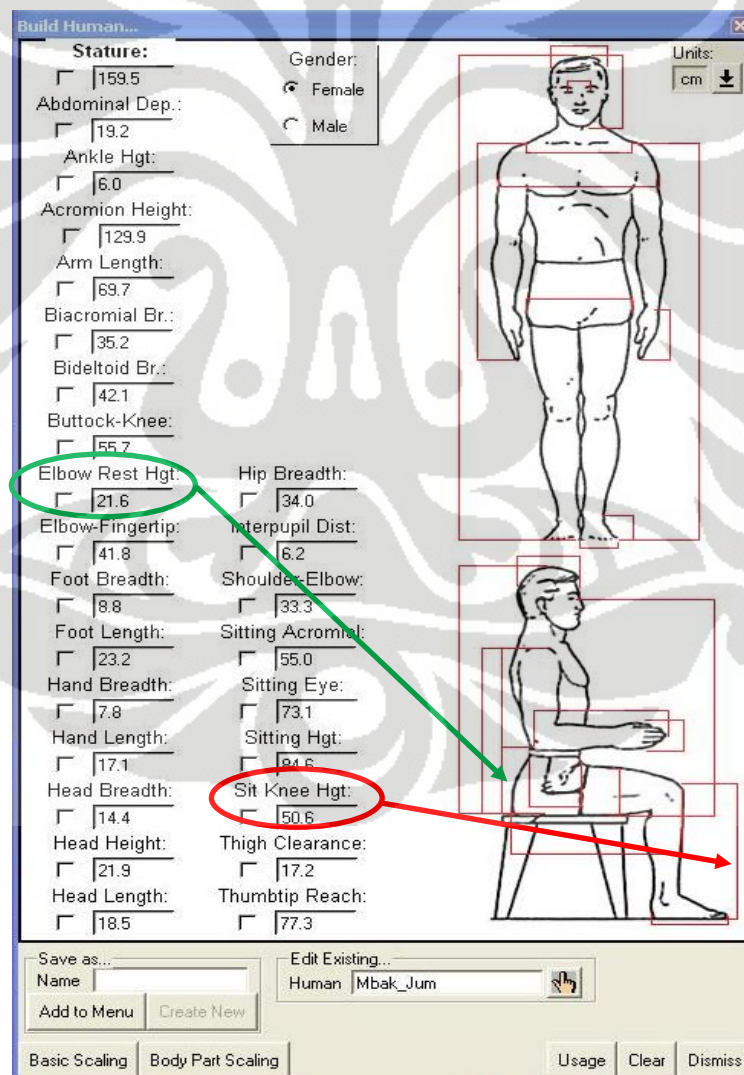
| PERHITUNGAN STANDING FOOT-ELBOW (cm) | | |
|---|--|---------------------|
| sitting height (SH) | sitting acromial (SA) | shoulder-elbow (SE) |
| 89.6 | 59.7 | 36.8 |
| head-elbow (HE) | (SH-SA)+SE | |
| | $(89.6-59.7)+36.8 = 66.7$ | |
| foot-elbow (FE) | height-HE | |
| | $172.0-66.7 = 105.3$ | |
| KONFIGURASI (<i>inches below elbow</i>) | | |
| 4 inchi | $105.3-(4 \times 2.5) = \mathbf{95.3}$ | |
| 5 inchi | $105.3-(5 \times 2.5) = \mathbf{92.8}$ | |
| 6 inchi | $105.3-(6 \times 2.5) = \mathbf{90.3}$ | |

Sedangkan untuk operasi mesin press yang pekerjaannya dilakukan dalam posisi duduk, konfigurasi dilakukan terhadap tinggi meja dan kursi kerja. Tinggi meja untuk konfigurasi dilakukan dengan menambahkan 5cm, 10 cm dan 15cm di

atas siku ketika dalam posisi duduk. Sama seperti mesin potong otomatis dan mesin potong tangan, perhitungan tinggi siku dilakukan berdasarkan ukuran antropometri yang dikeluarkan oleh *software* Jack. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi siku dalam posisi kerja duduk adalah:

$$\text{Elbow Height} = \text{Sit Knee Height} + (\text{Elbow Rest Height}/2) \quad (3.2)$$

Karena tinggi meja diubah, maka tinggi kursi juga mengalami penyesuaian terhadap perubahan tinggi meja. Perhitungan tinggi kursi didapatkan dengan mengurangi tinggi meja dengan ukuran *elbow rest height*. Seluruh perhitungan dilakukan dalam *centimeter*.

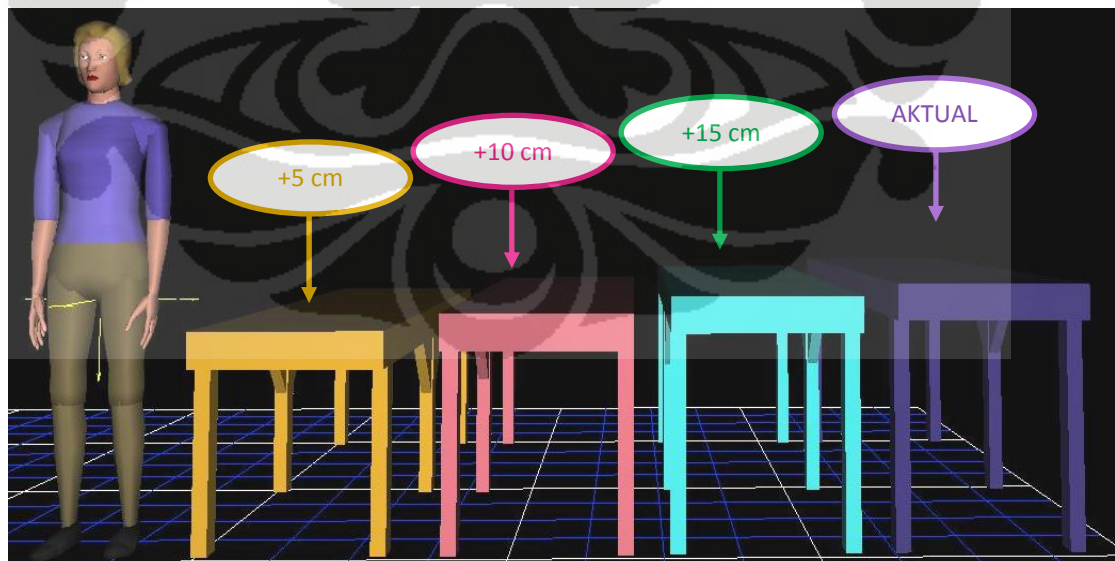


Gambar 3. 52 Ukuran Antropometri Operator Mesin Press

Tabel 3.10. Perhitungan *Sitting Foot-Elbow Height*, Tinggi Meja dan Kursi untuk Posisi Duduk

| PERHITUNGAN SITTING FOOT-ELBOW (cm) | |
|---|-------------------------|
| Sit Knee Height (SKH) | Elbow Rest Height (ERH) |
| 50.6 | 21.6 |
| foot-elbow (FE) | SKH+(ERH/2) |
| | 50.6+(21.6/2) = 61.4 |
| KONFIGURASI MEJA (<i>above elbow</i>) | |
| 5 cm | 61.4+5 = 66.4 |
| 10 cm | 61.4+10 = 71.4 |
| 15 cm | 61.4+15 = 76.4 |
| KONFIGURASI KURSI | |
| 5 cm | 66.4-21.6 = 44.8 |
| 10 cm | 71.4-21.6 = 49.8 |
| 15 cm | 76.4-21.6 = 54.8 |

Ketinggian meja kerja mesin press pada kondisi aktual adalah 80 cm, sedangkan setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan tinggi meja 66.4 cm dengan tinggi kursi 44.8 cm untuk konfigurasi 5 cm di atas tinggi siku, tinggi meja 71.4 cm dengan tinggi kursi 49.8 cm untuk konfigurasi 10 cm inci di atas tinggi siku, dan tinggi meja 76.4 cm dengan tinggi kursi 54.8 cm untuk konfigurasi 15 cm di atas tinggi siku.



Gambar 3. 53 Perbandingan Tinggi Meja Aktual Mesin Press dengan Konfigurasi dalam *Software Jack*

Setelah dilakukan perhitungan tinggi meja untuk setiap konfigurasi, maka perbandingan perubahan tinggi meja aktual dan tinggi meja konfigurasi dapat dilihat pada tabel 3.10.

Tabel 3.11. *Research Configuration Summary*

| No. | Stasiun Kerja | Jenis Posisi Kerja | Tinggi Meja Aktual (cm) | Konfigurasi Tinggi Meja | Elbow Height (cm) | Tinggi Meja Konfigurasi (cm) | Selisih (cm) |
|-----|-----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------|--------------|
| 1 | mesin potong otomatis | berdiri | 84 | 10.16 cm below elbow height | 96.6 | 86.44 | 2.44 |
| 2 | | | 84 | 12.7 cm below elbow height | 96.6 | 83.9 | (0.10) |
| 3 | | | 84 | 15.24 cm below elbow height | 96.6 | 81.36 | (2.64) |
| 4 | mesin potong tangan | berdiri | 84 | 10.16 cm below elbow height | 105.3 | 94.34 | 10.34 |
| 5 | | | 84 | 12.7 cm below elbow height | 105.3 | 91.8 | 7.80 |
| 6 | | | 84 | 15.24 cm below elbow height | 105.3 | 89.26 | 5.26 |
| 7 | mesin press | duduk | 80 | 5 cm above elbow height | 61.4 | 66.4 | (13.60) |
| 8 | | | 80 | 10 cm above elbow height | 61.4 | 71.4 | (8.60) |
| 9 | | | 80 | 15 cm above elbow height | 61.4 | 76.4 | (3.60) |

3.4.2 Perhitungan PEI

Setelah didapat skor dari tiap *analysis tool* untuk setiap konfigurasi, langkah selanjutnya adalah perhitungan PEI sehingga dapat diketahui kualitas dari setiap postur. Contoh perhitungan PEI pada bab ini dilakukan pada hasil analisis kondisi aktual mesin press. Proses perhitungan PEI dimulai dengan analisa SSP dengan memastikan bahwa nilai kapabilitas untuk setiap bagian tubuh seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.7 adalah sama atau lebih dari 90%. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa kegiatan kerja suatu operasi dapat dikerjakan minimal 90% dari seluruh pekerja. Dari tabel 3.7 diketahui bahwa persentase kapabilitas setiap bagian tubuh mencapai 100% sehingga operasi ini memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tahap perhitungan PEI selanjutnya.

Perhitungan PEI selanjutnya dilakukan sesuai persamaan (2.1) dengan memperhatikan skor LBA, OWAS dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. Hasil perhitungan PEI operasi mesin press untuk kondisi aktual ditunjukkan pada tabel 3.11. Perhitungan seperti ini akan dilakukan untuk setiap kondisi aktual dan konfigurasi seluruh mesin. Kemudian hasilnya akan dibandingkan antara kondisi aktual dengan konfigurasi setiap mesin untuk menentukan ketinggian meja yang paling ideal untuk postur pekerja divisi *cutting* industri garmen.

Tabel 3.12. Contoh Perhitungan PEI untuk Kondisi Aktual Operasi Kerja Mesin Press

| SKOR | LBA | OWAS | RULA |
|--|------|------|------|
| operator 1 | 722 | 1 | 7 |
| operator 2 | 633 | 2 | 5 |
| PERHITUNGAN PEI ((LBA/3400)+(OWAS/4)+(1.42X(RULA/7))) | | | |
| operator 1 | 1.88 | | |
| operator 2 | 1.70 | | |



BAB 4

ANALISIS

Dalam bab keempat ini akan dibahas mengenai analisis hasil pengolahan data yang didapatkan dari *software* Jack. Hasil output *software* Jack yang berupa skor SSP, LBA, OWAS dan RULA kemudian akan dihitung dengan PEI. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas tiga bagian yaitu analisis kondisi aktual model divisi *cutting* industri garmen, analisis konfigurasi, serta analisis perbandingan model aktual dengan konfigurasi ideal.

Model aktual yang dianalisis terdiri atas tiga model, yaitu model operasi mesin potong otomatis, mesin potong tangan dan mesin press. Operasi mesin potong otomatis dan mesin potong tangan dilakukan dalam posisi kerja berdiri, sedangkan operasi mesin press dilakukan dalam posisi kerja duduk. Simulasi kondisi aktual dilakukan dengan menggunakan model manusia digital pada persentil 50%.

Untuk analisis konfigurasi, terdapat tiga konfigurasi untuk masing-masing mesin. Konfigurasi mesin potong otomatis dan mesin potong tangan dilakukan dengan menurunkan tinggi meja 4 inci, 5 inci, dan 6 inci dari tinggi siku. Konfigurasi mesin press dilakukan dengan menaikkan tinggi meja 5 cm, 10 cm dan 15 cm dari tinggi siku. Pada setiap bagian analisis untuk suatu mesin akan ditentukan konfigurasi yang paling ergonomis yaitu konfigurasi dengan nilai PEI minimum. Selanjutnya untuk bagian analisis terakhir akan dibahas perbandingan antara nilai PEI kondisi aktual dengan nilai PEI konfigurasi yang paling ergonomis dari setiap operasi kerja.

4.1 ANALISIS KONDISI AKTUAL

Analisis kondisi aktual dilakukan untuk melihat kondisi ergonomi setiap operasi kerja sebelum dilakukan konfigurasi terhadap variabel tinggi meja dan kursi kerja. Analisis kondisi aktual ini akan menjadi *base* untuk melihat seberapa jauh perbaikan ergonomi yang telah dilakukan dengan perubahan variabel tinggi meja dan kursi kerja pada analisis selanjutnya. Untuk memudahkan dalam menginterpretasikan hasil, maka output dari *tools* jack ditampilkan dalam bentuk tabel rekapan.

4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Model Operasi Mesin Potong Otomatis

Simulasi operasi kerja mesin potong otomatis dilakukan dengan menggunakan 2 model manusia digital berjenis kelamin wanita pada persentil 50% data Persatuan Ergonomi Indoensia dan posisi kerja berdiri. Model manusia digital dalam simulasi kondisi aktual mesin potong otomatis ini berperan sebagai operator 1 dan operator 2. Tahap awal analisis dimulai dengan analisis SSP yaitu melihat apakah persen kapabilitas model operator 1 dan 2 sudah sama dengan atau lebih besar dari 90 persen. Analisis SSP ini dilakukan untuk memastikan jenis pekerjaan tersebut dapat dikerjakan oleh sebagian besar populasi pekerja sehingga analisis ergonomi dapat dilakukan untuk tahap selanjutnya.

Hasil SSP untuk model operator 1 dan operator 2 mesin potong otomatis yang dikeluarkan oleh *software* Jack menunjukkan bahwa mayoritas dari pekerja wanita Indonesia pada persentil 50% memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan dengan mesin potong otomatis. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100 persen baik untuk model operator 1 ataupun model operator 2. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja mesin press dapat dianalisa dengan *tool* LBA, OWAS, dan RULA.

Tabel 4. 1. *Capability Summary Chart* Model Operator 1 Mesin Potong Otomatis

| | | Left | | | | | Right | | | | |
|----------|-----------------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|
| | | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) |
| | Elbow | -0 | -- | 34 | 9 | 100 | -0 | -- | 35 | 9 | 100 |
| Shoulder | Abduc/Adduc | -1 | -- | 45 | 12 | 100 | -7 | ABDUCT | 37 | 10 | 100 |
| | Rotation Bk/Fd | -0 | -- | 46 | 16 | 100 | -2 | FORWARD | 46 | 16 | 100 |
| | Humeral Rot | -0 | -- | 19 | 5 | 100 | -1 | LATERAL | 13 | 4 | 100 |
| Trunk | Flex/Ext | -9 | EXTEN | 143 | 49 | 100 | | | | | |
| | Lateral Bending | 6 | LEFT | 83 | 20 | 100 | | | | | |
| | Rotation | 0 | -- | 51 | 15 | 100 | | | | | |
| | Hip | -1 | EXTEN | 104 | 39 | 100 | -2 | EXTEN | 104 | 39 | 100 |
| | Knee | -2 | FLEXN | 84 | 27 | 100 | -3 | FLEXN | 84 | 27 | 100 |
| | Ankle | -17 | EXTEN | 90 | 25 | 100 | -18 | EXTEN | 90 | 25 | 100 |

Tabel 4. 2. *Capability Summary Chart Model Operator 2 Mesin Potong Otomatis*

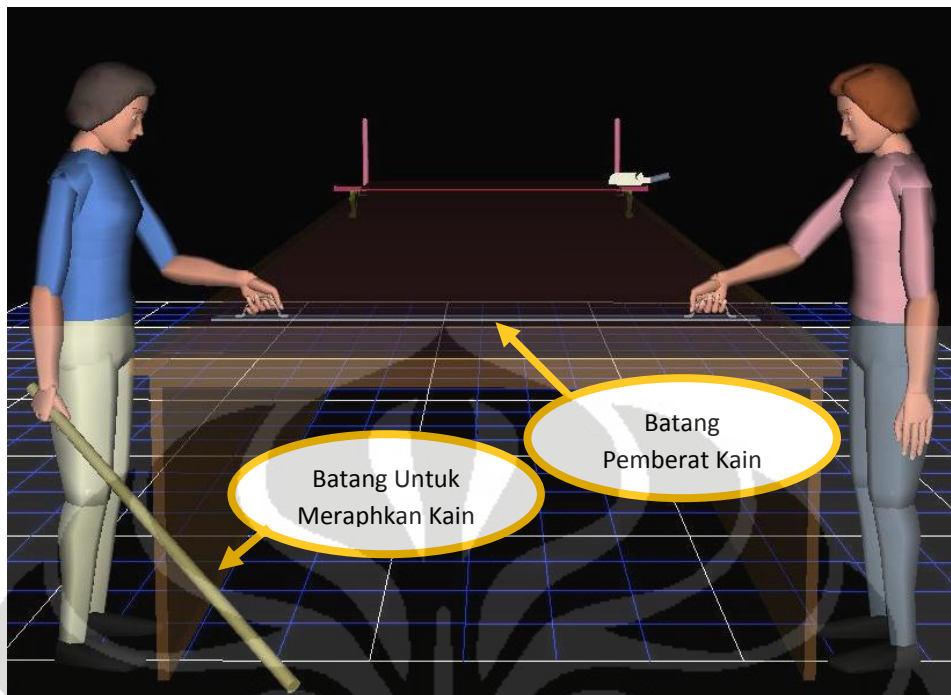
| | | Left | | | | | Right | | | | |
|----------|-----------------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|
| | | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) |
| Elbow | | -0 | -- | 35 | 9 | 100 | 1 | -- | 17 | 5 | 100 |
| Shoulder | Abduc/Adduc | -1 | -- | 44 | 11 | 100 | -4 | ABDUCT | 47 | 12 | 100 |
| | Rotation Bk/Fd | -0 | -- | 45 | 15 | 100 | -1 | -- | 45 | 15 | 100 |
| | Humeral Rot | -0 | -- | 17 | 5 | 100 | -0 | -- | 22 | 6 | 100 |
| Trunk | Flex/Ext | 0 | -- | 59 | 23 | 99 | | | | | |
| | Lateral Bending | 3 | LEFT | 83 | 20 | 100 | | | | | |
| | Rotation | 0 | -- | 51 | 15 | 100 | | | | | |
| Hip | | 0 | -- | 144 | 49 | 100 | 1 | -- | 144 | 49 | 100 |
| Knee | | -1 | -- | 84 | 27 | 100 | -0 | -- | 84 | 27 | 100 |
| Ankle | | -13 | EXTEN | 90 | 25 | 100 | -18 | EXTEN | 90 | 25 | 100 |

Setelah dilakukan analisa SSP, animasi gerakan operasi kerja mesin potong otomatis dijalankan untuk mencari titik ekstrim LBA, OWAS, dan RULA.

Tabel 4. 3. Rekapitulasi Skor Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Otomatis

| SKOR | LBA | OWAS | RULA |
|------------|-----|------|------|
| operator 1 | 473 | 1 | 4 |
| operator 2 | 451 | 1 | 4 |

Titik ekstrim postur kerja model operator 1 dan operator 2 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekanan kompresi sebesar 473 dan 451 Newton. Tekanan tersebut terjadi akibat model manusia digital sedikit membungkukkan tubuhnya ke arah depan (*flexion*). Badan model operator yang sedikit bungkuk terjadi akibat kedua model operator mengeluarkan usaha untuk mengangkat batang pemberat kain. Badan model operator yang membungkuk itu juga menyebabkan terjadinya momen pada L4-L5 spinal tulang belakang searah sumbu x. Namun tekanan kompresi yang terjadi masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Tekanan kompresi di bawah 3400 N menunjukkan rendahnya risiko gangguan pada tulang belakang pekerja.



Gambar 4. 1 Postur Tubuh Titik Ekstrim LBA Model Operator Mesin Potong Otomatis

Software Jack menghasilkan nilai 1 baik untuk skor OWAS model operator 1 maupun operator 2 operasi kerja mesin potong otomatis. Detail skor OWAS untuk kedua model operator menghasilkan kode 1-1-2-1 yang dapat digunakan untuk menganalisa bagian batang tubuh, tangan, tubuh bawah, serta kepala dan leher. Detail skor OWAS ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh model operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 yaitu posisi netral. Bagian batang tubuh model operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori ini karena walaupun terjadi momen di L4-L5 spinal tulang belakang, namun translasi yang terjadi belum termasuk ekstrim untuk kategori OWAS.
2. Bagian tangan model operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model operator masih berada di bawah tinggi siku
3. Bagian tubuh bawah model operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 2 karena persebaran berat badan model operator ditopang oleh kedua kaki dan lutut kedua model operator tidak bengkok.
4. Beban yang diterima oleh postur tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg. Model operator 1 hanya mengangkat beban berupa batang pemberat kain yang beratnya hanya 2.5 kg.

Sedangkan model operator 2 membawa batang untuk merapihkan kain yang terbuat dari karton dengan berat kurang dari 0.5 kg dan juga mengangkat pemberat kain, sehingga total beban yang sempat diangkat model operator 2 adalah kurang dari 3 kg.

Hasil evaluasi akhir OWAS untuk model aktual mesin potong otomatis ini bernilai 1, menunjukkan bahwa, secara keseluruhan, postur kerja masih netral dan dapat diterima sistem muskuloskeletal manusia.

Setelah melakukan analisis OWAS maka dilanjutkan dengan analisis skor RULA. RULA akan menghasilkan analisis yang lebih detail tentang tubuh bagian atas model manusia digital yang disimulasikan. Analisis RULA dibedakan menjadi penilaian untuk kelompok tubuh A dan B.

Tabel 4. 4. Skor RULA Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Otomatis

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

Skor setiap grup untuk kedua model operator menghasilkan nilai yang sama. Jika dilihat dari perbandingannya, maka kelompok tubuh A lebih banyak berkontribusi terhadap total skor. Dilihat dari postur terjadinya titik ekstrim, kelompok tubuh B lebih sedikit berkontribusi karena postur kelompok tubuh B masih termasuk dalam kategori netral. Secara lebih detail, dari skor RULA dapat dijelaskan bahwa:

- lengan atas

Hasil evaluasi lengan bagian atas operator 1 bernilai 3, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90°. Sedangkan untuk operator 2 nilai RULA untuk lengan atas adalah 4 berarti sudut yang dibentuk melebihi 90 derajat sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan.

- lengan bawah

Skor untuk lengan bawah kedua operator bernilai 3. Postur lengan bawah ini masih berada dalam batasan ergonomis dan memiliki tingkat resiko cedera rendah.

- pergelangan tangan dan perputaran pergelangan tangan

Nilai RULA untuk pergelangan tangan kedua operator adalah 3, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan flexion atau extension sebesar 15 derajat atau lebih. Nilai RULA 2 untuk perputaran pergelangan tangan berarti bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan operator 1. Sedangkan skor RULA perputaran pergelangan tangan operator 2 adalah 1 yang berarti bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran.

- leher

Nilai RULA untuk leher adalah 2 yang berarti bahwa leher menunduk dengan derajat sekitar 10-20.

- batang tubuh

Nilai RULA untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti bahwa model operator berada dalam posisi berdiri dan persebaran berat tubuh ditopang oleh kedua kaki dan tersedianya ruang yang cukup jika model operator ingin berganti posisi.

Secara Keseluruhan, kondisi ini relatif cukup ergonomis karena posisi badan yang tidak telalu membungkuk dan penggunaan otot yang normal. Meskipun demikian, risiko yang terjadi harus diinvestigasi lebih lanjut dan perubahan mungkin saja dibutuhkan.

Setelah dilakukan analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA maka dapat dihitung nilai PEI dengan menggunakan persamaan 2.1 seperti yang tertulis pada bab 2. Nilai PEI model operator 1 dan 2 mesin potong otomatis untuk kondisi aktual adalah 1.2005 dan 1.1941.

4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Model Operasi Mesin Potong Tangan

Simulasi operasi kerja mesin potong tangan dilakukan dengan menggunakan 1 model manusia digital berjenis kelamin pria pada persentil 95% data Persatuan Ergonomi Indonesia dan posisi kerja berdiri. Hasil SSP untuk

model operator mesin potong tangan seperti menunjukkan bahwa mayoritas dari pekerja pria Indonesia pada persentil 95% memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan dengan mesin potong tangan.

Tabel 4. 5. *Capability Summary Chart* Model Operator Mesin Potong Tangan

| | | Left | | | | | Right | | | | |
|----------|-----------------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|
| | | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) |
| Elbow | | -2 | FLEXN | 68 | 17 | 100 | 0 | -- | 28 | 6 | 100 |
| Shoulder | Abduc/Adduc | -2 | ABDUCT | 70 | 17 | 100 | -9 | ABDUCT | 64 | 16 | 100 |
| | Rotation Bk/Fd | 2 | BACKWARD | 76 | 22 | 100 | -2 | FORWARD | 89 | 24 | 100 |
| | Humeral Rot | -1 | -- | 35 | 8 | 100 | -1 | LATERAL | 36 | 8 | 100 |
| Trunk | Flex/Ext | -79 | EXTEN | 283 | 89 | 99 | | | | | |
| | Lateral Bending | -7 | RIGHT | 418 | 90 | 100 | | | | | |
| | Rotation | -1 | -- | 113 | 30 | 100 | | | | | |
| Hip | | -37 | EXTEN | 199 | 80 | 98 | -9 | EXTEN | 198 | 79 | 99 |
| Knee | | -23 | FLEXN | 141 | 42 | 100 | -12 | FLEXN | 141 | 41 | 100 |
| Ankle | | -31 | EXTEN | 148 | 49 | 99 | -26 | EXTEN | 155 | 51 | 99 |

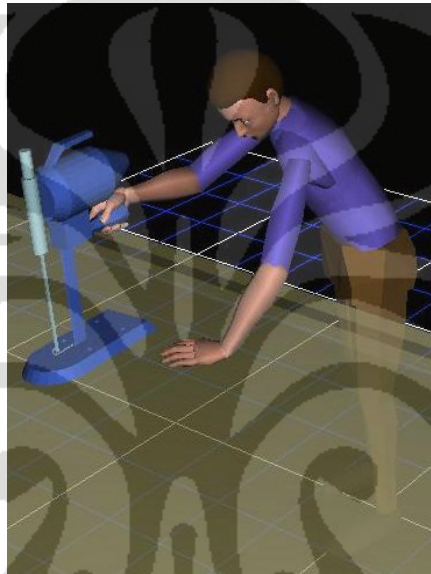
Setelah dilakukan analisa SSP, animasi gerakan operasi kerja mesin potong tangan dijalankan untuk mencari titik ekstrim LBA, OWAS, dan RULA.



Gambar 4. 2 Skor Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Tangan

Titik ekstrim postur kerja model operator mesin potong tangan pada analisis LBA menghasilkan nilai tekanan kompresi (*compression force*) sebesar 1803 Newton. Tekanan tersebut terjadi akibat model operator memberikan gaya tekan (*compression*) dan gaya dorong (*shear force*). Gaya tekan terjadi karena model operator menopang tubuh bagian kiri dengan menekan tangan kirinya ke meja. Sedangkan gaya dorong terjadi ketika model operator memberikan gaya pada mesin potong tangan sehingga mesin bergerak sesuai arah gaya yang diberikan. Ketika bekerja dengan mesin potong tangan badan model operator menjadi bungkuk akibat tinggi meja yang terlalu pendek sehingga permukaan

kerja lebih rendah dari bagian pinggang model operator mesin potong tangan. Badan model operator yang membungkuk dan condong memutar ke kanan itu juga menyebabkan terjadinya momen pada L4-L5 spinal tulang belakang sehingga terjadi translasi searah sumbu x dan z. Namun akumulasi tekanan kompresi yang terjadi masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*.



Gambar 4. 3 Postur Titik Ekstrem Model Operator Mesin Potong Tangan

Software Jack menghasilkan nilai 2 untuk skor OWAS model operator mesin potong tangan. Detail skor OWAS untuk kondisi aktual mesin potong tangan menghasilkan kode 4-1-2-1. Detail skor OWAS ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh model operator termasuk dalam kategori 4 yaitu terjadi kombinasi antara posisi membungkuk ke depan (*flexion*), penekukan lateral (*lateral bending*), dan posisi memutar tubuh (*twist*). Kategori ini merupakan kategori yang paling tidak ergonomis untuk posisi batang tubuh pada analisis OWAS.
2. Bagian tangan model operator termasuk dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model operator masih berada di bawah tinggi siku
3. Bagian tubuh bawah model operator termasuk dalam kategori 2 karena persebaran berat badan model operator ditopang oleh kedua kaki dan lutut kedua model operator tidak bengkok.

4. Beban yang diterima oleh postur tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg.

Hasil evaluasi akhir OWAS untuk kondisi aktual mesin potong tangan bernilai 2, menunjukkan 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.

Setelah melakukan analisis OWAS maka dilanjutkan dengan analisis skor RULA.

Tabel 4. 6. Skor RULA Kondisi Aktual Model Operator Mesin Potong Tangan

| SCORE | Body Group A | | | | Body Group B | |
|--------------|--------------|-----------|-------|-------------|--------------|-------|
| | Upper Arm | Lower Arm | Wrist | Wrist Twist | Neck | Trunk |
| operator 1 | 5 | 3 | 2 | 2 | 6 | 4 |
| group score | 7 | | | | 8 | |
| TOTAL | 7 | | | | | |

Secara lebih detail, dari skor RULA dapat dijelaskan bahwa:

- lengan atas
Hasil evaluasi lengan bagian atas bernilai 5, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut lebih dari 90° dan bahu model operator juga terangkat sehingga lebih berisiko menyebabkan kelelahan.
- lengan bawah
Skor untuk lengan bawah bernilai 3. Postur lengan bawah ini masih berada dalam batasan ergonomis dan memiliki tingkat resiko cedera rendah.
- pergelangan tangan dan perputaran pergelangan tangan
Nilai RULA untuk pergelangan tangan adalah 2, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan flexion atau extension sebesar 0-15 derajat atau lebih. Nilai RULA 2 untuk perputaran pergelangan tangan berarti bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan.
- leher

Nilai RULA untuk leher adalah 6 yang berarti bahwa leher mengalami *extension* karena menunduk dan juga gerakan memutar (*twist*) ke arah kiri. Nilai 6 untuk leher ini sangat berisiko terhadap tubuh bagian atas model operator.

- batang tubuh

Nilai RULA untuk batang tubuh adalah 4 yang berarti bahwa model operator membungkuk lebih dari 60 derajat dan juga mengalami gerakan memutar (*twist*) ke arah kiri. Nilai 4 untuk batang tubuh ini sangat berisiko terhadap tubuh bagian atas model operator.

Jika dilihat dari perbandingannya, maka kelompok tubuh B lebih banyak berkontribusi terhadap total skor RULA operasi mesin potong tangan. Pada saat titik ekstrim terjadi, tubuh bagian atas model operator mengalami kombinasi gerakan membungkuk dan memutar yang menyebabkan leher dan punggung mengalami postur yang tidak ergonomis. Sedangkan untuk kelompok tubuh A, lengan bagian atas berkontribusi besar terhadap skor kelompok tubuh A karena lengan bagian atas terutama lengan kanan mengalami fleksi lebih dari 90 derajat. Jika ditinjau dari Skor RULA, operasi kerja mesin potong tangan yang mencapai skor maksimum ini berarti postur kerja operator sangatlah tidak ergonomis sehingga perlu dilakukan investigasi dan perbaikan secepatnya.

Setelah dilakukan analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA maka dapat dihitung nilai PEI dengan menggunakan persamaan 2.1 seperti yang tertulis pada bab 2. Nilai PEI model operator mesin potong tangan untuk kondisi aktual adalah 2.4503.

4.1.3 Analisis Kondisi Aktual Model Operasi Mesin Press

Simulasi operasi kerja mesin press dilakukan dengan menggunakan 2 model manusia digital berjenis kelamin wanita pada persentil 50% data Persatuan Ergonomi Indoensia dan posisi kerja duduk.

Tabel 4. 7. *Capability Summary Chart Model Operator 1 Mesin Press*

| | | 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 | 29 | 8 | 100 | -4 | ABDUCT | 33 | 9 | 100 |
| | Rotation Bk/Fd | -0 | -- | 39 | 13 | 100 | -1 | -- | 43 | 15 | 100 |
| | Humeral Rot | -1 | LATERAL | 11 | 3 | 100 | -1 | LATERAL | 21 | 5 | 100 |
| Trunk | Flex/Ext | -19 | EXTEN | 234 | 81 | 100 | | | | | |
| | Lateral Bending | -5 | RIGHT | 165 | 38 | 100 | | | | | |
| | Rotation | 0 | -- | 56 | 17 | 100 | | | | | |
| Hip | | -0 | -- | 111 | 42 | 100 | -0 | -- | 111 | 42 | 100 |
| Knee | | 0 | -- | 114 | 40 | 100 | 0 | -- | 114 | 40 | 100 |
| Ankle | | 0 | -- | 82 | 23 | 100 | 0 | -- | 84 | 23 | 100 |

Tabel 4. 8. *Capability Summary Chart Model Operator 2 Mesin Press*

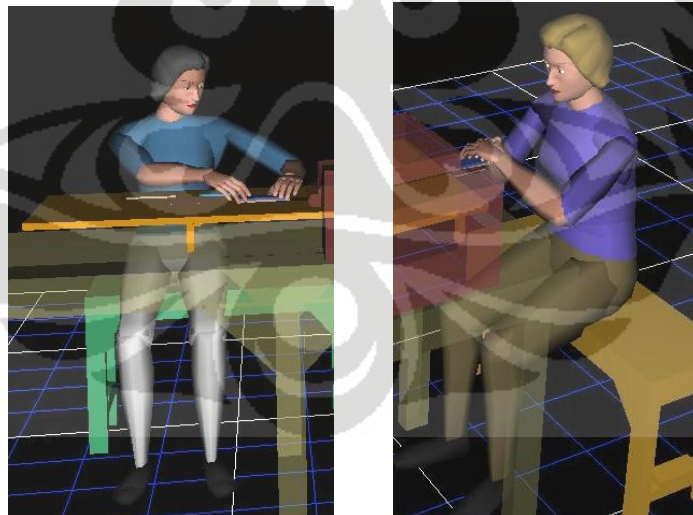
| | | Left | | | | | Right | | | | |
|----------|-----------------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|
| | | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) |
| Elbow | | -1 | FLEXN | 36 | 10 | 100 | -1 | -- | 37 | 10 | 100 |
| Shoulder | Abduc/Adduc | -2 | ABDUCT | 32 | 8 | 100 | -2 | ABDUCT | 32 | 8 | 100 |
| | Rotation Bk/Fd | -0 | -- | 44 | 15 | 100 | -0 | -- | 45 | 15 | 100 |
| | Humeral Rot | -0 | -- | 16 | 4 | 100 | -0 | -- | 16 | 4 | 100 |
| Trunk | Flex/Ext | -17 | EXTEN | 253 | 87 | 100 | | | | | |
| | Lateral Bending | 3 | LEFT | 197 | 48 | 100 | | | | | |
| | Rotation | -0 | -- | 58 | 18 | 100 | | | | | |
| Hip | | 0 | -- | 128 | 43 | 100 | -0 | -- | 115 | 43 | 100 |
| Knee | | 0 | -- | 112 | 39 | 100 | 0 | -- | 113 | 39 | 100 |
| Ankle | | 0 | -- | 83 | 23 | 100 | 0 | -- | 83 | 23 | 100 |

Hasil SSP untuk model operator 1 dan 2 mesin press yang dikeluarkan oleh *software* Jack menunjukkan bahwa mayoritas dari pekerja wanita Indonesia pada persentil 50% memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan dengan mesin press. Setelah dilakukan analisa SSP, animasi gerakan operasi kerja mesin press dijalankan untuk mencari titik ekstrim LBA, OWAS, dan RULA.

Tabel 4. 9. Rekapitulasi Skor Kondisi Aktual Model Operator Mesin Press

| SKOR | LBA | OWAS | RULA |
|------------|-----|------|------|
| operator 1 | 722 | 1 | 7 |
| operator 2 | 633 | 2 | 5 |

Titik ekstrim postur kerja model operator 1 dan 2 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekanan kompresi sebesar 722 dan 633 Newton. Tekanan tersebut terjadi akibat model operator memberikan gaya tekan (*compression*) dan gaya dorong (*shear force*). Gaya dorong terjadi ketika model operator memberikan gaya pada potongan kain sehingga potongan kain bergerak sesuai arah gaya yang diberikan. Tentu saja *shear force* yang diberikan model operator mesin press pada potongan kain jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan *shear force* yang diberikan model operator mesin potong tangan. Pekerjaan yang dilakukan dengan posisi duduk ini juga menyebabkan tubuh bagian bawah menjadi lebih statis dibandingkan ketika bekerja dalam posisi berdiri. Tubuh bagian bawah yang statis menyebabkan tubuh bagian atas sering melakukan gerakan memutar (*twist*). Namun akumulasi tekanan kompresi yang terjadi masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*.

**Gambar 4. 4** Postur Titik Ekstrim LBA Model Operator Mesin Press

Untuk analisa skor OWAS model operator mesin press, *Software Jack* menghasilkan 2 nilai berbeda yaitu nilai 1 untuk model operator 1 dan nilai 2 untuk model operator 2. Detail skor OWAS untuk model operator 1 adalah 1-1-1-

1 sedangkan untuk model operator 2 menghasilkan kode 2-1-1-1. Detail skor OWAS ini menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh model operator 1 termasuk dalam kategori 1 yaitu posisi netral. Sedangkan batang tubuh model operator 2 termasuk dalam kategori 2 yang berarti bahwa batang tubuh model operator 2 berada dalam posisi bungkuk. Hal ini dapat terjadi karena pekerjaan model operator 2 yang lebih statis, model operator 2 hanya bertugas untuk duduk menunggu hasil kain yang sudah di-press kemudian merapihkannya. Karena hanya duduk menunggu, punggung model operator 2 condong untuk membungkuk.
2. Bagian tangan model operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model operator masih berada di bawah tinggi siku
3. Bagian tubuh bawah model operator 1 dan 2 termasuk dalam kategori 1 karena pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk.
4. Beban yang diterima oleh postur tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg.

Hasil evaluasi akhir OWAS untuk model operator 1 mesin press ini bernilai 1, menunjukkan bahwa, secara keseluruhan, postur kerja masih netral dan dapat diterima sistem muskuloskeletal manusia. Sedangkan hasil evaluasi akhir OWAS untuk model operator 2 mesin press bernilai 2, menunjukkan 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. Setelah melakukan analisis OWAS maka dilanjutkan dengan analisis skor RULA.

Tabel 4. 10. Skor RULA Kondisi Aktual Model Operator Mesin Press

| SCORE | Body Group A | | | | Body Group B | |
|--------------|--------------|-----------|-------|-------------|--------------|-------|
| | Upper Arm | Lower Arm | Wrist | Wrist Twist | Neck | Trunk |
| operator 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 |
| group score | 5 | | | | 6 | |
| TOTAL | 7 | | | | | |
| operator 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| group score | 5 | | | | 4 | |
| TOTAL | 5 | | | | | |

Secara lebih detail, dari skor RULA dapat dijelaskan bahwa:

- lengan atas
 Hasil evaluasi lengan bagian atas untuk operator 1 bernilai 4 berarti sudut yang dibentuk melebihi 90 derajat. Sedangkan untuk operator 2 bernilai 3, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90°.
- lengan bawah
 Skor untuk lengan bawah operator 1 bernilai 2 yang berarti bahwa lengan bawah mengalami flexion lebih dari 100 derajat. Sedangkan untuk operator 2 bernilai 3 yang berarti bahwa lengan bawah operator 2 lebih berisiko mengalami kelelahan dibandingkan operator 1.
- pergelangan tangan dan perputaran pergelangan tangan
 Nilai RULA untuk pergelangan tangan operator 1 adalah 1, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan berada dalam posisi netral. Sedangkan nilai RULA pergelangan tangan operator 2 adalah 2 yang berarti bahwa operator 2 mengalami *flexion* sebesar 0-15 derajat. Nilai RULA 1 untuk perputaran pergelangan tangan berarti bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Sedangkan skor RULA perputaran pergelangan tangan operator 2 adalah 2 yang berarti perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan operator 2.
- leher
 Nilai RULA untuk leher operator 1 adalah 4 yang berarti bahwa leher tidak berada dalam posisi netral, kemungkinan besar leher operator 1 mengalami *flexion* atau *extension*. Sedangkan postur leher operator 2 mendapat nilai RULA sebesar 3 yang berarti bahwa operator 2 juga mengalami *flexion* di bagian leher sebesar lebih dari 20 derajat.
- batang tubuh
 Nilai RULA untuk batang tubuh untuk kedua operator adalah 3 yang berarti bahwa model operator mengalami *flexion* sebesar 20-60 derajat.

Skor RULA model operator 1 lebih tinggi dibandingkan dengan skor RULA model operator 2. Pada model operator 1 kelompok tubuh B lebih berkontribusi terhadap total skor RULA, sedangkan untuk model operator 2 kelompok tubuh A

lebih berpengaruh. Untuk model operator 1, lengan bagian atas dan leher memiliki kontribusi skor RULA yang cukup tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena meja yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan lengan bagian atas model operator 1 harus diangkat lebih tinggi dari batas siku dalam posisi duduk. Hasil skor RULA untuk kedua model operator menunjukkan bahwa investigasi dan perbaikan perlu dilakukan secepatnya.

Setelah dilakukan analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA maka dapat dihitung nilai PEI dengan menggunakan persamaan 2.3 seperti yang tertulis pada bab 2. Nilai PEI operator 1 dan 2 mesin press untuk kondisi aktual adalah 1.8824 dan 1.7005.

4.2 ANALISIS KONFIGURASI

Analisis konfigurasi dilakukan untuk melihat kondisi ergonomi setiap operasi kerja setelah dilakukan konfigurasi terhadap variabel tinggi meja dan kursi kerja. Dalam analisis konfigurasi akan dibandingkan hasil PEI antar konfigurasi sehingga dapat ditentukan konfigurasi optimum untuk satu mesin.

4.2.1 Analisis Konfigurasi Model Operasi Mesin Potong Otomatis

4.2.1.1 Analisis Konfigurasi Model Operator 1 Mesin Potong Otomatis

Langkah-langkah dalam analisis setiap konfigurasi mesin potong otomatis sama dengan langkah-langkah yang dilakukan ketika menganalisis kondisi aktual. Simulasi konfigurasi mesin potong otomatis dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja 4, 5, dan 6 inci di bawah tinggi siku.

| Configuration | SSP | LBA | OWAS | RULA | PEI |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|--------|
| 4 inches below elbow height | 100 | 442 | 1 | 4 | 1.1914 |
| 5 inches below elbow height | 100 | 473 | 1 | 4 | 1.2005 |
| 6 inches below elbow height | 100 | 428 | 1 | 4 | 1.1873 |

Gambar 4. 5 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 1

Dari hasil analisis *output software* Jack untuk 3 konfigurasi yang disimulasikan pada model operator 1 mesin potong otomatis didapatkan nilai LBA yang berbeda, namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan antar konfigurasi. Nilai LBA ketiga konfigurasi mesin potong otomatis masih dapat diterima karena berada jauh di bawah 3400N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Sedangkan untuk nilai OWAS, hasil output software Jack menunjukkan nilai dengan kode OWAS yang sama yaitu 1-1-2-1 untuk ketiga konfigurasi. Kode OWAS 1-1-2-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa batang tubuh berada dalam posisi netral, tangan berada dalam posisi netral, persebaran berat badan ditopang oleh kedua kaki, serta kepala dan leher dalam posisi netral. Skor 1 OWAS secara keseluruhan menunjukkan bahwa postur kerja termasuk dalam kategori normal dan beban yang diterima sistem muskuloskeletal operator masih dapat diterima.

Nilai RULA antar tiap konfigurasi menghasilkan total skor RULA yang sama, namun detail skor untuk kelompok tubuh A dan B ternyata menunjukkan perbedaan.

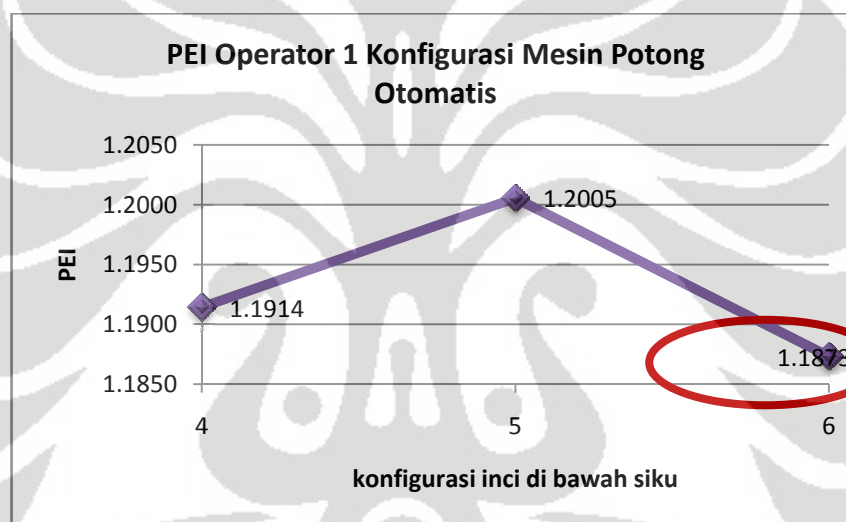
Tabel 4. 11. Rekapitulasi Skor RULA Model Operator 1 Konfigurasi Mesin Potong Otomatis

| SCORE | | 4 inches | 5 inches | 6 inches |
|--------------------|--------------|----------|----------|----------|
| Group A | upper arm | 4 | 3 | 3 |
| | lower arm | 3 | 3 | 3 |
| | wrist | 3 | 3 | 3 |
| | wrist twist | 1 | 2 | 2 |
| | total | 5 | 5 | 5 |
| Group B | neck | 1 | 2 | 1 |
| | trunk | 1 | 1 | 1 |
| | total | 1 | 2 | 1 |
| TOTAL SCORE | | 4 | 4 | 4 |

Setelah menganalisis detail skor RULA, perbedaan yang terjadi ternyata tidak terlalu signifikan. Perbedaan dalam kelompok tubuh A adalah pada bagian *upper arm* dan *wrist twist*. Sedangkan untuk kelompok tubuh B, perbedaan terjadi pada bagian *neck*. Bagian lain, baik dari kelompok tubuh A dan B, mempunyai skor RULA yang sama. Berdasarkan total skor RULA, secara keseluruhan dengan

skor 4 maka operasi kerja mesin potong otomatis masih termasuk kategori dapat diterima, namun jika operasi kerja tersebut dilakukan berulang-ulang atau ditambahkan gaya dan beban melebihi yang sudah ada sekarang maka perlu dilakukan investigasi lebih lanjut untuk menyelidiki apakah perlu dilakukan suatu perbaikan atau tidak.

Dari hasil perhitungan PEI diketahui bahwa konfigurasi perubahan variabel tinggi meja 6 inci di bawah tinggi siku memberikan nilai PEI yang paling minimum untuk model operator 1. Nilai PEI konfigurasi 6 inci di bawah tinggi siku sebesar 1.1873 menunjukkan postur yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai PEI konfigurasi 4 dan 5 inci di bawah tinggi siku.



Gambar 4. 6 Diagram Nilai PEI Model Operator 1 untuk Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Potong Otomatis

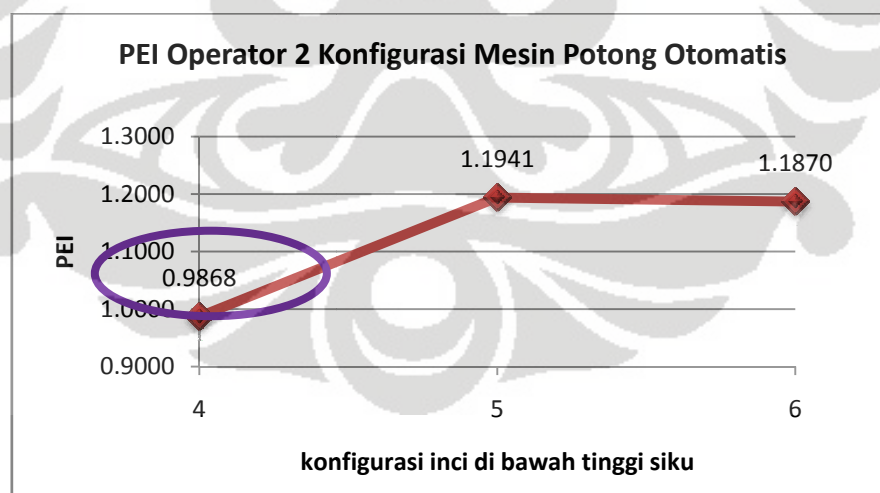
4.2.1.2 Analisis Konfigurasi Model Operator 2 Mesin Potong Otomatis

Hasil analisis konfigurasi pada model operator 2 mesin potong otomatis menunjukkan nilai LBA yang berbeda. Kecenderungan nilai LBA untuk konfigurasi pada model operator 2 mesin potong otomatis menunjukkan hal yang serupa seperti pada model operator 1, yaitu nilai LBA tertinggi diperoleh pada konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku. Persamaan antara model operator 1 dan 2 juga muncul pada skor OWAS, model operator 2 juga memiliki nilai dan detail skor yang sama yaitu 1-1-2-1 pada setiap konfigurasi seperti model operator 1. Kode OWAS 1-1-2-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa batang tubuh

berada dalam posisi netral, tangan berada dalam posisi netral, persebaran berat badan ditopang oleh kedua kaki, serta kepala dan leher dalam posisi netral. Sedangkan untuk skor RULA, konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku memiliki nilai terendah dibandingkan konfigurasi lainnya. Skor RULA model operator 2 untuk konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku menghasilkan skor 3 yang menunjukkan bahwa postur dapat diterima secara ergonomi. Skor RULA yang lebih rendah ini akan sangat mempengaruhi perhitungan PEI.

| Configuration | SSP | LBA | OWAS | RULA | PEI |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|--------|
| 4 inches below elbow height | 100 | 436 | 1 | 3 | 0.9868 |
| 5 inches below elbow height | 99 | 451 | 1 | 4 | 1.1941 |
| 6 inches below elbow height | 100 | 427 | 1 | 4 | 1.1870 |

Gambar 4. 7 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 2



Gambar 4. 8 Diagram Nilai PEI Model Operator 2 untuk Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Potong Otomatis

Secara keseluruhan, untuk model operator 2 mesin potong otomatis, nilai PEI konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku sebesar 0.9868 menunjukkan postur

yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai PEI konfigurasi 5 dan 6 inci di bawah tinggi siku. Berbeda dengan konfigurasi mesin potong otomatis pada model operator 1 yang nilai PEI-nya lebih dipengaruhi oleh skor LBA, nilai PEI model operator 2 ini lebih dipengaruhi oleh skor RULA.

4.2.2 Analisis Konfigurasi Model Operasi Mesin Potong Tangan

Operasi mesin potong tangan dilakukan dalam posisi berdiri seperti pada operasi mesin potong otomatis. Meja kerja yang digunakan pada operasi mesin potong tangan juga sama dengan meja kerja yang digunakan pada operasi mesin potong otomatis. Perbedaan yang terjadi adalah operator mesin potong tangan berjenis kelamin laki-laki sedangkan operasi mesin potong otomatis berjenis kelamin wanita. Perbedaan jenis kelamin ini menyebabkan terjadinya perbedaan tinggi badan sehingga tinggi meja setelah dikonfigurasi menghasilkan ketinggian meja yang berbeda dengan meja kerja operasi mesin potong otomatis.

| Configuration | SSP | LBA | OWAS | RULA | PEI |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|--------|
| 4 inches below elbow height | 99 | 802 | 1 | 4 | 1.2973 |
| 5 inches below elbow height | 99 | 719 | 1 | 4 | 1.2729 |
| 6 inches below elbow height | 99 | 728 | 1 | 4 | 1.2755 |

Gambar 4. 9 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Potong Tangan

Dari hasil analisis *output software* Jack untuk 3 konfigurasi yang disimulasikan pada model operator mesin potong tangan didapatkan nilai LBA yang berbeda dengan nilai LBA terendah pada konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku-kaki yaitu 719N. Semua nilai LBA yang dihasilkan dari setiap konfigurasi berada dalam batas yang dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Sedangkan untuk nilai OWAS, hasil *output software* Jack menunjukkan nilai dengan kode OWAS yang sama yaitu 1-1-2-1 untuk ketiga konfigurasi. Kode OWAS 1-1-2-1 secara

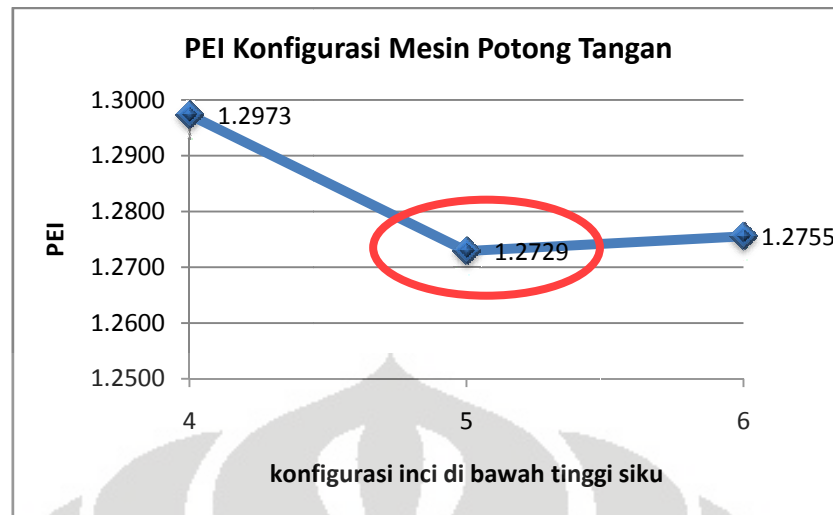
berturut-turut menunjukkan bahwa batang tubuh berada dalam posisi netral, tangan berada dalam posisi netral, persebaran berat badan ditopang oleh kedua kaki, serta kepala dan leher dalam posisi netral.

Nilai RULA antar tiap konfigurasi menghasilkan total skor RULA yang sama, namun detail skor untuk kelompok tubuh A dan B ternyata menunjukkan perbedaan. Perbedaan skor RULA terjadi dalam kelompok tubuh A yaitu pada bagian *upper arm*. Bagian *upper arm* pada konfigurasi 4 dan 5 inci di bawah tinggi siku-kaki menghasilkan skor 4, sedangkan pada konfigurasi 6 inci di bawah tinggi siku-kaki menghasilkan skor 3. Walaupun begitu, perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan karena skor 3 dan 4 dalam RULA masih termasuk dalam satu kategori.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Skor RULA Konfigurasi Mesin Potong Tangan

| SCORE | | 4 inches | 5 inches | 6 inches |
|--------------------|--------------|----------|----------|----------|
| Group A | upper arm | 4 | 4 | 3 |
| | lower arm | 2 | 2 | 3 |
| | wrist | 3 | 3 | 3 |
| | wrist twist | 2 | 2 | 2 |
| | total | 5 | 5 | 5 |
| Group B | neck | 2 | 2 | 2 |
| | trunk | 1 | 1 | 1 |
| | total | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL SCORE | | 4 | 4 | 4 |

Berdasarkan total skor RULA, secara keseluruhan dengan skor 4 maka operasi kerja mesin potong tangan setelah mengalami konfigurasi termasuk kategori dapat diterima, namun jika operasi kerja tersebut dilakukan berulang-ulang atau ditambahkan gaya dan beban melebihi yang sudah ada sekarang maka perlu dilakukan investigasi lebih lanjut untuk menyelidiki apakah perlu dilakukan suatu perbaikan atau tidak.



Gambar 4. 10 Diagram Nilai PEI Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Potong Tangan

Dari hasil perhitungan PEI diketahui bahwa konfigurasi perubahan variabel tinggi meja 5 inci di bawah tinggi siku memberikan nilai PEI yang paling minimum. Nilai PEI minimum yang dihasilkan oleh konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku lebih dipengaruhi oleh skor LBA karena skor OWAS dan RULA dari ketiga konfigurasi relative sama. Nilai PEI konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku sebesar 1.2729 menunjukkan postur yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai PEI konfigurasi 4 dan 6 inci di bawah tinggi siku.

4.2.3 Analisis Konfigurasi Model Operasi Mesin Press

4.2.3.1 Analisis Konfigurasi Model Operator 1 Mesin Press

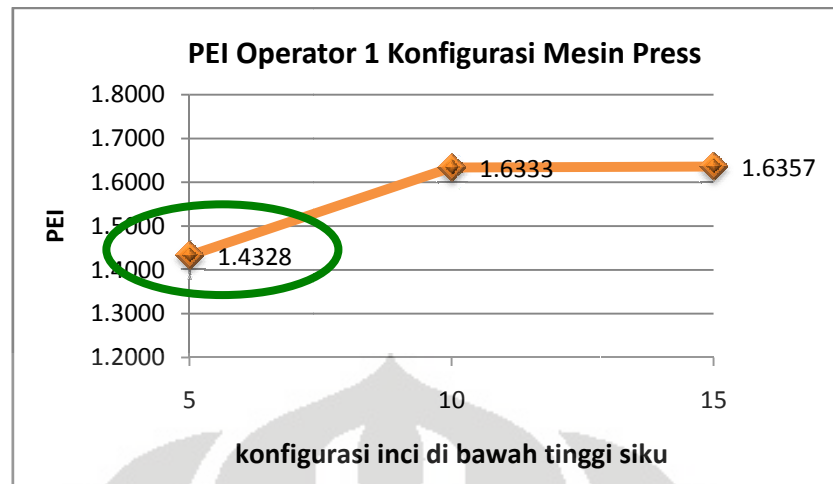
Simulasi konfigurasi mesin press dilakukan pada saat model operator bekerja dalam posisi duduk dengan mengubah variabel tinggi meja sebanyak 5, 10, dan 15 cm di atas tinggi siku. Simulasi konfigurasi mesin press juga melibatkan perubahan variable tinggi kursi kerja, tetapi perubahan tinggi kursi dalam konfigurasi mesin press bukanlah sebagai variabel utama karena perubahannya mengikuti perubahan tinggi meja.

| Configuration | SSP | LBA | OWAS | RULA | PEI |
|---------------------------|-----|-----|------|------|--------|
| +5 cm above elbow height | 100 | 573 | 1 | 5 | 1.4328 |
| +10 cm above elbow height | 100 | 565 | 1 | 6 | 1.6333 |
| +15 cm above elbow height | 98 | 573 | 1 | 6 | 1.6357 |

Gambar 4. 11 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Press untuk Model Operator 1

Dari hasil analisis *output software* Jack untuk 3 konfigurasi yang disimulasikan pada model operator 1 mesin press didapatkan nilai LBA yang berbeda, namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan antar konfigurasi. Sedangkan untuk nilai OWAS, hasil *output software* Jack menunjukkan nilai dengan kode OWAS yang sama yaitu 3-1-1-1 untuk ketiga konfigurasi. Kode OWAS 3-1-1-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa terjadi gerakan memutar (*twist*) pada batang tubuh, tangan berada dalam posisi netral, pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk, serta kepala dan leher dalam posisi netral. RULA konfigurasi 10 cm dan 15 cm di atas tinggi siku-kaki menghasilkan skor yang sama dengan nilai 6, namun konfigurasi 5 cm menghasilkan skor lebih rendah dengan nilai 5.

Dari hasil perhitungan PEI diketahui bahwa PEI untuk konfigurasi 10 cm dan 15 cm menghasilkan nilai yang tidak terlalu jauh berbeda namun lebih tinggi daripada nilai PEI konfigurasi 5 cm. Dengan kata lain, konfigurasi perubahan variabel tinggi meja 5 cm di atas tinggi siku memberikan nilai PEI yang paling minimum. Nilai PEI konfigurasi 5 cm di atas tinggi siku sebesar 1.4328 menunjukkan postur yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai PEI konfigurasi 10 dan 15 cm di atas tinggi siku. Jika dilihat dari kombinasi angka LBA, konfigurasi LBA memiliki nilai LBA yang termasuk tinggi dibandingkan konfigurasi 10 cm dan sama dengan konfigurasi 15 cm. Berbeda dengan konfigurasi mesin potong tangan ataupun konfigurasi mesin potong otomatis pada model operator 1 yang nilai PEI-nya lebih dipengaruhi oleh skor LBA, nilai PEI model operator 1 konfigurasi mesin press ini lebih dipengaruhi oleh skor RULA.



Gambar 4. 12 Diagram Nilai PEI Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Press untuk Model Operator 1

4.2.3.2 Analisis Konfigurasi Operator 2 Mesin Press

Hasil analisis konfigurasi pada model operator 2 mesin potong otomatis menunjukkan nilai LBA yang berbeda dengan nilai LBA terendah dihasilkan oleh konfigurasi 10 cm di atas tinggi siku-kaki. Nilai LBA yang dihasilkan oleh konfigurasi 10 cm di atas tinggi siku ini adalah 430 N, nilai ini termasuk rendah dan berada di bawah *NIOSH Back Compression Action Limit*. Tekanan kompresi di bawah 3400 N menunjukkan rendahnya risiko gangguan pada tulang belakang pekerja.

| Configuration | SSP | LBA | OWAS | RULA | PEI |
|---------------------------|-----|-----|------|------|--------|
| +5 cm above elbow height | 100 | 440 | 1 | 4 | 1.1908 |
| +10 cm above elbow height | 100 | 430 | 1 | 4 | 1.1879 |
| +15 cm above elbow height | 98 | 459 | 1 | 4 | 1.1964 |

Gambar 4. 13 Rekapitulasi Analisis Konfigurasi Mesin Press untuk Model Operator 2

Model operator 2 memiliki nilai dan detail skor OWAS yang sama yaitu 1-1-1-1 pada setiap konfigurasi. Kode OWAS 1-1-1-1 secara berturut-turut menunjukkan bahwa batang tubuh berada dalam posisi netral, tangan berada dalam posisi netral,

operasi kerja dilakukan dalam posisi duduk, serta kepala dan leher dalam posisi netral. Skor 1 OWAS secara keseluruhan menunjukkan bahwa postur kerja termasuk dalam kategori normal dan beban yang diterima sistem muskuloskeletal operator masih dapat diterima.

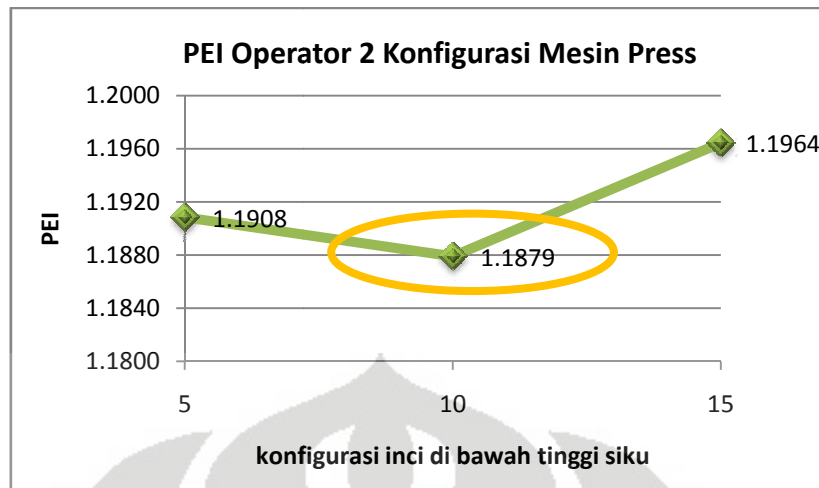
Nilai RULA antar tiap konfigurasi menghasilkan total skor RULA yang sama, namun detail skor untuk kelompok tubuh A dan B ternyata menunjukkan perbedaan.

Tabel 4. 13. Rekapitulasi Skor RULA Model Operator 2 Konfigurasi Mesin Press

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

Setelah menganalisis detail skor RULA, perbedaan yang terjadi ternyata tidak terlalu signifikan, hal ini ditunjukkan dengan hasil skor tiap grup yang akhirnya sama untuk setiap konfigurasi. Berdasarkan total skor RULA, secara keseluruhan dengan skor 4 maka operasi kerja mesin potong otomatis masih termasuk kategori dapat diterima, namun jika operasi kerja tersebut dilakukan berulang-ulang atau ditambahkan gaya dan beban melebihi yang sudah ada sekarang maka perlu dilakukan investigasi lebih lanjut untuk menyelidiki apakah perlu dilakukan suatu perbaikan atau tidak.

Dari hasil perhitungan PEI diketahui bahwa konfigurasi perubahan variabel tinggi meja 10 cm di atas tinggi siku memberikan nilai PEI yang paling minimum untuk model operator 2. Nilai PEI konfigurasi 10 cm di atas tinggi siku sebesar 1.1873 menunjukkan postur yang paling ergonomis dibandingkan dengan nilai PEI konfigurasi 5 dan 15 cm. Nilai PEI untuk konfigurasi mesin press model operator 2 paling dipengaruhi oleh skor LBA karena skor OWAS dan RULA antar konfigurasi memiliki kesamaan.



Gambar 4. 14 Diagram Nilai PEI Setiap Konfigurasi Operasi Mesin Press untuk Model Operator 2

4.3 ANALISIS PERBANDINGAN KONDISI AKTUAL DAN KONFIGURASI

Analisis perbandingan dilakukan untuk melihat seberapa jauh perbedaan nilai PEI sebelum dan sesudah konfigurasi serta menetapkan konfigurasi yang paling optimum untuk satu jenis mesin.

4.3.1 Analisis Perbandingan Model Operasi Mesin Potong Otomatis

Nilai PEI model operator 1 sesudah konfigurasi perubahan variabel tinggi meja 6 inci di bawah tinggi siku berkurang dari 1.2005 menjadi 1.1873. Namun perubahan yang terjadi tidak terlalu signifikan.



Gambar 4. 15 Perubahan PEI Model Operator 1 Mesin Potong Otomatis

Jika dilihat dari skor LBA, OWAS, dan RULA sebelum dan sesudah konfigurasi, perubahan untuk model operator 1 mesin potong otomatis hanya terjadi terhadap skor LBA. Sedangkan skor RULA dan OWAS secara keseluruhan tetap sama. Perubahan nilai LBA juga tidak terlalu signifikan dari 473 menjadi 428. Nilai LBA dan OWAS untuk kondisi aktual model operator 1 mesin potong otomatis sebenarnya telah mengindikasikan bahwa jenis operasi mesin potong otomatis masih termasuk normal serta beban yang diterima oleh sistem muskuloskeletal

model operator 1 masih dapat diterima. Sedangkan dari skor RULA diketahui bahwa postur kerja untuk tubuh bagian atas model operator 1 perlu diteliti lebih lanjut untuk menentukan perlu adanya perbaikan atau tidak.

Tabel 4. 14. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 1

| Kondisi | LBA | OWAS | RULA |
|--|-----|------|------|
| Aktual | 473 | 1 | 4 |
| Konfigurasi 6 inci di bawah tinggi siku-kaki | 428 | 1 | 4 |

Nilai PEI model operator 2 pada konfigurasi perubahan variabel tinggi meja 4 inci di bawah tinggi siku berkurang dari 1.1941 pada kondisi aktual menjadi 0.9868.



Gambar 4. 16 Perubahan PEI Model Operator 2 Mesin Potong Otomatis

Model operator 2 mengalami perubahan skor LBA dan RULA dari kondisi aktual ke konfigurasi. Karena rumus perhitungan PEI memberikan bobot yang lebih besar pada RULA, maka perubahan nilai RULA dari nilai 4 pada kondisi aktual menjadi nilai 3 pada saat konfigurasi membuat perubahan nilai PEI model operator 2 lebih signifikan dibandingkan dengan perubahan nilai PEI model operator 1 untuk operasi mesin yang sama. Sedangkan untuk nilai LBA dan OWAS, perubahan yang terjadi sama sekali tidak signifikan, hal ini terlihat dari penurunan tekanan kompresi yang hanya sebesar 15 Newton pada skor LBA dan skor OWAS yang tetap.

Tabel 4. 15. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Potong Otomatis untuk Model Operator 1

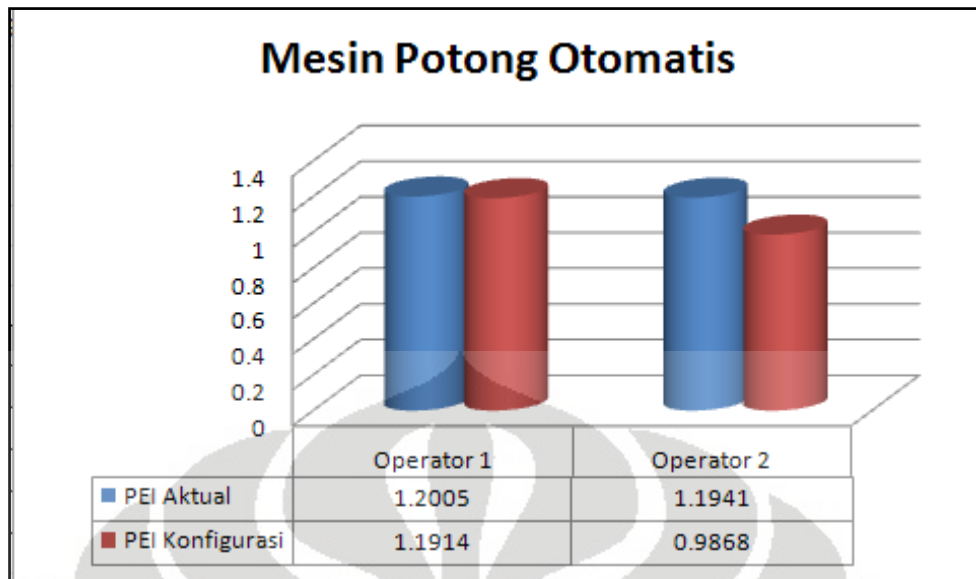
| Kondisi | LBA | OWAS | RULA |
|---|-----|------|------|
| Aktual | 451 | 1 | 4 |
| Konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku | 436 | 1 | 3 |

Analisis PEI model operator 1 dan 2 mesin potong otomatis menghasilkan konfigurasi optimum yang berbeda. Model operator 1 menghasilkan nilai PEI minimum pada konfigurasi 6 inci di bawah tinggi siku, sedangkan model operator 2 menghasilkan nilai PEI minimum pada konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku. Untuk mendapatkan solusi optimum yang menjembatani kebutuhan kedua operator pada operasi mesin yang sama maka analisis perbandingan keseluruhan PEI dilakukan.

Tabel 4. 16. Perbandingan Nilai PEI Model Operator 1 dan 2 Mesin Potong Otomatis

| Konfigurasi | OPERATOR 1 | | | OPERATOR 2 | | |
|-----------------------------|------------|-----------------|---------|------------|-----------------|---------|
| | PEI Aktual | PEI Konfigurasi | Selisih | PEI Aktual | PEI Konfigurasi | Selisih |
| 4 inci di bawah tinggi siku | 1.2005 | 1.1914 | 0.0091 | 1.1941 | 0.9868 | 0.2073 |
| 5 inci di bawah tinggi siku | 1.2005 | 1.2005 | 0.0000 | 1.1941 | 1.1941 | 0.0000 |
| 6 inci di bawah tinggi siku | 1.2005 | 1.1873 | 0.0132 | 1.1941 | 1.1870 | 0.0071 |

Perubahan nilai PEI yang paling signifikan untuk konfigurasi mesin potong otomatis terjadi pada model operator 2 dengan konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku. Nilai PEI konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku menunjukkan tidak adanya perubahan dari kondisi aktual karena perhitungan tinggi meja yang didapat dengan menurunkan 5 inci dari siku adalah sama dengan tinggi meja aktual. Oleh karena itu konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku dianggap sama dengan kondisi aktual yang telah ada. Dengan mempertimbangkan bahwa perubahan nilai PEI yang paling signifikan adalah pada model operator 2 dengan konfigurasi 4 inci di bawah siku maka dilihat hasil PEI model operator 1 untuk konfigurasi yang sama. Hasil PEI model operator 1 untuk konfigurasi 4 inci di bawah tinggi siku menunjukkan nilai PEI yang juga sedikit lebih baik dibandingkan dengan kondisi aktual dan juga tidak terlalu jauh berbeda dengan konfigurasi 6 inci di bawah tinggi siku. Oleh karena itu, untuk konfigurasi mesin potong otomatis dengan perubahan variable tinggi meja maka solusi yang paling optimum untuk kedua model operator adalah dengan menggunakan meja pada ketinggian 4 inci di bawah tinggi siku.



Gambar 4. 17 Diagram Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Konfigurasi Mesin Potong Otomatis

4.3.2 Analisis Perbandingan Model Operasi Mesin Potong Tangan

Perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke konfigurasi menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI kondisi aktual adalah 2.4503, nilai ini berkurang hampir setengahnya menjadi 1.2729 setelah mengalami konfigurasi dengan membuat permukaan meja kerja setinggi 5 inci di bawah tinggi siku.



Gambar 4. 18 Perubahan PEI Model Operator Mesin Potong Tangan

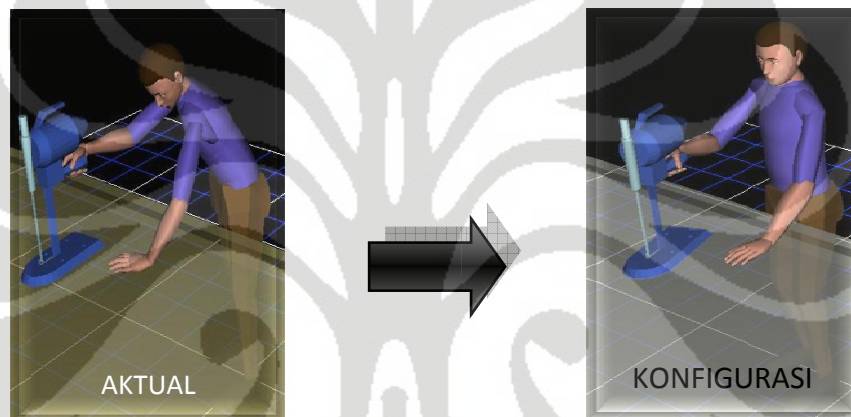
Setelah konfigurasi, operator mesin potong tangan mengalami perubahan nilai baik pada LBA dan RULA bahkan nilai OWAS.

Tabel 4. 17. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Potong Tangan

| Kondisi | LBA | OWAS | RULA |
|-------------|------|------|------|
| Aktual | 1803 | 2 | 7 |
| Konfigurasi | 719 | 1 | 4 |

Nilai LBA setelah konfigurasi menunjukkan bahwa tekanan kompresi yang dialami oleh operator mesin potong tangan berkurang sebanyak 1084 Newton.

Pengurangan yang signifikan ini disebabkan oleh berkurangnya momen yang terjadi pada L4-L5 spinal tulang belakang karena batang tubuh operator saat simulasi konfigurasi 5 inci tidak mengalami pembungkukan dan pemutaran batang tubuh seperti saat kondisi aktual. Tinggi permukaan kerja setelah konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku naik dari kondisi aktualnya dengan tinggi 84 cm menjadi 91.8 cm. Permukaan kerja yang semakin tinggi ini membuat operator tidak perlu banyak membungkukan (*flexion*) dan memutar badan (*twist*) ketika bekerja sehingga nilai momen yang terjadi pada L4-L5 spinal tulang belakang berkurang. Momen yang berkurang ini mengurangi resiko terjadinya penyakit pada tulang belakang (*low back pain*).



Gambar 4. 19 Perbandingan Postur Kondisi Aktual dan Konfigurasi

Untuk perubahan nilai OWAS, dapat dijelaskan dengan melihat detail kode OWAS yaitu 4-1-2-1 pada kondisi aktual menjadi 1-1-2-1 setelah konfigurasi. Perubahan signifikan terjadi pada kode pertama OWAS dari 4 menjadi 1 yang mendeskripsikan kondisi batang tubuh model operator. Hal ini sama halnya seperti yang telah dijelaskan pada penjelasan mengenai perubahan skor LBA bahwa setelah konfigurasi gerakan *flexion* dan *twist* berkurang sehingga menyebabkan batang tubuh model operator lebih cenderung pada posisi netral. Penjelasan yang sama juga dapat digunakan untuk skor RULA yang mengalami perubahan yaitu dari angka 7 menjadi 4. Perubahan ini terutama disebabkan oleh perubahan signifikan pada kelompok tubuh B yang mencakup bagian leher dan batang tubuh operator.

Tabel 4. 18. Perbandingan Detail Skor RULA Kondisi Aktual dan Konfigurasi untuk Mesin Potong Tangan

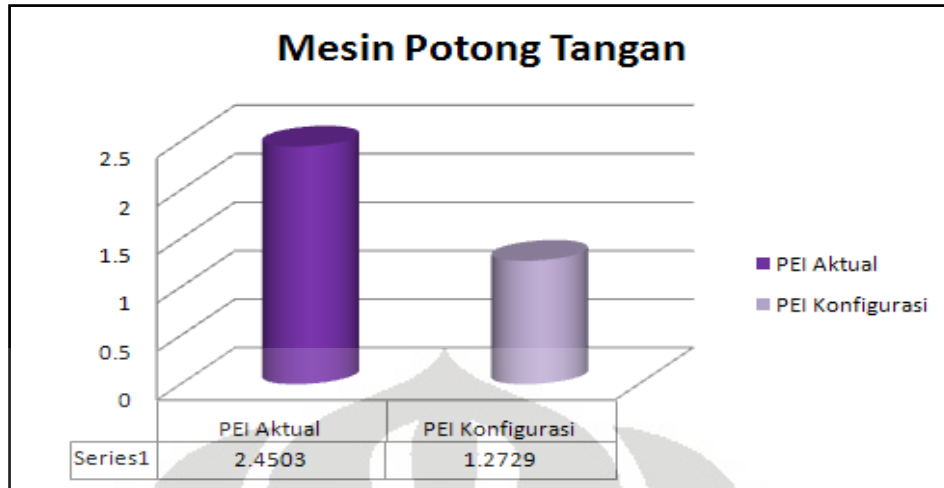
| SCORE | | actual | 5 inches |
|--------------------|--------------|----------|----------|
| Group A | upper arm | 5 | 4 |
| | lower arm | 3 | 2 |
| | wrist | 2 | 3 |
| | wrist twist | 2 | 2 |
| | total | 7 | 5 |
| Group B | neck | 6 | 2 |
| | trunk | 4 | 1 |
| | total | 8 | 2 |
| TOTAL SCORE | | 7 | 4 |

Ketiga konfigurasi yang disimulasikan pada model operator mesin potong tangan sebenarnya memberikan hasil yang cukup signifikan. Namun seperti yang telah dijelaskan pada bagian analisis konfigurasi mesin potong, di antara ketiga konfigurasi tersebut yang memberikan nilai PEI paling minimum adalah konfigurasi dengan perubahan variabel meja 5 inci di bawah tinggi siku. Karena alasan inilah maka konfigurasi 5 inci di bawah tinggi siku menjadi pilihan yang paling tepat untuk dijadikan rekomendasi perbaikan ergonomi pada stasiun kerja mesin potong tangan dibandingkan konfigurasi lainnya.

Tabel 4. 19. Perbandingan Perubahan PEI Model Operator Mesin Potong Tangan

| Konfigurasi | PEI Aktual | PEI Konfigurasi | Selisih |
|-----------------------------|------------|-----------------|---------|
| 4 inci di bawah tinggi siku | 2.4503 | 1.2973 | 1.1530 |
| 5 inci di bawah tinggi siku | 2.4503 | 1.2729 | 1.1774 |
| 6 inci di bawah tinggi siku | 2.4503 | 1.2755 | 1.1747 |

Perubahan PEI yang terjadi pada mesin potong tangan cukup signifikan seperti yang ditunjukkan diagram pada gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Diagram Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Konfigurasi Mesin Potong Tangan

4.3.3 Analisis Perbandingan Model Operasi Mesin Press

Nilai PEI model operator 1 mencapai nilai minimum sesudah konfigurasi perubahan variabel tinggi meja 5 cm di atas tinggi siku. Nilai PEI ini berkurang dari 1.8824 menjadi 1.4328.



Gambar 4. 21 Perubahan PEI Model operator 1 Mesin Press

Setelah konfigurasi, model operator 1 mesin press mengalami perubahan nilai yang cukup signifikan pada LBA dan RULA. Konfigurasi tidak berpengaruh pada skor OWAS karena sejak awal skor OWAS sudah mencapai angka 1 yang merupakan skor optimum OWAS.

Tabel 4. 20. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Press untuk Model Operator 1

| Kondisi | LBA | OWAS | RULA |
|-------------|-----|------|------|
| Aktual | 722 | 1 | 7 |
| Konfigurasi | 573 | 1 | 5 |

Nilai LBA setelah konfigurasi menunjukkan bahwa tekanan kompresi yang dialami oleh operator mesin potong tangan berkurang sebanyak 149 Newton. Pengurangan ini disebabkan oleh berkurangnya momen yang terjadi pada L4-L5 spinal tulang

belakang. Skor RULA model operator 1 mesin press mengalami perubahan yaitu dari angka 7 menjadi 5. Perubahan ini terutama disebabkan oleh perubahan skor kelompok tubuh B yang mencakup bagian leher dan batang tubuh operator. Total skor RULA model operator 1 setelah konfigurasi optimum masih mencapai angka 5 yang berarti masih perlu dilakukan penelitian lanjut untuk memperbaiki postur kerja operator, namun jika dibandingkan dengan skor awal pada kondisi aktual maka dapat dikatakan bahwa hasil konfigurasi ini sudah sedikit memperbaiki kualitas postur model operator 1 mesin press.

Tabel 4. 21. Perbandingan Detail Skor RULA Kondisi Aktual dan Konfigurasi untuk Model Operator 1 Mesin Potong Tangan

| SCORE | | actual | 5 cm |
|--------------------|--------------|----------|----------|
| Group A | upper arm | 4 | 4 |
| | lower arm | 2 | 2 |
| | wrist | 1 | 2 |
| | wrist twist | 1 | 1 |
| | total | 5 | 5 |
| Group B | neck | 4 | 2 |
| | trunk | 3 | 3 |
| | total | 6 | 4 |
| TOTAL SCORE | | 7 | 5 |

Untuk model operator 2, perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke konfigurasi menunjukkan perubahan yang lebih signifikan dibandingkan dengan perubahan nilai PEI model operator 1 mesin press. Nilai PEI kondisi aktual adalah 1.7005, nilai ini berkurang menjadi 1.1879 setelah mengalami konfigurasi dengan membuat permukaan meja kerja setinggi 10 cm di atas tinggi siku.



Gambar 4. 22 Perubahan PEI Model operator 2 Mesin Press

Setelah konfigurasi perubahan tinggi meja menjadi 10 cm di atas tinggi siku, model operator 2 mesin press mengalami perubahan nilai baik pada LBA dan RULA bahkan nilai OWAS.

Tabel 4. 22. Perbandingan Skor LBA, OWAS, dan RULA Mesin Press untuk Model operator 2

| Kondisi | LBA | OWAS | RULA |
|-------------|-----|------|------|
| Aktual | 633 | 2 | 5 |
| Konfigurasi | 430 | 1 | 4 |

Nilai LBA setelah konfigurasi menunjukkan bahwa tekanan kompresi yang dialami oleh operator mesin potong tangan berkurang sebanyak 203 Newton. Untuk perubahan nilai OWAS, dapat dijelaskan dengan melihat detail kode OWAS yaitu 2-1-1-1 pada kondisi aktual menjadi 1-1-1-1 setelah konfigurasi. Perubahan terjadi pada kode pertama OWAS dari 2 menjadi 1 yang mendeskripsikan kondisi batang tubuh model operator. Setelah konfigurasi, batang tubuh model operator 2 lebih cenderung pada posisi netral atau dapat dikatakan bahwa pembengkokan (*bending*) pada tulang belakang model operator 2 berkurang. Penjelasan yang sama juga dapat digunakan untuk skor RULA yang mengalami perubahan yaitu dari angka 5 menjadi 4. Perubahan ini disebabkan oleh perubahan pada kelompok tubuh B yang mencakup bagian leher dan batang tubuh operator. Skor kelompok tubuh B berkurang dari 4 menjadi 2. Sedangkan nilai untuk kelompok tubuh A dapat dikatakan hampir sama antara kondisi aktual dan kondisi setelah konfigurasi 10 cm di atas tinggi siku.

Tabel 4. 23. Perbandingan Detail Skor RULA Kondisi Aktual dan Konfigurasi untuk Model Operator 2 Mesin Potong Tangan

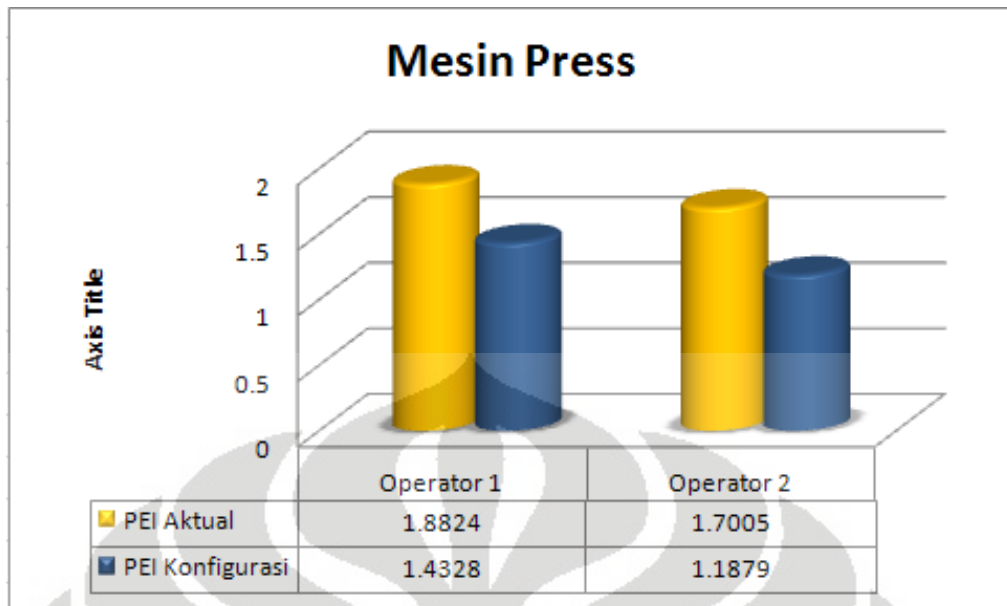
| SCORE | | actual | 10 cm |
|-------------|------------|--------|-------|
| Group A | upper arm | 2 | 2 |
| | lower arm | 3 | 3 |
| | wrist | 2 | 1 |
| | wristtwist | 2 | 2 |
| | total | 5 | 5 |
| Group B | neck | 3 | 2 |
| | trunk | 3 | 2 |
| | total | 4 | 2 |
| TOTAL SCORE | | 5 | 4 |

Analisis PEI model operator 1 dan 2 mesin press menghasilkan konfigurasi optimum yang berbeda. Model operator 1 menghasilkan nilai PEI minimum pada konfigurasi 5 cm di atas tinggi siku, sedangkan model operator 2 menghasilkan nilai PEI minimum pada konfigurasi 10 cm di atas tinggi siku. Untuk mendapatkan solusi optimum yang menjembatani kebutuhan kedua operator pada operasi mesin yang sama maka analisis perbandingan keseluruhan PEI dilakukan.

Tabel 4. 24. Perbandingan Nilai PEI Model Operator 1 dan 2 Mesin Press

| Konfigurasi | OPERATOR 1 | | | OPERATOR 2 | | |
|---------------------------|------------|-----------------|---------|------------|-----------------|---------|
| | PEI Aktual | PEI Konfigurasi | Selisih | PEI Aktual | PEI Konfigurasi | Selisih |
| 5 cm atas tinggi siku | 1.8824 | 1.4328 | 0.4496 | 1.7005 | 1.1908 | 0.5097 |
| 10 cm di atas tinggi siku | 1.8824 | 1.6333 | 0.2491 | 1.7005 | 1.1879 | 0.5126 |
| 15 cm di atas tinggi siku | 1.8824 | 1.6357 | 0.2467 | 1.7005 | 1.1964 | 0.5041 |

Perubahan nilai PEI yang paling signifikan untuk konfigurasi mesin press terjadi pada model operator 2 dengan konfigurasi 10 cm di atas tinggi siku. Namun jika dilihat dari signifikansi perubahan PEI pada satu operator maka konfigurasi 5 cm di atas tinggi siku menghasilkan nilai PEI yang berbeda dibandingkan dengan konfigurasi 10 cm dan 15 cm untuk model operator 1. Sedangkan nilai-nilai PEI yang didapatkan melalui simulasi konfigurasi pada operator 2 tidak terlalu berbeda jauh atau dapat dikatakan bahwa hasil yang didapatkan dari setiap konfigurasi hampir mirip. Dengan mempertimbangkan hal itu, maka konfigurasi optimum yang digunakan untuk menjembatani kedua operator mesin press adalah konfigurasi 5 cm di atas tinggi siku. Konfigurasi 5 cm di atas tinggi siku menghasilkan nilai PEI yang paling optimum untuk model operator 1. Selain itu pemilihan konfigurasi ini hanya menimbulkan *trade-off* nilai PEI sebanyak 0.0029 untuk operator 2, dibandingkan jika konfigurasi 10 cm di atas siku yang dipilih dengan *trade-off* PEI sebesar 0.2005 untuk operator 1.



Gambar 4. 23 Diagram Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Konfigurasi Mesin Press



BAB 5

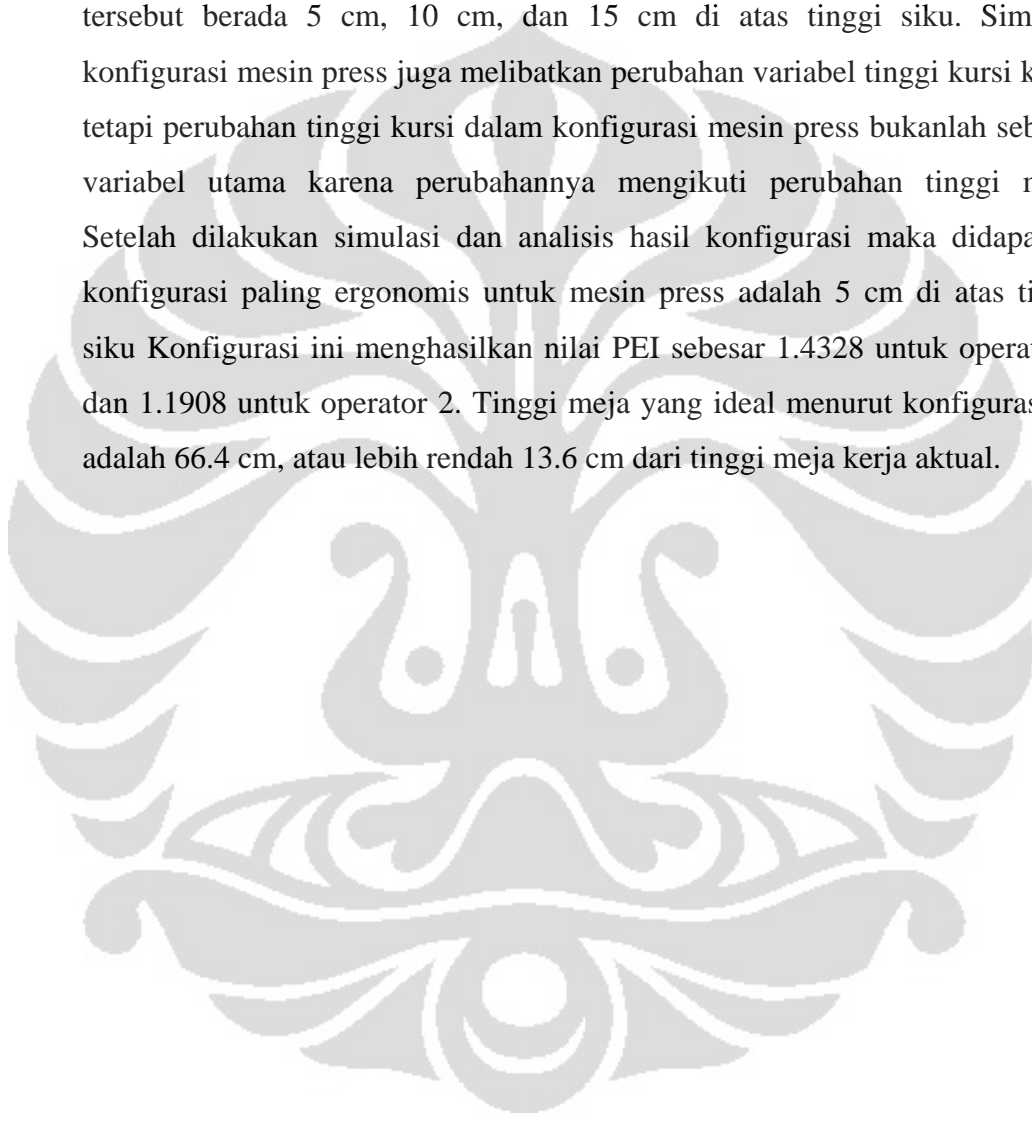
KESIMPULAN

Dari penelitian “Analisis Ketinggian Meja Yang Ideal Terhadap Postur Pekerja Divisi *Cutting* Industri Garmen Dengan *Posture Evaluation Index* (PEI) pada *Virtual Environment*” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model operasi pekerjaan divisi cutting industri garmen telah dibuat pada sebuah *virtual environment* dengan menggunakan *software* Jack. Model operasi pekerjaan ini merepresentasikan operasi kerja mesin potong otomatis, mesin potong tangan dan mesin press dari industri garmen. Untuk dapat menganalisis aspek ergonomi dari operasi kerja tersebut maka dimasukan model manusia digital yang akan berperan sebagai operator seperti di dunia nyata. Model manusia digital ini dibuat dengan mempertimbangkan antropometri pekerja Indonesia. Dari model operasi pekerjaan dan model manusia digital ini maka dapat dirancang suatu desain tempat kerja yang ergonomis.
2. Nilai PEI kondisi aktual mesin potong otomatis adalah sebesar 1.2005 untuk model operator 1 dan 1.1941 untuk model operator 2. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja kerja mesin potong otomatis sehingga permukaan kerja tersebut berada 4 inci, 5 inci, dan 6 inci di bawah tinggi siku. Setelah dilakukan simulasi dan analisis hasil konfigurasi maka didapatkan konfigurasi paling ergonomis untuk mesin potong otomatis adalah 4 inci di bawah tinggi siku. Konfigurasi ini menghasilkan nilai PEI sebesar 1.1914 untuk operator 1 dan 0.9868 untuk operator 2. Tinggi meja yang ideal menurut konfigurasi ini adalah 86.44 cm, atau lebih tinggi 2.44 cm dari tinggi meja kerja aktual.
3. Nilai PEI kondisi aktual mesin potong tangan adalah sebesar 2.4503. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja kerja mesin potong tangan sehingga permukaan kerja tersebut berada 4 inci, 5 inci, dan 6 inci di bawah tinggi siku. Setelah dilakukan simulasi dan analisis hasil konfigurasi maka didapatkan konfigurasi paling ergonomis untuk mesin potong tangan adalah 5 inci di bawah tinggi siku. Konfigurasi ini

menghasilkan nilai PEI sebesar 1.2729. Tinggi meja yang ideal menurut konfigurasi ini adalah 91.8 cm, atau lebih tinggi 7.8 cm dari tinggi meja kerja aktual.

4. Nilai PEI kondisi aktual mesin press adalah sebesar 1.8824 untuk model operator 1 dan 1.7005 untuk model operator 2. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel tinggi meja kerja mesin press sehingga permukaan kerja tersebut berada 5 cm, 10 cm, dan 15 cm di atas tinggi siku. Simulasi konfigurasi mesin press juga melibatkan perubahan variabel tinggi kursi kerja, tetapi perubahan tinggi kursi dalam konfigurasi mesin press bukanlah sebagai variabel utama karena perubahannya mengikuti perubahan tinggi meja. Setelah dilakukan simulasi dan analisis hasil konfigurasi maka didapatkan konfigurasi paling ergonomis untuk mesin press adalah 5 cm di atas tinggi siku Konfigurasi ini menghasilkan nilai PEI sebesar 1.4328 untuk operator 1 dan 1.1908 untuk operator 2. Tinggi meja yang ideal menurut konfigurasi ini adalah 66.4 cm, atau lebih rendah 13.6 cm dari tinggi meja kerja aktual.



DAFTAR PUSTAKA

- Adiputra, N., Manuaba, A., & Purnomo, H. (2006). *Sistem Kerja dengan Pendekatan Ergonomi Total Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal, Kelelahan, dan Beban Kerja serta Meningkatkan Produktivitas Pekerja Industri Gerabah di Kasongan, Bantul*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Astrand ,P.O. (1977). *Textbook of Working Physiology*, 2th ed. USA: McGraw-Hill Book Company.
- Brar, Balraj Singh, Chandandeep Singh Grewal and Kuldeep Kumar Sareen. (2008). *Ergonomics Considerations in Sewing Machine Work Station Design*. India.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Giuseppe Di Gironimo, and Adelaide Marzano. (2006). *A Structured Approach to Simulate Manufacturing Systems in Virtual Environment*, Italia: University of Naples Federico.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Choffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.
- Choffin, D.B. (1979). *Localized Muscle Fatigue, Definition and Measurement*. *Journal of Occupational Medicine*.
- Davies, Roy C. (2000). *Application of Systems Design Using Virtual Environment*. Sweden: University of Lund.
- Di Gironimo, Giuseppe, G Monacellia and S.Patalano. (2004). *A Design Methodology For Maintainability of Utomotive Components in Virtual Environment*. Dubrovnik: International Design Conference-Design 2004.

- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design. *In: Proceed of The 7th International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process" – ATA 2001, Florence.*
- 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>
- Kalawsky, R. (1993a). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Karwowski, Waldemar. (2006). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Volume 1*. Kentucky: CRC Press.
- Karwowski, Waldemar, 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.
- Marzano, A. (Mei 2009). Wawancara personal.
- NIOSH. (1998). *NIOSH Document, Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, NIOSH Publication Number 94-110.*
- Openshaw, Scott and Erin Taylor. (2006). *Ergonomics and Design: A Reference Guide Handbook*. Allsteel Inc.
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work 2nd Edition*. USA: Taylor & Francise.
- Rahayu, Heni. (2009, 6 Maret). Ekonomi Dunia Semakin Kelam. *Media Indonesia* hal. 15.
- Sanders. S, Mark and Ernest J McCormick. (1993). *Human Factor in Engineering and Desain*. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Stanton, Neville et al, .ed. (2005). *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. USA : CRC Press.

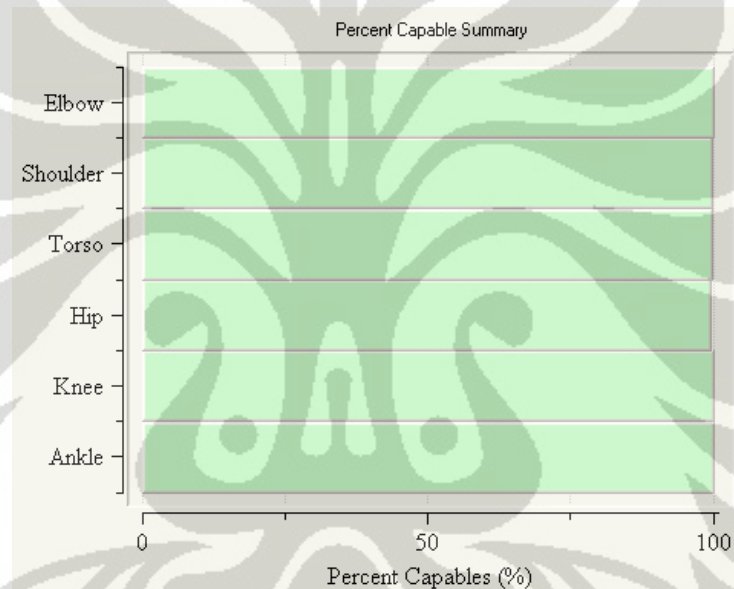
- Tarwaka, Bakri, Solichul, HA. Sudiajeng, Lilik. (2004). *Ergonomi Untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*. UNIBA Press.
- Thalmann, Daniel. (1998). *Introduction to Virtual Environment*, Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology.
- UGS The PLM Company, E-Factory JACK. (2004). *UGS Launches New Version of E-factory Jack, its Human Simulation and Ergonomics Analysis Software*. 7 Maret 2009. <http://www.plm.automation.siemens.com>
- US Departement 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>
- Wells, Richard. (2006). *Ergonomics for Occupational Hygienists (International RSI Day)*. University of Waterloo.
- 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.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 CONTOH *STATIC STRENGTH PREDICTION REPORT***Jack Static Strength Prediction Report****Operasi Mesin Potong Tangan**

Nandyka

Job #aktual, Divisi Cutting, 18 Jun 2009

**Capability Summary Chart**

| | | Left | | | | | Right | | | | |
|----------|-----------------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|-------------|---------------|-----------|---------|---------|
| | | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) | Moment (Nm) | Muscle Effect | Mean (Nm) | SD (Nm) | Cap (%) |
| | Elbow | -0 | -- | 34 | 9 | 100 | -0 | -- | 35 | 9 | 100 |
| Shoulder | Abduc/Adduc | -1 | -- | 45 | 12 | 100 | -7 | ABDUCT | 37 | 10 | 100 |
| | Rotation Bk/Fd | -0 | -- | 46 | 16 | 100 | -2 | FORWARD | 46 | 16 | 100 |
| | Humeral Rot | -0 | -- | 19 | 5 | 100 | -1 | LATERAL | 13 | 4 | 100 |
| Trunk | Flex/Ext | -9 | EXTEN | 143 | 49 | 100 | | | | | |
| | Lateral Bending | 6 | LEFT | 83 | 20 | 100 | | | | | |
| | Rotation | 0 | -- | 51 | 15 | 100 | | | | | |
| | Hip | -1 | EXTEN | 104 | 39 | 100 | -2 | EXTEN | 104 | 39 | 100 |
| | Knee | -2 | FLEXN | 84 | 27 | 100 | -3 | FLEXN | 84 | 27 | 100 |
| | Ankle | -17 | EXTEN | 90 | 25 | 100 | -18 | EXTEN | 90 | 25 | 100 |

Joint Angle Summary

| Calculated Limb Angles | Calculated Trunk Angles | | | |
|------------------------|-------------------------|-------|--------------------|----|
| | Left | Right | | |
| Elbow included | 157 | 149 | Trunk Flexion | 90 |
| Shoulder Vertical | 11 | 58 | Trunk Lateral Bend | 0 |
| Shoulder Horizontal | -42 | 43 | Trunk Rotation | 0 |
| Humeral Rotation | -45 | 103 | | |
| Hip Included | 179 | 179 | | |
| Knee Included | 170 | 170 | | |
| Ankle Included | 82 | 82 | | |

Loads And Weights

| | | |
|--|--------|-----------|
| right_palm.palmcenter | Weight | 1000.0 gr |
| Strategy: "Two Feet" | | |
| Gravity: (0.00, -980.66, 0.00) cm/sec ² | | |

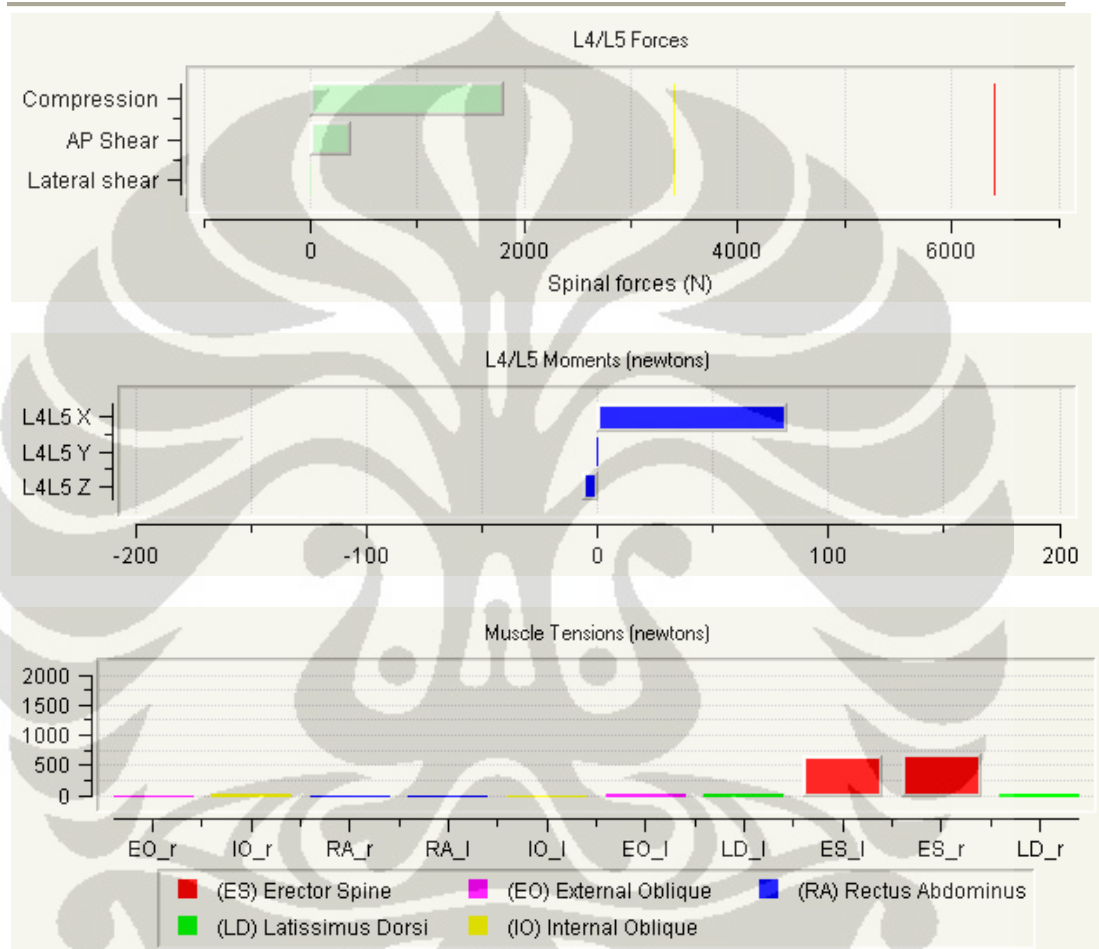
LAMPIRAN 2 CONTOH *LOW BACK ANALYSIS REPORT*

Jack Low Back Analysis Report

Operasi Mesin Potong Tangan

Nandyka

Job #aktual, Divisi Cutting, 18 Jun 2009



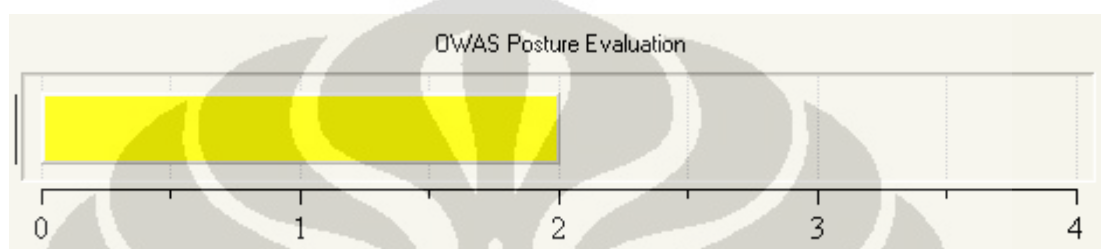
Analysis Recommendations

The low back compression force of 1803.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

LAMPIRAN 3 CONTOH *OVAKO WORKING POSTURE ANALYSIS REPORT***Jack Ovako Working Posture Analysis Report****Operasi Mesin Potong Tangan**

Nandyka

Job #aktual, Divisi Cutting, 18 Jun 2009



(Owas Code: 4121)

The work posture may have harmful effects on the musculoskeletal system.

Musculoskeletal loading is not extreme with this posture, however, corrective measures are encouraged. Note that only downward force components are considered in the analysis

LAMPIRAN 4 CONTOH RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT REPORT**Jack Rapid Upper Limb Assessment Report****Operasi Mesin Potong Tangan 8"**

Nandyka

Job #aktual, Divisi Cutting, 18 Jun 2009

Analysis Summary**Body Group A Posture Rating**

Upper arm: 5

Lower arm: 3

Wrist: 2

Wrist Twist: 2

Total: 7

Muscle Use: Normal, no extreme use

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Arms: Not supported

Body Group B Posture Rating

Neck: 6

Trunk: 4

Total: 8

Muscle Use: Normal, no extreme use

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Standing, weight even. Room for weight changes.

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